

D.A. Davronbekov, U.T. Aliyev,
X.X. Madaminov, J.D. Isroilov

SIMSIZ TARMOQLAR



**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI AXBOROT
TEXNOLOGIYALARI VA KOMMUNIKATSIYALARNI
RIVOJLANTIRISH VAZIRLIGI**

**MUHAMMAD-AL XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**

D.A. Davronbekov, U.T. Aliyev, X.X. Madaminov, J.D. Isroilov

“SIMSIZ TARMOQLAR”

fanidan o‘quv darsligi 5350100 – Telekommunikatsiya texnologiyalari
ta‘lim yo‘nalishi bo‘yicha bakalavrlar uchun mo‘ljallangan

O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligi tomonidan darslik
sifatida tavsiya etilgan(237-son buruq, 31.05.2021)

**«Mahalla va oila nashriyoti»
Toshkent 2021**

D.A. Davronbekov, U.T. Aliyev, X.X. Madaminov, J.D. Isroilov
Simsiz tarmoqlar. Darslik, Toshkent, 2021 – 435 bet.

Darslikda simsiz tarmoqlarda uzatish muhitiga ulnash usullari; simsiz aloqada signalni modulyatsiyalash turlari va ko'p tartibli modulyatsiyalash usullari; radioreleli aloqa, sun'iy yo'ldoshli aloqa va navigatsiya; mobilaloqa tarmoqlarini 1Gdan 5Ggacha rivojlanishining o'ziga xos xususiyatlari IEEE 802.11 (Wi-Fi) simsiz aloqa texnologiyasi va IEEE 802.16 (WiMax) standarti, shuningdek boshqa simsiz aloqa turlarining o'ziga xos xususiyatlari yoritilgan.

Darslik 5350100 - Telekommunikatsiya texnologiyalari yo'nalishi bo'yicha ta'lim oladigan talabalar uchun mo'ljallangan.

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan darslik sifatida tavsiya etilgan(237-son buruq, 31.05.2021)

ISBN 978-9943-7777-6-7

© D.A. Davronbekov, U.T. Aliyev,
X.X. Madaminov, J.D. Isroilov. 2021 y.
© «Mahalla va oila nashriyoti»2021 y.

MUNDARIJA

KIRISH.....	7
1 SIMSIZ ALOQA TIZIMLARIGA KIRISH.....	9
1.1. Ma'lumotlarni simsiz uzatish texnologiyalarining tasniflanishi.....	9
1.2. Radioaloqani tashkil etish prinsiplari.....	17
2. RADIOTO'LQINLARNING TARQALISH XUSUSIYATLARI.....	29
2.1. Turli diapazonlar radioto'lqinlarining tarqalish xususiyatlari.....	29
2.1.1. Elektromagnit to'lqinning tuzilmasi.....	29
2.1.2. Yer va atmosfera radioto'lqinlarining tarqalishiga ta'siri.	32
2.1.3. Turli diapazonlar radioto'lqinlarini tarqalishi.....	33
2.2. Radiochastotalarning tasniflanishi.....	41
3. SIMSIZ ALOQADA ANTENNALAR.....	45
3.1. Asosiy tushunchalar va ta'riflar.....	45
3.2. Antennalarni qurish va ishlash prinsiplari.....	45
3.3. UQT diapazoni antennalarining o'ziga xos xususiyatlari....	49
3.3.1. Antennalarning asosiy xususiyatlari va parametrlari.....	49
3.3.2. Metrli, detsimetrli va santimetrli to'lqinlar antennalari...	52
3.3.3. Simsiz keng polosali aloqa antennalarining o'ziga xos xususiyatlari.....	57
3.4. Sotali aloqa antennalari.....	64
4. SIMSIZ TARMOQLARDA UZATISH MUHITIGA ULANISH USULLARI.....	73
4.1. FDMA kanallar chastota bo'yicha ajratiladigan ko'p tomonlama ulanish.....	73
4.2. TDMA kanallar vaqt bo'yicha ajratiladigan ko'p tomonlama ulanish.....	74
4.3. Kanallar kod bo'yicha ajratiladigan ko'p tomonlama ulanish usullari.	76
4.3.1. CDMA kanallar kod bo'yicha ajratiladigan ko'p tomonlama ulanish usuli.....	76
4.3.2. WCDMA kanallar kod bo'yicha ajratiladigan ko'p tomonlama keng polosali ulanish usuli	82
4.4. Boshqa ko'p tomonlama ulanish usullari.....	86
4.5. Simsiz tarmoqlarda dupleks rejimini tashkil qil	89

5.	SIMSIZ ALOQADA SIGNALNI MODULYATSIYALASH TURLARI	94
5.1.	Raqamli radioaloqa tizimlarida manipulyatsiyalash.....	94
5.2.	Amplitudaviy manipulyatsiyalash (ASK).....	97
5.3.	Chastotaviy manipulyatsiyalash (FSK)	97
5.4.	Fazaviy manipulyatsiyalash (PSK).....	98
6.	KO'P TARTIBLI MODULYATSIYALASH TURLARI....	100
6.1.	Kvadraturali amplitudaviy manipulyatsiyalash (QAM).	100
6.2.	Kvadraturali fazaviy manipulyatsiyalash (QPSK).....	107
7.	RADIORELE VA YO'LDOSHLI ALOQA YO'LDOSHLI NAVIGATSIYA	113
7.1.	Radioreleli liniyalarni umumiy qurish prinsiplari.....	113
7.2.	Radioreleli stansiyalarning tuzilish sxemalari.....	117
7.3.	Raqamli radioreleli stansiyalarning tuzilish sxemalari. ...	125
7.4.	Sun'iy yo'ldoshli aloqa tizimlarini qurish prinsiplari va o'ziga xos xususiyatlari.....	131
7.5.	Sun'iy yo'ldoshli navigatsiya tizimlari.....	144
8.	SOTALI ALOQA TIZIMLARINING 1G DAN 5G GA RIVOJLANISHI.....	155
8.1.	Mobil radiotelefon aloqasining rivojlanish tarixi.....	155
8.2.	Sotali aloqa tizimlarining ishlash prinsiplari.....	156
8.3.	Sotali aloqada chastotaviy rejalashtirish.....	167
8.4.	2G standartlari.....	178
8.4.1.	GSM standartidagi sotali raqamli tizimlari.....	181
8.4.2.	GSM tarmog'ining tuzilmasi va komponentlarining tavsifi.	182
8.4.3.	CDMAOne standartining o'ziga xos xususiyatlari.....	190
8.5.	3G sotali aloqa tizimlari	201
8.6.	4G sotali aloqa tizimlari.....	203
8.7.	5G sotali aloqa tizimlari	203
9.	3G UCHINCHI AVLOD SOTALI ALOQA TIZIMLARI.	206
9.1.	3G tarmog'i konsepsiyasi	206
9.2.	CDMA2000 texnologiyasi.....	209
9.3.	CDMA2000 1x-EV-DO va CDMA2000 1x-EV-DV standartlari	216
9.4.	WCDMA texnologiyasi	217
9.5.	UMTS texnologiyasi.....	219
9.6.	HSDPA, HSUPA, HSPA va HSPA+ texnologiyalari.....	224
10.	4G TO'RTINCHI AVLOD SOTALI ALOQA TIZIMLARI	231

10.1.	OFDM kanallar ortogonal chastota bo'yicha ajratiladigan multiplekslash texnologiyasi.....	232
10.2.	Kanallar ortogonal chastota bo'yicha ajratiladigan ortogonal ko'p tomonlama ulanish (OFDMA).....	235
10.3.	4G sotali aloqa tizimlari konsepsiyasi.....	241
10.4.	LTE texnologiyasi bo'yicha radiointerfeysni qurish va ishlash prinsiplari.....	246
10.5.	LTE tarmog'i arxitekturasi.....	262
10.6.	LTE-Advanced texnologiyasining o'ziga xos xususiyatlari.	264
11.	5G HARAKATDAGI ALOQA SIMSIZ TIZIMLARI STANDARTLARI.....	270
11.1.	Mobil tarmoqlarning 5G texnologiyalariga rivojlanishi....	270
11.2.	5G tarmoq arxitekturasi.....	277
11.3.	LTEdan 5Gga migratsiyalanish ko'rinishlari.....	283
11.4.	Aloqa tarmoqlarini LTE tarmoqlaridan 5G tarmoqlariga modernizatsiyalash istiqbollari.....	295
12.	WI-FI (IEEE 802.11) TEXNOLOGIYASI.....	300
12.1.	Wi-Fi texnologiyasining tarixi.....	300
12.2.	Wi-Fi texnologiyasini sertifikatlashtirish.....	300
12.3.	Simsiz lokal tarmoqlarni tashkil etish.....	302
12.4.	Wi-Fi tarmoqlar chastotalar diapazonlari.....	311
13.	IEEE 802.11 STANDARTLARI HAQIDA ASOSIY TUSHUNCHALAR.....	316
13.1.	Spektrni kengaytirish texnologiyalari.....	316
13.2.	MIMO va Beamforming texnologiyalari.....	323
13.3.	Wi-Fi texnologiyasining afzalliklari va kamchiliklari.....	328
13.4.	Wi-Fi mesh-tarmoqlarning (tizimlarning) qo'llanishi.....	331
14.	WIMAX (IEEE 802.16) STANDARTI	336
14.1.	"So'nggi mil" simsiz texnologiyalarining evolyutsiyalanishi.....	336
14.2.	IEEE 802.16 standartining arxitekturasi.....	338
14.3.	Mobil va statsionar WiMAX standartlarini taqqoslash.....	354
15.	TURLI SIMSIZ ALOQA TEXNOLOGIYALARINING XUSUSIYATLARI.....	363
15.1.	O'ta keng polosali signallardan (UWB) foydalaniladigan ma'lumotlarni uzatish texnologiyasi.....	363
15.2.	O'ta keng polosali signallarning qo'llanish sohalari.....	366
15.3.	Bluetooth aloqa texnologiyasi.....	380
15.4.	HomerF aloqa texnologiyasi	385

15.5. ZigBee aloqa texnologiyasi.....	388
15.6. NFC aloqa texnologiyasi.....	400
15.7. Radiochastotaviy identifikatsiyalash texnologiyasi.....	416
15.8. Kognitiv radio texnologiyasi.....\`	416
ATAMALAR RO‘YXATI.....	420
ADABIYOTLAR.....	432

KIRISH

O‘zbekiston Respublikasida zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini barcha sohalarga, birinchi navbatda, davlat boshqaruvi, ta’lim, sog‘liqni saqlash va qishloq xo‘jaligiga keng joriy etish bo‘yicha kompleks chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. Raqamli iqtisodiyotni faol rivojlantirish bo‘yicha ishlar ham olib borilmoqda.

Respublikada raqamli sanoatni jadal rivojlantirish, milliy iqtisodiyotning raqobatbardoshligini oshirish, 2017-2021 yillarda O‘zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo‘nalishi bo‘yicha Harakatlar strategiyasini amalga oshirish bo‘yicha Davlat dasturida, hududlar va tarmoqlarni raqamli o‘zgartirish doirasida O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmonlarida belgilangan vazifalar ijrosini ta‘minlash maqsadida 2020 - 2022 yillarda “aholi punktlarining Internetga ulanish darajasini 78 foizdan 95 foizgacha, shu jumladan keng polosali ulanish portlarini 2,5 milliongacha oshirish, 20 ming kilometr optik tolali aloqa liniyalarini yotqizish va mobil aloqa tarmoqlarini rivojlantirish orqali oshirish” ko‘zda tutilgan [1, 2].

Bugungi kunda dunyo miqyosida simsiz texnologiyalarni rivojlantirishga bog‘liq bo‘lgan an‘ana bo‘lib o‘tmoqda. Gap insonlarning masofadan turib ishlashga bo‘lgan istagi tobora ortib borayotgani haqida ketmoqda, ko‘pchilik yo‘lga vaqt sarflamasdan uyda ishlashni afzal ko‘radi, shuningdek 15% insonlar doimiy harakatda bo‘lishni xohlaydi [3].

Bugungi kunda butun dunyoda O‘zbekistonda ommalashib borayotgan simsiz aloqa texnologiyalari lokal tarmoqlar va Internetga tezkor mobil ulanishni o‘rnatishga imkon beradi, bu nafaqat harakat erkinligini, balki an‘anaviy aloqa simlarini tortish maqsadga muvofiq bo‘lmagan yoki mumkin bo‘lmaganda so‘nggi millar masalasini yechilishini ta‘minlaydi. Ta’kidlash kerakki, simsiz yechimlar statsionar ishlatilishida ham o‘ziga tortadi, chunki bu holda tarmoqlarni joylashtirish, qurish va yangilash jarayonlari kabellar, tarqatish panellari va markazlari bilan ishlarni bajarmasdan tezkor amalga oshiriladi.

Simsiz aloqa kanallari ko‘plab yillar davomida lokal tarmoqlarda ma‘lumotlarni uzatish uchun ishlatilmoqda va mos qurilmalarning takomillashishi va arzonlashishi bilan simsiz tarmoqlarning ommaviyligi oshishi tabiiy.

Simsiz tarmoqni kabelli tarmoqqa qaraganda ancha qisqa vaqtlar ichida qurish va ishga tushirish mumkin. Simsiz tarmoq xodimlarining

ish joylari tarmoq rozetkalari bilan bog'lanmagan va agar zarurat bo'lsa, butun tarmoqni boshqa binoga osongina ko'chirish mumkin. Bundan tashqari, ish joylari va yangi tashqi qurilmalarning paydo bo'lishi bilan simsiz tarmoqni kengaytirish juda oson. Simsiz yechimlarning afzalliklari, ayniqsa, vaqtinchalik tarmoqlarni yaratishda, masalan, ko'rgazmalar, seminarlar va boshqa shunga o'xshash tadbirlarida yaqqol namoyon bo'ladi.

Albatta, simsiz tarmoqlarning kamchiliklari ham bor, ularning eng sezilarlisi simsiz tarmoqlarning yuqori zaifligi (kabelli tarmoqlarga taqqoslaganda) hisoblanadi. Hozirgi vaqtda simsiz tarmoqlarni ruxsat etilmagan ulanish va uzatiladigan ma'lumotlarni qo'lga kiritilishidan himoya qilishni ta'minlash uchun maxsus texnologiyalar, birinchi navbatda har xil shifrlash turlari qo'llaniladi [4].

Bu darslik ham chet elda, ham respublikamizda ham keng qo'llaniladigan zamonaviy va istiqbolli simsiz aloqa tarmoqlarini mustaqil ravishda o'rganishga imkon beradi.

Mualliflar t.f.n. dots. R.R.Ibraimov, t.f.n. dots. Sh.U.Pulatov, PhD X. X. Madaminov, t.f.d professor Y. V. Pisetskiyga darslikni tayyorlashda ko'rsatgan uslubiy yordami uchun minnatdorchilik bildiradi. Shuningdek, o'z taqrizchilar t.f.n. dots. A. A. Yarmuxamedov va PhD X. Xujamatovlarga minnatdorchilik bildiriladi.

1. SIMSIZ ALOQA TIZIMLARIGA KIRISH

1.1. Ma'lumotlarni simsiz uzatish texnologiyalarning tasniflanishi

Ma'lumotlarni uzatish (ma'lumotlarni almashlash, raqamli uzatish, raqamli aloqa) ma'lumotlarga keyinchalik ishlov berish uchun ma'lumotlarni uzatish kanali bo'yicha telekommunikatsiya vositalari orqali ma'lumotlarni (raqamli bitlar oqimini) signallar ko'rinishida bir nuqtadan boshqa nuqtaga yoki bir nuqtadan bir nechta nuqtalarga fizik uzatish hisoblanadi. Bunday kanallarga misollar mis simlar, optik tolali aloqa liniyalari, ma'lumotlar simsiz uzatish kanallari yoki xotirada saqlash qurilmalari bo'lishi mumkin [4].

Simsiz uzatish tizimlari insoniyat sivilizatsiyasining o'zi paydo bo'lganidan beri mavjud. Xabarchilar, o'qlar, signal olovlari, telegraf, uchqunli uzatkichlar, sun'iy yo'ldoshli aloqa tizimlari - bularning barchasi bitta zanjir bo'g'inlari hisoblanadi. Texnologiyalar o'zgardi, ammo uzatish tarmoqlarining mohiyati o'zgarmay qoldi, ma'lumotlar berilgan vaqtda simlarsiz bir nuqtadan ikkinchisiga uzatilishi uchun turli xil elementlarning o'zaro ta'sirlashishini tashkil qilish bo'lib qoldi. Biroq, uzoq vaqt rivojlanishiga qaramay, simsiz texnologiyalar so'nggi 15-20 yil ichida telekommunikatsiya sohasi rivojlanishining asosiy yo'nalishlaridan biriga aylanish bilan juda jadal rivojlanmoqda.

Zamonaviy ma'noda ma'lumotlarni uzatish simli va simsiz texnologiyalarga bo'lish XIX asr oxirida boshlangan. 20-asrning oxiriga kelib aloqa texnologiyasida yangi to'lqin - raqamli ishlov berish paydo bo'ldi. Tez orada, efir oldidan deyarli har qanday ma'lumotlar, xoh nutq, xoh televizion tasvir bo'lsin, nollar va birlar oqimiga aylantirila boshlandi. Raqamli ishlov berish tufayli paketli tarmoqlarning paydo bo'lishi bilan deyarli yaxlit birlashish uchun telefoniya va ma'lumotlar uzatish texnologiyalari parallel rivojlanishi bilan barchasi yanada uzviy bog'landi. Turli xil axborot texnologiyalarini (ovoz, audio/video, ma'lumotlarni) yagona ishlov berish va uzatish texnologik muhitiga birlashtirishni bildiradigan "Multimedia" atamasi paydo bo'ldi. Internetning keskin rivojlanishi zamonaviy sivilizatsiya uchun raqamli tarmoqlar magistrallar, quvurlar va elektr uzatish liniyalari singari zarur bo'lib qolganligini tasdiqladi.

Ma'lumotlarni uzatish sohasidagi simsiz inqilob deyiladigan ma'lumotlarni simsiz uzatish tarmoqlarning butun dunyoda jadal rivojlanishi quyidagi afzalliklar bilan bog'liq.

1. Arxitekturaning tez moslashuvchanligi, ya'ni mobil foydalanuvchilarning ulanishi, harakatlanishi va uzilishida sezilarli vaqt yo'qotmasdan tarmoq topologiyasini dinamik ravishda o'zgartirish imkoniyati.

2. Ma'lumotlarni uzatishning yuqori tezligi (100 Mbit/s va undan yuqori).

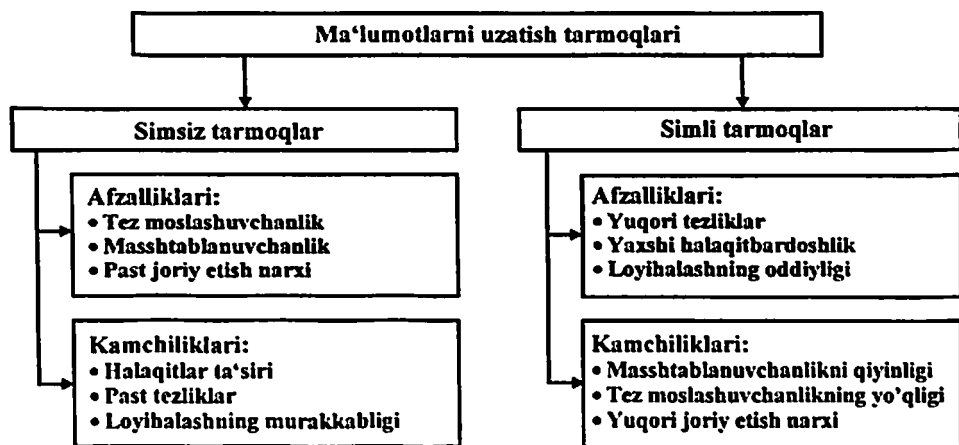
3. Loyihalash va joylashtirishning tezligi.

4. Ruxsat etilmagan ulanishdan yuqori himoya darajasi.

5. Qimmat turadigan yoki yotqizish yoki ijaraga olish har doim mumkin bo'lmaydigan optik-tolali yoki mis kabellardan voz kechish.

Simsiz lokal tarmoq joylashish o'rnidan qat'iy nazar, kompyuter qurilmalari orqali tarmoqqa kirishni ta'minlash uchun mo'ljallangan radiulanish tizimi hisoblanadi. Odatda u foydalanuvchilarga binoning yoki bino kompleksining har qanday nuqtasidan korporativ tarmoqning barcha resurslari va xizmatlariga simsiz ulanish imkoniyatini beradigan amaldagi lokal tarmoq va mijoz kompyuterlari guruhi orasidagi oxirgi oraliq hisoblanadi. Simsiz lokal tarmoqqa "efirdagi Ethernet" sifatida qarash mumkin, chunki u odatda simli lokal tarmoqning davomi sifatida ishlatiladi.

Simsiz texnologiyalar nimani ta'minlay olishini tushunish uchun ma'lumotlarni simsiz va simli uzatish usullarini taqqoslash zarur. Ravshanki, simli texnologiyalar ma'lumotlarni yuqoriroq uzatish tezliklarini ta'minlashi mumkin, ular yaxshi halaqitbardoshlikka ega. Boshqa tomondan, simli tarmoqlarga simsiz tarmoqlarning tez moslashuvchanligi yaqqol yetishmaydi, ularning masshtablanuvchanligi esa nisbatan past. Va nihoyat, eng asosiy omil bu simli tarmoqni joriy etishga katta narx hisoblanadi. Bitta muqobil tarmoqning kamchiliklari ikkinchi muqobil tarmoqlar uchun afzalliklar hisoblanadi. Simsiz stasionar radiotarmoqlarning kamchiliklari sifatida past almashlash tezligi va mos ravishda uzatiladigan ma'lumotlar past hajmi, loyihalashtirishning murakkabligi va sertifikatlashtirishning zarurligini kiritish mumkin (1.1-rasm).



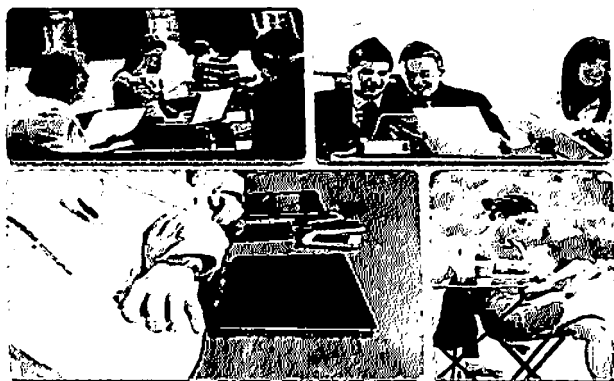
1.1-rasm. Simli va simsiz tarmoqlarning taqqoslanishi

Ma'lumotlarni almashlash hajmi va tezliklariga kelsak, telemetriya tizimlariga qo'llanganda bu omillar ahamiyatli emas, chunki telemetriya ma'lumotlari kichik hajmga ega va bundan tashqari yangilanish davri ham katta bo'lishi mumkin. Simli yoki simsiz tarmoqlarning ishonchliligi masalasi eskirmagan va munozarali hisoblanadi. Bir tomondan, simsiz tarmoqlarning ishonchliligiga elektromagnit halaqitlar darajasi, joyning reliefi va ob-havo sharoitlariga kuchli ta'sir qiladi, boshqa tomondan simsiz tarmoqlarning tarqalish muhiti simli tarmoqlarga qaraganda ancha ishonchli, chunki u tabiiy yoki qasddan mexanik shikastlanishlarga duch kelmaydi. Natijada, simsiz tarmoqlardan foydalanish, agar ularning ishonchliligi va o'tkazish qobiliyati ilova talablariga javob b'Yersa, to'g'ri tanlov bo'ladi. Bu holda simli tarmoqlar bilan solishtirganda ancha past xarajatlar qarorni qabul qilishga ta'sir qiladigan asosiy rolni o'ynaydi [3].

Simsiz tarmoqlar ham korporativ, ham uy tarmoqlari uchun ko'plab ustunliklarni beradi. Bunday ustunliklarga oshirilgan tez moslashuvchanlik va unumdorlik, xarajatlarning kamayishi, rivojlanish imkoniyati va o'zgaradigan talablarga moslashish kiradi.

1.2-rasmda mobil xodimlar uchun simsiz tarmoqlarning tez moslashuvchanligiga misollar keltirilgan.

Ko'plab kompaniyalarda kommutatsiyalanadigan LAN tarmoqlar ofisning kundalik ishlari uchun ishlatiladi. Lekin xodimlar ko'pincha olisdan ishlaydi va LAN korporativ tarmoqning resurslariga ham o'z ish stolidan, ham boshqa joylardan ulanishni mo'ljallaydi.



1.2-rasm. Joylashish o'rniga bog'liq bo'lmagan holda ishlash uchun tez moslashuvchan imkoniyatlar

Xodimlar o'z simsiz qurilmalarini korxonaning resurslariga ulanishini saqlagan holda majlislarga, hamkasblar kabinetiga, konferensiyalar zaliga va hatto mijozlar obyektlariga olib borishni mo'ljallaydi. Simsiz tarmoqlar bunday sharoitlarda talab qilinadigan tez moslashuvchanlikni ta'minlaydi. Kerakli materiallarni tashishga yoki tarmoqning resurslariga ulanish uchun simli ulanishni qidirish o'rniga tarmoq resurslari simsiz aloqa orqali turli simsiz qurilmalarni ulanishini oson taqdim etishi mumkin.

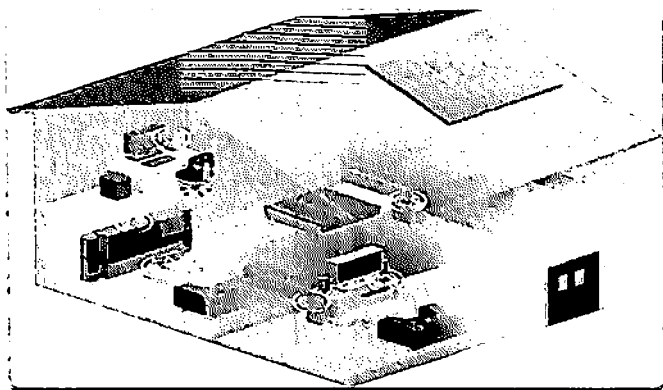
Simsiz ulanish xodimlarning unumdorligini oshirishga va zo'riqishini kamaytirishga ko'maklashadi. Simsiz tarmoqlar tufayli xodimlar tez moslashuvchan ishlash imkoniyatlarini istalgan vaqtda va istalgan qulay joyda oladi. Ular ofisda yoki tushlik vaqtidagi kafeda bo'lish bilan mijozlarning so'rovlariga javob berishi mumkin. Ular sanoqli soniyalarda elektron pochtaga va boshqa ishchi resurslarga ulanishi, bu bilan optimallashtirilgan boshqarishni, mijozlar uchun sifatliroq va tezkor natijalarga erishishni, shuningdek daromad oshirilishini ta'minlaydi.

Simsiz tarmoqlardan foydalanish xarajatlarni ham kamaytirishga imkon beradi. Simsiz infratuzilma ishlatilayotgan kompaniyalarda xarajatlarni tejash qurilmaning har bir o'zgartirilishida yoki harakatlanishida, masalan, xodimning bino chegaralaridan harakatlanishida yoki qurilmalarni yoki laboratoriyalarni qayta tashkil etilishida, u yoki bu loyiha doirasida vaqtinchalik ofislarga yoki obyektlarga harakatlanishda amalga oshiriladi.

Simsiz tarmoqlarning yana bir afzalligi ehtiyojlar va texnologiyalarni o'zgarishlariga moslashish qobiliyati hisoblanadi. Simsiz tarmoqqa yangi qurilmaning qo'shilishi alohida qiyinchiliklarni tug'dirmaydi.

Uy sharoitlarida simsiz ulanishga misolni ko'rib chiqamiz. Foydalanuvchilar oshxona stolida o'tirish bilan, mehmonxonada va hatto uydan tashqarida bo'lish bilan veb-saytlarga tashrif buyurishi mumkin. Uy tarmog'i foydalanuvchisi yangi qurilmalarni (masalan, smartfonlar, planshet kompyuterlar, noutbuklar va intellektual funksiyalarli televizorlarni) ulashi mumkin.

1.3-rasmda tasvirlanganidek, simsiz uy tarmog'i marshrutizatori foydalanuvchilarga bunday qurilmalarga qo'shimcha xarajatlarsiz va uydagi alohida xonalar orasida o'tkaziladigan noqulay kabellarsiz ulanishga imkon beradi.



1.3-rasm. Xarajatlarni kamaytirilishi

Simsiz texnologiyalarning hozirgi holati radiotexnikani rivojlanishining muhim bosqichlariga bevosita bog'liq. Bularning hammasi 19-asr oxirida birinchi radiosignalini uzatish bilan boshlangan. 1920-1930 yillarda mos ravishda amplitudaviy va fazaviy modulyatsiyalashga ega bo'lgan birinchi radiolar paydo bo'ldi.

Birinchi simsiz telefon tizimlari 1970-yillarda paydo bo'lgan va 1980-yillarda GSM standarti yaratilgan. 1990-yillar Wi-Fi standartlarining paydo bo'lishi bilan ajralib turadi va 2005 yilda Zigbee 2004 standarti e'lon qilindi. Simsiz texnologiyalarning rivojlanishidagi so'nggi uchta bosqichlar aniq standartlarning e'lon qilinishiga bevosita bog'liqligini ko'rish mumkin. Aytish kerakki, dunyo biz xohlaymizmi

yoki yo'qmi, globallashtirishda va standart yechimlar alohida yechimlarga qaraganda jiddiy afzalliklarga ega.

Ma'lumki, xalqaro standartlashtirish bo'yicha asosiy tashkilotlar ISO - Xalqaro standartlashtirish tashkiloti, IEC - Xalqaro elektrotexnika komissiyasi, ITU - Xalqaro elektraloqa ittifoqi hisoblanadi. ISOning faoliyati sohasi elektrotexnika va elektronikadan tashqari deyarli barcha sohalarda standartlashtirishga tegishli, elektrotexnika va elektronika esa, o'z navbatida IECga birlashtirilgan. ITU asosan radiochastotalarni taqsimlash, xalqaro telefoniya va radioaloqani tashkil etish bilan shug'ullanadi [4].

Signallarni simsiz uzatishning bir necha xil usullari mavjud [5]:

- **Radioaloqa** - bo'shliqda simsiz tarqaladigan radioto'lqinlar yordamida ma'lumotlarni uzatish va qabul qilish. Uzatish quyidagi tarzda amalga oshiriladi: uzatuvchi tomonda (uzatkichda) ma'lum bir chastotali yuqori chastotali tebranishlar (tashuvchi signal) shakllantiriladi. Unga uzatilishi kerak bo'lgan signal (tovushlar, tasvirlar va hk) qo'shiladi, ya'ni tashuvchi foydali signal bilan modulyatsiyalanadi. Bunday tarzda shakllantirilgan yuqori chastotali signal antenna orqali radioto'lqinlar ko'rinshida efirga nurlantiriladi. Qabul qiluvchi tomonda radioto'lqinlar qabul qiluvchi antennada modulyatsiyalangan signalni hosil qiladi, u qabul qilgichga beriladi. Bu yerda filtrlar tizimi turli uzatkichlardan antennada hosil bo'lgan toklardan kerakli tashuvchi chastotali signalni ajratib oladi, detektor esa undan modulyatsiyalovchi foydali signalni ajratadi. Olingan signal uzatkich orqali uzatiladigan signaldan turli xil halaqitlarning ta'siri tufayli bir oz farq qilishi mumkin;

- **radioreleli aloqa**. Bu turli masofalarga ma'lumotlarni uzatish turlaridan biri hisoblanadi. Translyatsiyalashni amalga oshirish uchun zanjir bo'yicha signallarni qabul qilish, kuchaytirish va keyingi kompleksga uzatish uchun zarur qurilmalar bilan jihozlangan yer usti stasionar komplekslari qo'llaniladi. Bunday turdagi aloqa turining asosiy kamchiliklaridan biri yer usti retranslyatorlari va mos kommunikatsion infratuzilmasiga bog'liqlik hisoblanadi;

- **sun'iy yo'ldoshli aloqa**. Signallarni uzatishning bu turi radioreleli aloqaning evolyutsion rivojlanishi hisoblanadi. Yer usti retranslyatorlari o'rniga yer atrofi orbitalarida joylashgan kosmik sun'iy yo'ldoshlar ishlatiladi. Signallar yer usti stansiyasidan sun'iy yo'ldoshga uzatiladi, bu yerda unga ishlov beriladi, kuchaytiriladi va qamab olish zonasi doirasida uzatiladi. Asosiy afzallik shundaki,

signallarni qabul qilish va uzatish sayyoramizning istalgan joyida, shu jumladan okean kengliklari, qutblar yoki tog' cho'qqilarida amalga oshirilishi mumkin;

- **sotali aloqa.** Signal tarqalishi yer stansiyasidan olti burchakli shaklni ("sotalar" deyiladigan) hosil qilish bilan uzatkichdan teng masofalarda joylashgan qabul qilgichlarga bo'lib o'tadi. Signalning sifati va qamrab olish doirasi "sotalar" soni orqali aniqlanadi. Bugungi kunda bu aloqa turi eng katta talabga ega, chunki u stasionar telefoniya bilan taqqoslaganda mobillikka ega;

- **ochiq atmosfera-optik aloqa tizimlari.** Bu obyektlar orasida shisha tola yoki radioefirdan foydalanmasdan optik ulanishni taqdim etish bilan ma'lumotlar, ovoz va videoni atmosfera fazosi orqali uzatishga imkon beradigan texnologiya hisoblanadi. Ular kabellar yotqizish mumkin bo'lmaydigan yoki iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'lmaydigan va qisqa muddatlarda aloqani o'rnatish zarur bo'ladigan joylarda simli (mis yoki optik tolali) tizimlarga muqobil tizim sifatida ishlatiladi.

Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth kabi marketing nomlari bilan tanilgan ko'plab simsiz texnologiyalar mavjud. Har bir texnologiya uning qo'llanilish sohasi orqali aniqlanadigan ma'lum xususiyatlarga ega.

Simsiz texnologiyalarni tasniflashga yondashuvlar

Simsiz texnologiyalarni tasniflashga turli xil yondashuvlar mavjud [3]:

- ishlash masofasi bo'yicha (1.4- rasm):

- simsiz personal tarmoqlari (WPAN - Wireless Personal Area Network). Unga Bluetooth texnologiyalari misol bo'ladi;

- simsiz lokal tarmoqlar (WLAN - Wireless Local Area Networks). Unga Wi-Fi texnologiyalari misol bo'ladi;

- shahar masshtablaridagi simsiz tarmoqlar (WMAN - Wireless Metropolitan Area Networks). Unga WiMAX texnologiyalari misol bo'ladi;

- simsiz global tarmoqlar (WWAN - Wireless Wide Area Network). Ularga CSD, GPRS, EDGE, EV-DO, HSPA, UMTS, LTE, LTE Advanced texnologiyalarga misol bo'ladi.

- topologiya bo'yicha:

- "nuqta-nuqta";

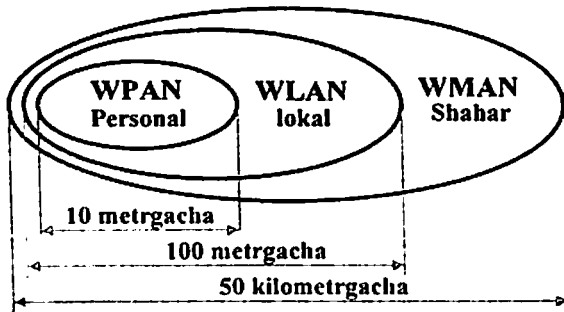
- "nuqta-ko'p nuqta".

- qo'llanilish sohasi bo'yicha:

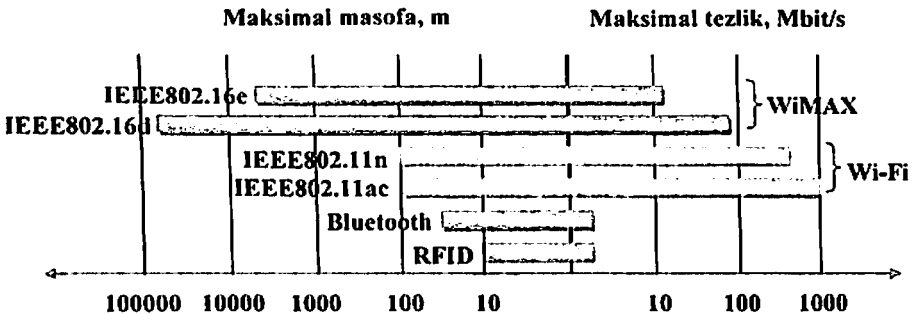
- korporativ (idoraviy) simsiz tarmoqlar, ular kompaniyalar tomonidan o'z ehtiyojlari uchun yaratiladi;
- operatorlar simsiz tarmoqlar, ular telekommunikatsiya operatorlari tomonidan pullik xizmatlar ko'rsatish uchun quriladi.

Tasniflashning aniq, ammo sig'imli usuli bir vaqtning o'zida ikkita o'qlarda simsiz texnologiyalarning ikkita muhim xarakteristikalari - ma'lumotlar maksimal uzatish tezligi va maksimal ishlash masofasini aks ettirish hisoblanadi (1.5-rasm).

Tarmoq topologiyasi uning o'tkazish qobiliyati, ma'lumotlarni uzatish tezligi va signallarni uzatish masofasi kabi funksional imkoniyatlarini aniqlaydi. Kundalik hayotda ham, tijorat va sanoat faoliyatida ham keng ko'lamli vazifalarni hal qila oladigan simsiz tarmoqni yaratish uchun tizimning qaysi parametrlari eng muhimligini aniqlash kerak. Simsiz tarmoqlarni qurish uchun foydalanish sohasida ham, asosiy xususiyatlarda ham bir-birlaridan farqlanadigan bir necha asosiy prinsiplar mavjud [3].



1.4-rasm. Ishlash masofasi bo'yicha simsiz texnologiyalarning tasniflanishi

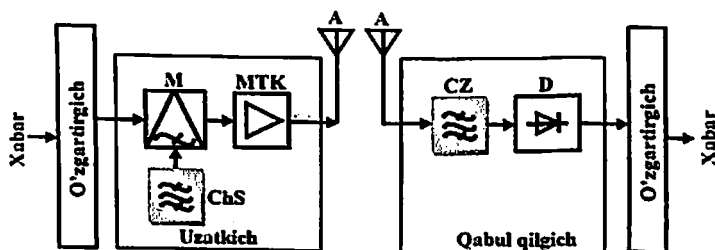


1.5- rasm. Ma'lumotlarni uzatish tezligi va ishlash masofasi bo'yicha ayrim simsiz texnologiyalarning tasniflanishi

1.2. Radioaloqani tashkil etish prinsiplari

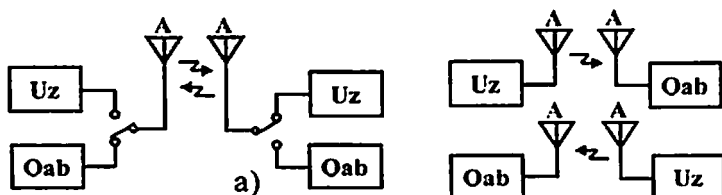
Signallarni manbadan ma'lumotlarni qabul qilgichga uzatilishini ta'minlaydigan radioto'lqinlarni tarqatish texnik vositalari va muhitlari to'plami *radiokanal (radioaloqa kanali)* deyiladi. Bitta azimutal yo'nalish bo'yicha radioaloqani ta'minlaydigan radiokanal *radioliniya* deyiladi. Bir kanalli radioliniyaning soddalashtirilgan tuzilish sxemasi 1.6- rasmda keltirilgan [6].

Qabul qilish uchida radioto'lqinlar qabul qiluvchi antennada (A) elektr yurituvchi kuchni (EYuK) hosil qiladi. Qabul qilgich (inglizcha receiver - radioqabul qilish qurilmasi) selektiv (tanlovchan) zanjirlar (SZ) yordamida signallarni halaqitlar va boshqa uzatkichlardan (inglizcha transmitter) filtrlaydi. Detektorda (D) modulyatsiyalashga teskari jarayon - modulyatsiyalangan tebranishlardan dastlabki elektr signalini ajratib olish bo'lib o'tadi. Keyin o'zgartirgichda bu signal abonentga uzatiladigan xabarga o'zgartiriladi.



1.6- rasm. Bir kanalli radioliniyaning soddalashtirilgan tuzilish sxemasi

Ko'rib chiqilgan radioliniya sxemasi *bir tomonlama radioaloqani* ta'minlaydi, bunda xabarlarni uzatishni qabul qilgich/uzatkichlardan (inglizcha transceiver) biri, ikkinchisi yoki boshqalari faqat qabul qilishni amalga oshiradi. Qabul qilgich/uzatkichda xabarlarni qabul qilish va uzatish amalga oshiriladigan ikki tomonlama radioaloqani tashkil qilish uchun har bir nuqtada uzatkich (Uz) va qabul qilgich (Qab) bo'lishi kerak. Agar bunda har bir qabul qilgich/uzatkichda uzatish va qabul qilish navbatma-navbat amalga oshirilsa, u holda bunday radioaloqa *simpleks radioaloqa* deyiladi (1.7-rasm, a).

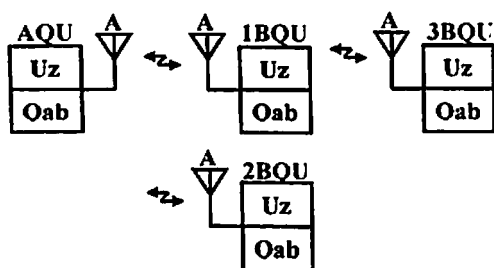


1.7-rasm. Radioaloqani tashkil etishning tuzilish sxemasi: a - simpleks; b- dupleks

Simpleks radioaloqa nisbatan kichik ma'lumotlar oqimlari bo'lganda ishlatiladi [6]. Bunday radioaloqa bitta chastotali (bitta chastotada qabul qilish va uzatish) va ikki chastotali (turli chastotalarda qabul qilish va uzatish) bo'lishi mumkin. Qabul qilgich/uzatkichlar orasidagi aloqa bir vaqtning o'zida amalga oshiriladigan ikki tomonlama radioaloqa *dupleks radioaloqa* deyiladi (1.7-rasm, b).

Dupleks radioaloqada bitta va boshqa yo'nalishlarda uzatish odatda turli tashuvchi chastotalarida amalga oshiriladi. Bu qabul qilgich faqat qarama-qarshi nuqtaning uzatkichidan signallarni olishi va o'z uzatkichidan signallarni qabul qilmasligi uchun amalga oshiriladi.

Agar ko'p sonli nuqtalar bilan radioaloqa zarur bo'lsa, u holda barcha abonentlar uchun bitta umumiy chastotada yoki chastotalar guruhida ishlaydigan radiolinilyalar to'plamini beradigan *radiotarmoq* tashkil etiladi. Turli xil murakkablikdagi radiotarmoqlarning tuzilish sxemalari simpleks radioaloqa uchun 1.8-rasmda, dupleks radioaloqa uchun 1.9-rasmda keltirilgan.

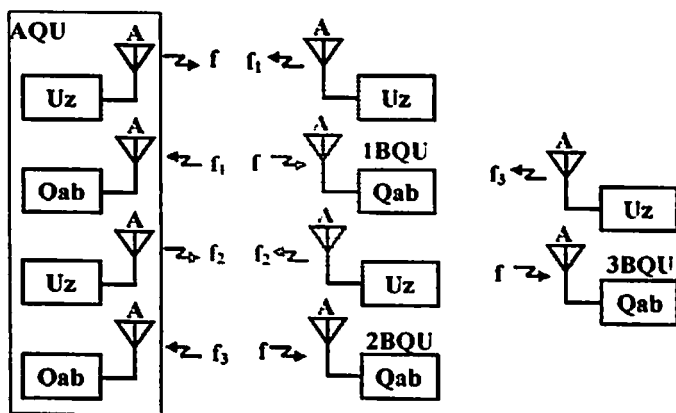


1.8-rasm. Murakkab simpleks radioaloqa asosidagi radiotarmoq

Radiotarmoqning ishlashi mazmuni quyidagicha. Asosiy qabul qilgich/uzatkich (AQU) deyiladigan bitta qabul qilgich/uzatkich ham bitta, ham bir nechta bo'ysunuvchi qabul qilgich/uzatkichlar uchun xabarlarni uzatishi mumkin. AQU radiooperatori radiotarmoqdagi

tartibni kuzatib boradi va bo'ysunuvchi qabul qilgich/uzatkichlarga (BQU) uzatishga ishlash ketma-ketligini o'rnatadi. Bo'ysunuvchi transivyerlar tegishli ruxsat etish bo'lganda nafaqat AQU bilan, balki bir-birlari bilan ham xabarlarni (ma'lumotlarni) almashlashi mumkin.

Aloqani bunday tashkil etilishi ham murakkab simpleks (1.8-rasm), ham murakkab dupleks (1.9-rasm) asosida amalga oshirilishi mumkin. Birinchi holda, birlashtirilgan qabul qilgich/uzatkichlari va umumiy ishchi radioto'lqinlardan (chastotalardan) foydalanish mumkin.



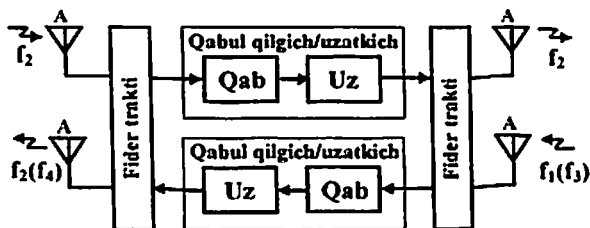
1.9-rasm. Murakkab dupleks radioaloqa asosidagi radiotarmoq

Ikkinchi holda, AQU uzatishni bitta chastotada, qabul qilishni esa bir necha chastotalarda (bo'ysunuvchi qabul qilgich/uzatkichlar soniga bo'yicha) amalga oshiradi. Ta'kidlaymizki, radiotarmoq *yarim dupleksli radioaloqa* asosida tashkil qilinishi mumkin, bunda uzatish va qabul qilish bitta qabul qilgich/uzatkichda (asosiy qabul qilgich/uzatkichda) bir vaqtning o'zida, boshqa qabul qilgich/uzatkichlarda navbatma-navbat amalga oshiriladi.

Yirik sanoat hududlarining markazlari ko'plab nuqtalar bilan radioaloqa liniyalari orqali ulanadi. Buning uchun uzatkichlar va uzatish antennalari *uzatish radiomarkazi* deyiladigan markazda va qabul qilgich va qabul qilish antennalari qabul qilish radiomarkazlarida joylashtiriladi. Xabarlar manbalarini uzatkichlar va qabul qilgichlar bilan ulash va shaharlardagi radioaloqaning sifatini nazorat qilish uchun *radiobyurolar* tashkil etiladi.

Katta masofali radiotarmoqlarda aloqa masofasini oshirish uchun *retranslyatsion stansiyalar (retranslyatorlar, repiterlar)* kiritiladi.

Retranslyatorning umumlashtirilgan tuzilish sxemasi 1.10-rasmda keltirilgan. Ma’lum belgilar va tushunchalarga bu yerda yangi fider trakti qo‘shiladi, u elektromagnit energiyani antennadan qabul qilgichga (Qab) va uzatkichdan (Uz) antennaga uzatadigan va fider va qator yordamchi elementlarga ega bo‘ladi.



1.10- rasm. Retranslyatorning umumlashtirilgan tuzilish sxemasi

Fider traktiga quyidagi talablar qo‘yiladi [7]:

- energiyani uzatish kam yo‘qotishlar bilan amalga oshirilishi kerak;

- uzatish fideri nurlantirmasligi kerak, qabul qilish fideri esa tashqi elektromagnit tebranishlarni qabul qilmasligi kerak;

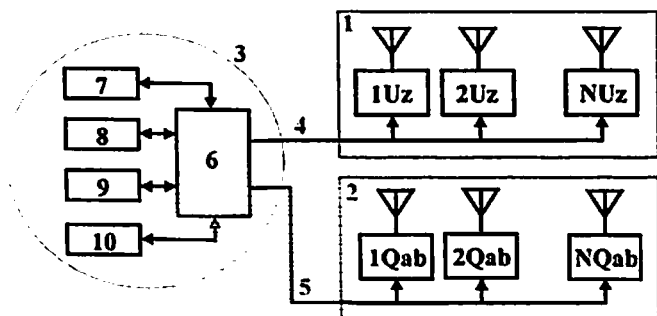
- parallel oqimlarni hosil qiladigan traktlardagi qaytishlar minimal bo‘lishi kerak;

- boshqa (yuqori) tartibdagi to‘lqinlar tarqalmasligi kerak.

Zamonaviy radiotizimlarda antennalar nurlantiradigan va qabul qiladigan radiosignallar sathlaridagi farq juda katta (150 dB va undan yuqori).

Retranslyatorning uzatish va qabul qilish traktlari orasida parazit aloqalarni vujudga kelishi ehtimolini yo‘q qilish uchun har bir uzatish yo‘nalishi uchun ikkita tashuvchi chastotalarni ishlatish kerak. Bunda radio signallarni qarama-qarshi yo‘nalishlarda uzatish uchun o‘sha bir chastotalar juftligi (f_1, f_2) yoki ikkita turli juftliklar (f_1, f_2 va f_3, f_4) ishlatilishi mumkin. Bunga bog‘liq ravishda dupleks rejimda qabul qilish va uzatish chastotalarini taqsimlashning ikkita usullari (rejalari) - ikki chastotali (f_1, f_2) va to‘rt chastotali (f_1, f_2 va f_3, f_4) rejalar mavjud. *Ikki chastotali reja* egallanadigan chastotalar diapazonidan foydalanish nuqtai nazaridan ancha tejamkor, lekin buning uchun qarama-qarshi yo‘nalishdagi signallardan himoyalash uchun maxsus choralar talab etiladi. *To‘rt chastotali reja* bu himoyalashni talab qilmaydi, ammo chastotalar polosasidan foydalanish nuqtai nazaridan tejamkor emas.

Ajratilgan chastotalar diapazonida tashkil etilishi mumkin bo'lgan radiokanallar soni (radiostvollar) to'rt chastotali rejada ikki chastotali rejadagiga qaraganda ikki baravar katta bo'ladi. Ma'muriy yoki xo'jalik markazga xizmat ko'rsatadigan radioaloqa vositalari kompleksining sxemasi 1.11-rasmda keltirilgan.



1.11-rasm. Radioaloqa vositalari kompleksining sxemasi

Bu yerda: 1 – 1-Uz, 2-Uz,, N-Uz uzatkichlarga ega bo'lgan radiomarkaz; 2 – 1-Qab, 2-Qab, ..., N-Qab qabul qilgichlar; 3 - radiomarkazlariga 4- va 5-bog'lash (simli) aloqa liniyalari orqali ulangan shahar. Uzatiladigan signallar 4-liniya bo'yicha 1-radiomarkazga beriladi, 5-liniya bo'yicha 2-radiomarkaz qabul qilgan signallar shaharga uzatiladi, bu liniyalar bo'yicha yana radiomarkazlarining ishlashini masofadan boshqarish signallari va radio markazlarning ishlashini masofadan boshqarish signallari, qurilmalarni masofadan boshqarish signallari orqali uzatiladi. 6-radiobyuro 9-shaharlararo telefon stansiyasi, markaziy telegrafining 7-telegraf va 8-fototelegraf (faksimil) boshqaruv xonalari, shuningdek, 10-radioeshittirishlarni boshqarish xonasi bilan ulanadi. Radioeshittirishni boshqarish xonasi boshqa shaharlar yoki mamlakatlar bilan dasturlarni almashish uchun xizmat qiladi. Boshqarish xonalari uzatiladigan xabarlarning manbalari, masalan, abonent telegraf tarmoqlari, telefon tarmoqlari va boshqalar bilan bog'lanadi.

Radiouzatish tizimlari (RUT) ularning asosiga qo'yilgan belgilarga bog'liq ravishda juda ko'p turli xil tasniflashlarga ega. Eng muhim belgilarga bo'yicha radiouzatish tizimlarining tasniflanishini keltiramiz [7]:

- turli xil xizmatlarga tegishligi bo'yicha, Radioaloqa reglamentiga muvofiq qayd etilgan radioaloqa RUTlari (qayd etilgan

nuqtalar orasidagi radioaloqa), radioeshittirish xizmati (aholi tomonidan to'g'ridan-to'g'ri qabul qilinadigan signallarni uzatish), harakadagi xizmatlar RUTlariga (bir-birlariga nisbatan harakatlanadigan obyektlar orasidagi radioaloqa) ajratiladi;

- vazifasi bo'yicha, xalqaro, magistral, ichki zonaviy, mahalliy RUTlar, harbiy RUTlar, texnologik RUTlar (temir yo'l transporti obyektlari, elektr uzatish liniyalari, neft va gaz quvurlari va boshqalarga xizmat ko'rsatish uchun), kosmik RUTlarga (kosmik kemalar yoki quruqlikdagi nuqtalar va kosmik kemalar orasida radioaloqani ta'minlash) ajratiladi;

- ishlatiladigan radiochastotalar yoki radioto'lqinlar diapazoni bo'yicha;

- uzatiladigan signallarning turi bo'yicha analog signallar RUTlari (telefon, radioeshittirish, faksimil, televizion, telemetriya va telenazorat signallari), raqamli signallar RUTlari (telegraf, kompyuter signallari) va kombinatsiyalangan RUTlarga ajratiladi;

- kanallarni ajratish usuli (kanallar signallari) bo'yicha kanallar chastota, vaqt, faza va kombinatsiyalangan ajratiladigan ko'p kanalli RUTlar mavjud; shuningdek, kanal signallari shakli bo'yicha ajratiladigan maxsus RUTlar mavjud (masalan, signallar kod-manzilli ajratiladigan asinxron-manzilli tizimlar);

- chiziqli signal turi bo'yicha analog, raqamli va aralash (gibrid) RUTlarga ajratiladi. Analog RUTlarda radiokanal kirishiga analog signal beriladi, mos ravishda radiosignal ham analog bo'ladi; impulsi RUTlar, ya'ni impulsi modulyatsiyalashli (va kanallarni vaqt bo'yicha ajratiladigan) tizimlar ham analog RUTlarga kiradi; raqamli RUTlarda radiokanalning kirishiga va tarqalish traktiga raqamli signal beriladi; aralash RUTlarda chiziqli signal analog chiziqli signal va raqamli signal bilan modulyatsiyalangan nimtashuvchidan tashkil topadi;

- tashuvchini modulyatsiyalash turi bo'yicha analog RUTlar chastotaviy, bir polosali va amplitudaviy modulyatsiyalashli tizimlarga va raqamli RUTlar amplitudaviy, chastotaviy, fazaviy va amplituda-fazaviy manipulyatsiyalashli tizimlarga bo'linadi;

- o'tkazish qobiliyati bo'yicha past, o'rta va yuqori o'tkazish qobiliyatli RUTlarga ajratiladi; turli xil analog va raqamli RUTlar eng ko'p ishlatiladigan o'tkazish qobiliyatlari chegaralari 1.1-jadvalda keltirilgan.

- radioto'lqinlarining tarqalish traktida ishlatiladigan fizik jarayonning tabiati bo'yicha uzun, o'rta va qisqa radioto'lqinlarda

retranslyatorlarsiz radio, aloqa va radioeshittirish tizimlari; to'g'ri ko'rinish radioreleli uzatish tizimlari (RRUT), bunda radioto'lqinlar to'g'ri ko'rinish chegaralarida tarqaladi; troposfera radioreleli uzatish tizimlari (TRUT), bunda radioreleli stansiyalar to'g'ri ko'rinish chegaralaridan tashqarida o'zaro joylashishida troposferaning pastki sohasidan radioto'lqinlarning tarqalishi qaytishi hisobiga radioto'lqinlarning troposferada katta masofalarga tarqalishidan foydalanadi; sun'iy yo'ldoshli uzatish tizimlari (SYUT), bunda orasida radioaloqa amalga oshiriladigan yer stansiyalarining radioko'rish chegaralarida bo'lgan yerning sun'iy yo'ldoshi (YSY) bort retranslyatori orqali retranslyatsiyalanadigan radioto'lqinlarni to'g'ridan-to'g'ri tarqalishidan foydalaniladi; dekametrl to'lqinlardagi ionosfera RUTlari (ionosfera qatlamlaridan qaytish tufayli dekametrl to'lqinlarining uzoq masofalarga tarqalishi); kosmik RUTlar (radioto'lqinlarning kosmosda va Yer atmosferasida to'g'ri chiziqli tarqalishi); metrli to'lqinlardagi ionosfera RUTlari (metr to'lqinlarining ionosferaning bir jinlimasliklarida sochilish tufayli uzoq masofalarga tarqalishi) va boshqalar [7].

- Ko'p kanalli telekommunikatsiya tizimlarini qurish uchun dekametrl, santimetrl va millimetrl radioto'lqinlar diapazonlaridan foydalanadigan radioreleli va sun'iy yo'ldoshli uzatish tizimlari keng qo'llaniladi. Xuddi shu diapazonda turli maqsadlar uchun zamonaviy harakatdagi (mobil) radio aloqa tizimlari quriladi. Oldingi mobil radioaloqa tizimlari metrli to'lqinlarning alohida oraliqlaridan foydalangan. Shuning uchun bu turdagi radioto'lqinlarning tarqalish xususiyatlarini ko'rib chiqish zarur. Radioaloqa tizimlarini shartli ravishda oddiy (konveksion) va tranking tizimlarga bo'lish mumkin [7].

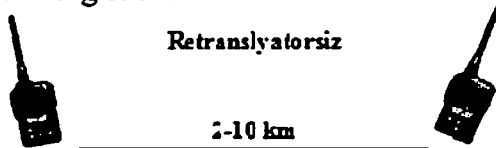
1.1-jadval

Analog va raqamli RUTlarda eng ko'p ishlatiladigan o'tkazish qobiliyatlari chegaralari

O'tkazish qobiliyati xarakteristikallari	RUT uchun o'tkazish qobiliyati qiymati	
	analog, tonal chastota kanallari soni, Mbit / s	raqamli, Mbit/s
Past	24 dan past	10 dan past
O'rta	60...300	10...100
Yuqori	300 dan yuqori	100 dan yuqori

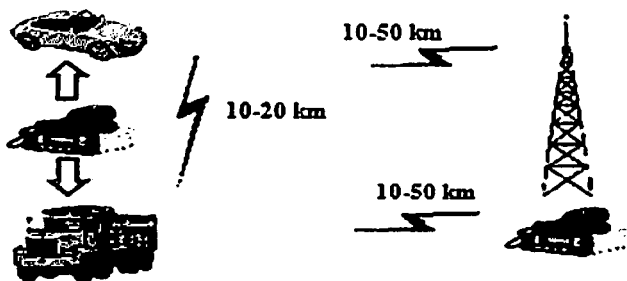
Dastlab oddiy UQT radioaloqa tizimlarini ko'rib chiqamiz:

- Aloqa masofasi 2-10 kilometr bo'lgan radioaloqa tizimlari (shahar-ochiq maydon) (1.12-rasm). Radioaloqani tashkil qilishning bu usuli savdo markazlari, do'konlar, omborlar, qurilish maydonchalari, har qanday obyektni qo'riqlash aloqalarini tashkil qilish uchun (qo'riqlash uchun ratsiyalar), sport inshootlari va majmualari, ishlab chiqarish maydonchalari, fabrikalar va boshqalar, masalan, ov qilish uchun ratsiya uchun to'g'ri keladi.



1.12- rasm. 2-10 kilometrilar aloqa masofasili radioaloqa tizimlari

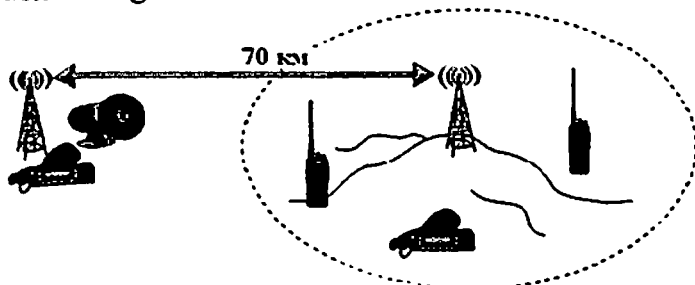
- 10-50 kilometrilar masofali radioaloqa tizimlari (ko'chma – avtomobil stansiyalari) (1.13- rasm). Radioaloqani tashkil etishning bu usuli yirik sanoat korxonalari va fabrikalar, agrosanoat majmuasi fermalari va korxonalari, o'rmon xo'jaligi, o'rmon xo'jaligi komplekslari va o'rmon xo'jaligi korxonalari, har qanday katta maydon obyektlari (masalan, taksi uchun aloqa tashkil etish) va boshqalar uchun to'g'ri keladi.



1.13-rasm. 10-50 kilometrilar masofali radioaloqa tizimlari

- retranslyatordan foydalaniladigan radioaloqa tizimlari, aloqa masofasi 70 kilometrargacha (avtomobillar qabul qilgich/uzatkichlari uchun) (1.14-rasm). Retranslyatordan foydalanishda ma'lumotlarni abonentga uzatadigan dispetcherga ehtiyoj qolmaydi, retranslyatordan foydalaniladigan radioaloqa tizimining har bir abonent tizimning boshqa abonentlariga o'zi chaqiruvni amalga oshirishi mumkin.

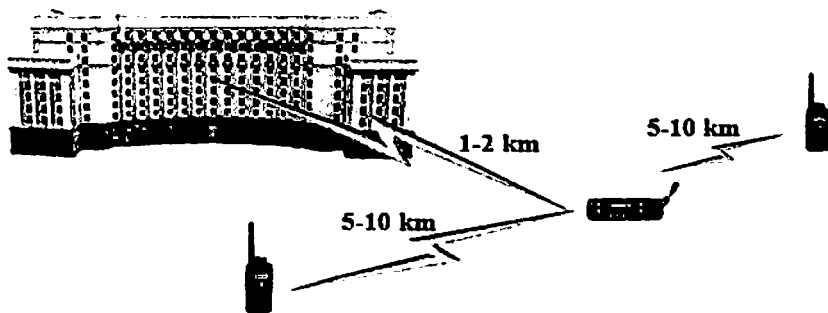
Retranslyator chaqiruv signalini avtomatik ravishda barcha tarmoq abonentlariga qayta yo'naltiradi. Bu UQT radioaloqasni tashkil qilish usuli mehmonxona biznesi, yirik savdo markazlari, biznes markazlari va boshqalar uchun to'g'ri keladi.



1.14- rasm. Retranslyatoridan foydalaniladigan radioaloqa tizimlari, aloqa masofasi 70 kilometrlargacha

- “Nuqta-nuqta”da radio aloqani tashkil qilish sxemasi.

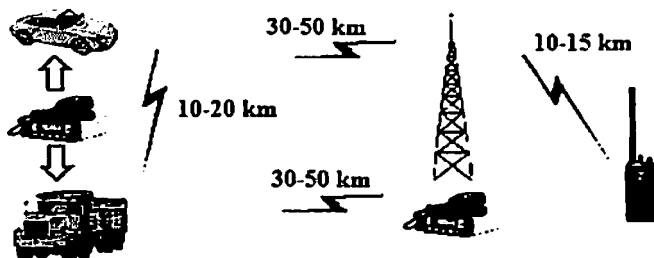
Bunday tizimlar uncha katta bo'lmagan hududlarda mahalliy aloqani ta'minlash uchun ishlatiladi. Bu 1-2 km masofalarda binolarda yoki 5-10 km masofada binolardan tashqarida aloqa hisoblanadi (1.15-rasm). Bu radioaloqa tarmoqlarida odatda faqat ko'chma transverslar kabi radioaloqa vositalari ishlatiladi [8].



1.15-rasm. “Nuqta-nuqta” radioaloqani tashkil etish sxemasi

- “Yulduz” turidagi dispetcherlik boshqarishli radioaloqa tizimini tashkil etish sxemasi. Bunday radioaloqa tizimlari markaziy dispetcherlik bazaviy stansiyasi, antenna-fider trakti, ko'chma va avtomobillar qabul qilgich/uzatkichlaridan tashkil topadi. Bunda antennani iloji boricha yuqori joylashtirish maqsadga muvofiq. Bu

tizimlar mobil stansiyalarni dispatcher bilan butun qamrab zonasida (50 kmgacha) va bazaviy antennaning muvaffaqiyatli joylashishida ko'chma stansiya bilan 10-15 km masofada radioaloqasini ta'minlaydi (1.16-rasm). Tizimning ishlashi uchun 136-174 MGs yoki 403-470 MGs diapazondagi bitta chastota zarur bo'ladi.



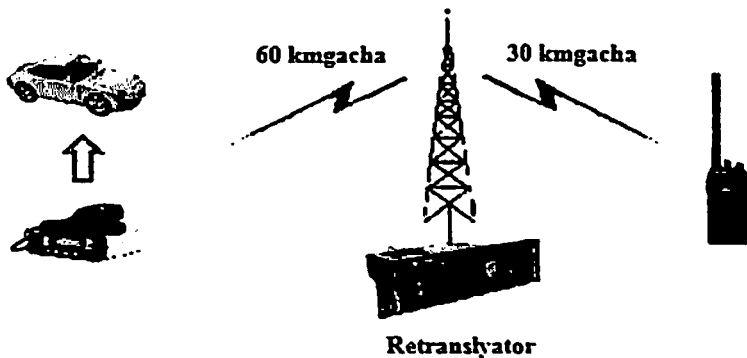
1.16-rasm. Retranslyatorli radioaloqani tashkil etish tizimi

Ishlatilgan qabul qilgich/uzatkichlar turiga bog'liq ravishda radiotarmoqlarning quyidagi turlarini tashkil qilish mumkin:

- "bittasi gapiradi, hamma eshitadi" prinsipi asosida ishlaydigan individual chaqiruvsiz radioaloqa sxemasi;

- individual va guruhli chaqiruvlarga ega bo'lgan radioaloqa sxemasi. Tarmoqning yanada rivojlangan turi hisoblanadi. Bu tarmoqlarda o'zaro halaqitlarsiz bir nechta foydalanuvchilar guruhlarining bitta chastotada ishlashi, bitta ma'lum abonentni chaqirish, abonent guruhlarini chaqirish va umumiy chaqiruvni amalga oshirish mumkin.

- bazaviy dispatcherlik stansiyasidan foydalaniladigan radioaloqa tizimlari. Dispatcherlik stansiyasi bilan radio aloqani tashkil etish sxemasi zavodlarda va sanoat korxonalarida, banklarda mahalliy radio tarmoqlarini tashkil qilish uchun to'g'ri keladi, shuningdek, taksi kompaniyalarida, yirik savdo markazlarida, transport kompaniyalarida, o'rmon xo'jaligi va o'rmonlarni qayta ishlash korxonalarida katta maydonlarni qamrab olish uchun ishlatilishi mumkin (1.19-rasm).

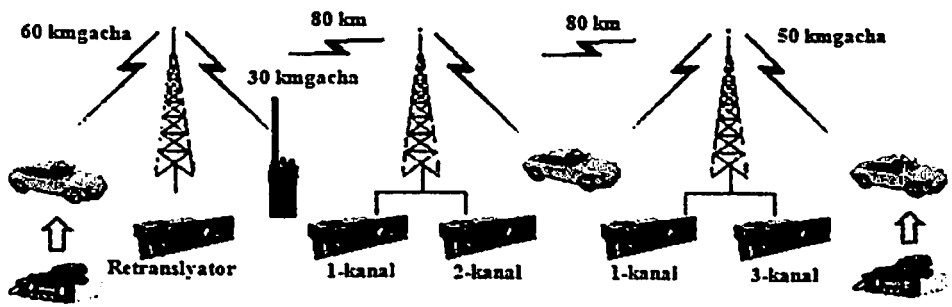


1.17- rasm. Bazaviy dispetcherlik stansiyasidan foydalaniladi radioaloqa tizimlari

Retranslyatorlardan foydalaniladigan radioaloqa tizimlari katta qamrab olish zonasini ta'minlashda ishlatiladi. Dispetcherli tizimlardan farqli ravishda qamrab olish zonasidagi barcha qabul qilgich/uzatkichlar bir-birlari bilan retranslyatorlar orqali bog'lanishi mumkin. Istalgan abonent stansiyasi dispetcherlik stansiyasi bo'lishi mumkin [8].

Retranslyator kundalik texnik xizmat ko'rsatishni talab qilmaydi va uni televizion va radioreleli minoralarda va boshqalarda joylashtirish mumkin. Tizimning ishlashi uchun qabul qilish va uzatish chastotalari orasidagi 600 kGs undan katta farqqa ega ikkita chastotalar (biri qabul qilish uchun, ikkinchisi uzatish uchun) talab qilinadi.

Bunday aloqa tizimlarini qurish uchun uch juft chastotalar talab qilinadi (1.18-rasm). Bu holda, retranslyatorlar bir-birlaridan yetarlicha masofada bo'lishi kerak. Masalan, 1.20-rasmdagi sxemada 1-kanal 3-kanaldan keyin takrorlanishi mumkin.



1.18-rasm. Ko'p kanalli retranslyatsiyalashli aloqa tizimlari

- Tranking radioaloqa tizimlari [8].

Tranking radioaloqa tizimlari keng qo'llanadi va ko'plab qurish variantlariga ega. Ular yuzlab kilometr masofalardagi (masalan, neft yoki gaz quvurlari bo'ylab) aloqani ta'minlashi mumkin. Tranking radioaloqa tizimlari keyingi bo'limlarda batafsil ko'rib chiqiladi.

Nazorat savollari

1. "Ma'lumotlar uzatish" tushunchasini ta'riflang.
2. Simsiz tarmoqlarning simli tarmoqlardan afzalliklari nimada?
3. Simsiz tarmoqlarning kamchiliklari nimada?
4. Radioaloqani ta'riflang. U qanday amalga oshiriladi?
5. Radioreleli aloqani ta'riflang. U qanday amalga oshiriladi?
6. Sun'iy yo'ldoshli aloqani ta'riflang. U qanday amalga oshiriladi?
7. Sotali aloqani ta'riflang. U qanday amalga oshiriladi?
8. Ochiq atmosfera-optik aloqa tizimlari nimadan iborat va qanday ishlaydi?
9. Simsiz texnologiyalar ishlash masofasi, topologiyasi va qo'llanilishi sohasi bo'yicha qanday tasniflanadi?
10. Radiokanal (radioaloqa kanali) va radio liniya deb nimaga aytiladi?
11. Bir kanalli radioaloqani ishlash prinsipini tushuntiring.
12. Ikki tomonlama radioaloqa qanday tashkil qilinadi va nima uchun foydalaniladi?
13. Retranslyatsion stansiyalari (retranslyatorlar, repiterlar) nima uchun ishlatiladi?
14. Retranslyator sxemasining ishlash prinsipini tushuntiring.
15. Fider traktini ta'riflang va fider traktiga qanday talablar qo'yiladi?
16. Retranslyatorli radioaloqani tashkil qilish prinsipini tushuntiring.

2. RADIOTO‘LQINLARNING TARQALISH XUSUSIYATLARI

2.1. Turli diapazonlar radioto‘lqinlarining tarqalish xususiyatlari

2.1.1. Elektromagnit to‘lqinning tuzilmasi

Radioto‘lqinlar fazoda yorug‘lik tezligida (300 000 km/sek) tarqaladigan elektromagnit tebranishlar hisoblanadi. Darvoqe, yorug‘lik ham radioto‘lqinlardagiga o‘xshash xossalarga (qaytish, sinish, so‘nish va h.k.) ega bo‘lgan elektromagnit to‘lqinlar hisoblanadi [9].

Radioto‘lqinlar elektromagnit tebranishlar generatori nurlantiradigan energiyani fazo orqali tashiydi. Ular elektr maydon o‘zgarganida, masalan, o‘tkazgichdan o‘zgaruvchan tok oqib o‘tganida yoki fazo orqali uchqunlar yog‘ilganida, ya‘ni bir-birlaridan keyin tez keladigan tok impulslari qatorida vujudga keladi. Radioaloqa radioto‘lqinlar yordamida amalga oshiriladigan telekommunikatsiya turi hisoblanadi. Yuqorida aytilganidek, radioto‘lqinlar deganda sun‘iy yo‘naltiruvchi muhitlarsiz (liniyalarsiz) muhitda tarqaladigan chastotasi 30 kGsdan yuqori va 3000 GGsdan past bo‘lgan elektromagnit to‘lqinlarni tushunish qabul qilingan. Radioto‘lqinlar tushunchasi bilan radiochastotalar, ya‘ni radioto‘lqinlar chastotasi tushunchasi chambarchas bog‘liq.

Qandaydir muhitda elektromagnit to‘lqinlarning tarqalish tezligi quyidagiga teng:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} \quad (2.1)$$

bu yerda c - vakuumda yorug‘likning tarqalish tezligi;

ϵ - muhitning dielektrik singdiruvchanligi,

μ - muhitning magnit singdiruvchanligi.

Havo uchun elektromagnit to‘lqinlarning tarqalish tezligi vakuumdagi yorug‘lik tezligiga yaqin, ya‘ni $m \geq \epsilon \geq 3 \cdot 10^8$ m/s bo‘ladi.

Elektromagnit to‘lqinlar davriy T davrdagi o‘zgaruvchan EYuK manbai orqali hosil qilinadi. Agar ma‘lum momentda elektromagnit maydon (EMM) maksimal qiymatga ega bo‘lsa, u holda u T vaqt o‘tgandan keyin shu qiymatga ega bo‘ladi. Bu vaqtda EMM quyidagi masofga suriladi:

$$\lambda = v \cdot T \quad (2.2)$$

Bir xil qiymatga ega bo'lgan maydonning ikkita nuqtalari orasidagi minimal masofa *to'lqin uzunligi* deyiladi. To'lqin uzunligi uning tarqalish tezligiga va bu maydonni uzatadigan EYuKning T davriga bog'liq. Tokning chastotasi $f = 1/T$, u holda to'lqin uzunligi quyidagicha aniqlanadi:

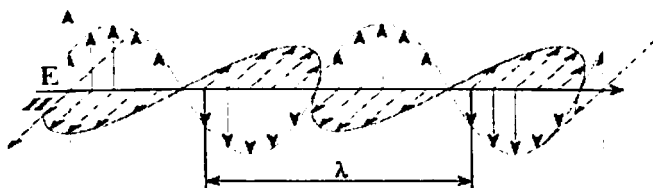
$$\lambda = v/f \quad (2.3)$$

To'lqin uzunligi f tebranishlar chastotasi bilan quyidagi ma'lum nisbati bog'liq:

$$\lambda = 3 \cdot 10^8 / f \quad (2.4)$$

Formuladan ko'rinib turibdiki, masalan 1 MGs chastotaga 300 metr to'lqin uzunligi mos keladi. Chastotaning ortishi bilan to'lqin uzunligi kamayadi yoki aksincha.

Radioto'lqinlar tarqalishi jarayonida qator sabablarga bog'liq bo'ladigan kuchsizlanishga uchraydi. Uzatkichdan uzoqlashishi bilan energiya yanada katta hajmda tarqaladi, natijada, energiya oqimining zichligi kamayadi. Radioto'lqinlar tarqaladigan muhit ham ularning kuchsizlanishini keltirib chiqaradi. Bu issiqliq yo'qotishlari tufayli energiyaning yutilishi va yer sharining qavariqligi yoki do'ngligi ko'rinishidagi to'siqlarda og'ishida to'lqin maydoni kuchlanganligining kamayishiga bog'liq. Elektromagnit to'lqin elektr va magnit maydonlardan tashkil topgan (2.1-rasm).



2.1- rasm. Elektromagnit to'lqinning tuzilmasi

Fazoning har bir nuqtasida to'lqinning E elektr maydon kuchlanganligi vektori N magnit maydon kuchlanganligi vektori perpendikulyar va har ikkala vektorlar to'lqinning tarqalishi yo'nalishiga perpendikulyar bo'ladi [9]. Radioto'lqinlarni tarqalishi quyidagi ma'lum qonunlarga bo'ysunadi:

1. *Bir jinsli muhitda to'g'ri chiziqli tarqalish*, ya'ni xossalari barcha nuqtalarida bir xil bo'lgan muhitda tarqalishi.
 2. *Bitta muhitdan boshqasiga o'tishda qaytish va sinish*. Tushish burchagi qaytish burchagiga teng.
 3. *Difraksiya*. O'z yo'lida tiniqmas jismga dech kelish bilan radioto'lqinlar undan aylanib o'tadi. Difraksiya to'siqning geometrik o'lchamlari va to'qin uzunliklari nisbatlariga bog'liq ravishda turli darajalarda namoyon bo'ladi.
 4. *Refraksiya*. Xossalari nuqtadan-nuqtaga asta-sekin o'zgaradigan bir jinsli bo'lmagan muhitlarda radioto'lqinlar egri chiziqli trayektoriyalar bo'yicha tarqaladi. Muhitning xossasi qanchalik keskin o'zgarsa, trayektoriyaning egriligi shunchalik katta bo'ladi.
 5. *To'liq ichki qaytish*. Agar optik zichroq muhitdan kam zichlikli muhitga o'tishda tushish burchagi qandaydir chegaraviy qiymatdan oshsa, u holda nur ikkinchi muhitga o'tmaydi va muhitlarning chegarasidan to'liq qaytadi. Chegaraviy tushish burchagi to'liq ichki qaytish burchagi deyiladi.
 6. *Interferensiya*. Bu hodisa fazoda bir qancha to'lqinlarning qo'shilishida kuzatiladi. Fazoning turli nuqtalarida qo'shiladigan to'lqinlarning fazalari nisbatiga bog'liq ravishda natijaviy to'lqin amplitudasining ortishi yoki kamayishi olinadi [9].
- Yer sirtida tarqaladigan va yer sharining qavariqligi qisman og'diradigan difraksiya tufayli radioto'lqinlar *sirt to'lqinlari* deyiladi. Sirt to'lqinlarining tarqalishi yer shari sirtining xossalari bog'liq bo'ladi. Atmosferada yuqori balandliklarda tarqaladigan va atmosferaning bir jinslimasliklari tufayli yerga qaytadigan radioto'lqinlar *fazoviy to'lqinlar* deyiladi.
- Radiochastotalar spektri* radioto'lqinlar egallagan chastotalar sohasi hisoblanadi. Chastotalar polosasi - pastki va yuqori chegaralar bilan cheklangan chastotalar sohasi hisoblanadi. Chastotalar diapazoni shartli nom berilgan chastotalar polosasi hisoblanadi.
- Bundan tashqari, radioaloqa texnologiyasida quyidagi tushunchalar keng qo'llaniladi:
- *ishchi radiochastotalar diapazoni* – chegaralarida radiostansiya ishlashi ta'minlanadigan chastotalar polosasi;
 - *ishchi radiochastotalar to'ri (chastotalar to'ri)* – berilgan ishchi chastotalar Intervallari orqali keladigan ishchi radiochastotalar to'plami;

– *ishchi radiochastotalar to'ri qadami (chastotalar to'ri qadami)*
- ularning chastotalar to'riga kiradigan ishchi chastotalarning qo'shni diskret qiymatlari orasidagi farq;

– *radiostansiya* - bir yoki bir nechta uzatkichlar va qabul qilgichlar yoki ularning kombinatsiyasi, shu jumladan radioaloqani amalga oshirish uchun zarur bo'ladigan yordamchi qurilmalar;

– *tayinlangan radiochastotalar polosasi* – chegaralarida radiostansiyaga tarqatishga ruxsat berilgan chastotalar polosasi;

– *ishchi kanal* – ma'lumotlarni (xabarlarni) uzatish uchun ishlatiladigan chastotalar polosasi;

– *tayinlangan radiochastota* - radiostansiyasiga ajratilgan chastotalar poosasining o'rtasiga to'g'ri keladigan chastota;

– *ishchi radiochastota* - radiostansiya tomonidan radioaloqani olib borish uchun mo'ljallangan chastota.

2.1.2. Yer va atmosferaning radioto'lqinlarining tarqalishiga ta'siri

Atmosfera deb Yerning 1000 kmdan yuqori balandliklardagi gazsimon qobig'iga aytiladi. Radioto'lqinlarning tarqalishi nuqtai nazaridan, yer atmosferasi ma'lum qaytarish va yutish xususiyatlarga ega bo'lgan uchta sohalarga bo'linadi [10]:

– *troposfera* (Yer yuzidan 10 ... 15 km balandlikkacha cho'zilgan);

– *stratosfera* (pastdan troposfera va yuqoridan taxminan 60 ... 80 km balandlik bilan chegaralangan);

– *ionosfera* (stratosferadan tashqarida 15 ... 20 ming km balandliklargacha cho'zilgan), u stratosfera ustidagi va keyin Yerning radiatsion kamaridan o'tadigan past zichlikdagi ionlashgan havo qatlami hisoblanadi.

Quyosh nurlari, kosmik nurlar va boshqa omillar ta'siri ostida havo ionlashadi, ya'ni havoning tarkibiga kiradigan gazlar atomlarining bir qismi erkin elektronlar va musbat ionlarga parchalanadi. Ionlashgan havo radioto'lqinlarning tarqalishiga kuchli ta'sir qiladi.

Ma'lumki, havo deyarli barcha chastota diapazonlarida radioto'lqinlarning kuchsizlanishiga olib kelmaydi va shuning uchun yer to'lqinlari yutilmasdan tarqalishi kerakdek tuyuladi. Biroq, bu faqat agar yer to'lqini yer yuzidan balandroq tarqalishida amalga oshadi. Agar radioto'lqinlar Yer yuzasiga yaqin tarqalsa, u holda to'lqin

energiyasining bir qismi yerga og'adi. Bu yerdagi radioto'lqinlarning tarqalish tezligi havodagiga nisbatan past bo'lganligi sababli sodir bo'ladi va ular Yer yuzasi bo'ylab tarqalishida to'lqinning pastki cheti yuqori chetidan ortda qoladi, to'lqin fronti og'adi va Yer yuzasi bo'ylab tarqalishdan tashqari, uning yuqoridan pastgacha tarqalishi bo'lib o'tadi.

Agar Yer yuzasi qatlami ideal o'tkazuvchan bo'lganda edi, undan radioto'lqinlar yo'qotishsiz qaytardi, ya'ni bu holda Yerning sirt qatlami to'lqinlarning tuproq qa'riga o'tishiga to'sqinlik qiladigan ekran bo'lar edi. Real sharoitlarda, yer yuzasi qatlami na ideal o'tkazgich, na ideal izolyator emas. Bu qatlama tushadigan radioto'lqinlar unda o'zgaruvchan elektr toklarini hosil qiladi, ular o'z energiyasining bir qismini tuproqni qizdirish uchun sarflaydi.

Yerning sirt qatlamidagi energiyani yo'qotish qiymati radioto'lqinlarning chastotasi va tuproqning elektr tokiga qashiligiga bog'liq. Tuproqda radioto'lqinlar chastotasining ortishi bilan induksiyalanadigan EYuKning qiymati ortadi va mos ravishda teskari yo'nalishda elektromagnit maydon hosil qiladigan Yer yuzasi qatlamining tokleri ortadi. Shuning uchun sirt to'lqinlarining tarqalish masofasi chastotaning ortishi bilan juda tez kamayadi.

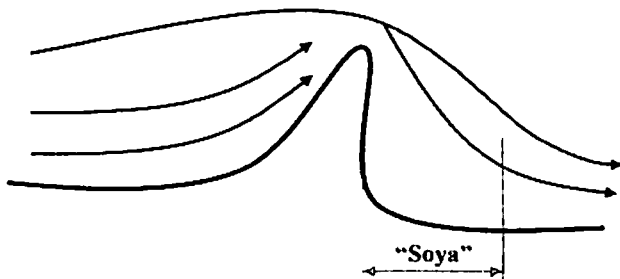
Tuproqning o'tkazuvchanligi kamayishida radioto'lqinlar tuproqqa chuqurroq kirib boradi va natijada ularning yutilishi ortadi. Bundan tashqari, chastotaning oshishi bilan radioto'lqinlarning to'siqlardan aylanib o'tishi (difraksiya) shartlari yomonlashadi.

2.1.3. Turli diapazonlar radioto'lqinlarining tarqalishi

UT, O'T va QT diapazonlarida radioto'lqinlarning tarqalishi

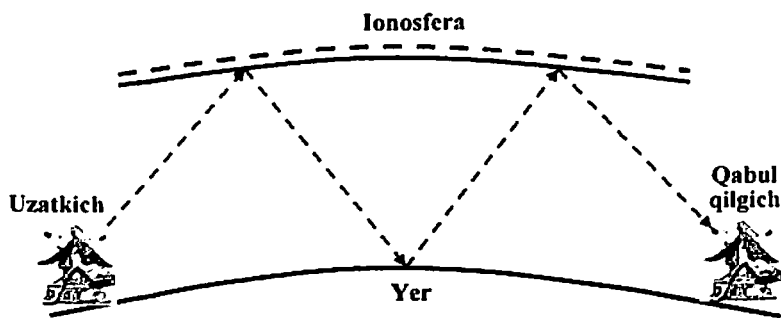
UT (uzun to'lqinli) va O'UT (o'ta uzun to'lqinli) dipazonlarida radioto'lqinlar ko'plab hollarda Yer yuzasidagi notekisliklarning to'lqin uzunligidan oshib ketadi va ularning tarqalishida difraksiya samarasi namoyon bo'ladi. Aynan bu hodisa radioto'lqinlarning Yer sirti va undagi to'siqlar atrofida egilishiga imkon beradi. Lekin to'siqlar atrofida egilishda "soya"ning paydo bo'lish mumkinligini hisobga olish kerak (2.3-rasm). Soyali zonada radioto'lqinlarni qabul qilish sharoitlari buziladi [10].

Tabiiyki, to'siqlar atrofida egilishda elektromagnit to'lqinlar energiyasining bir qismi yer yuziga singib ketadi va uni qizdiradi. To'lqin uzunligi qancha katta bo'lsa, yo'qotishlar shunchalik kam bo'ladi. Radioto'lqinlar minglab kilometrlarga tarqalishi mumkin.



2.2-rasm. Soya samarasining paydo bo'lishi

O'T (o'rta to'liqli), UT va O'UT diapazonlarining radioto'liqlari ionosferadan qaytish qobiliyatiga ega, buning natijasida bunday "ionosfera" radioto'liqlari dunyo bo'ylab aloqa o'rnatishga imkon beradi (2.3-rasm).



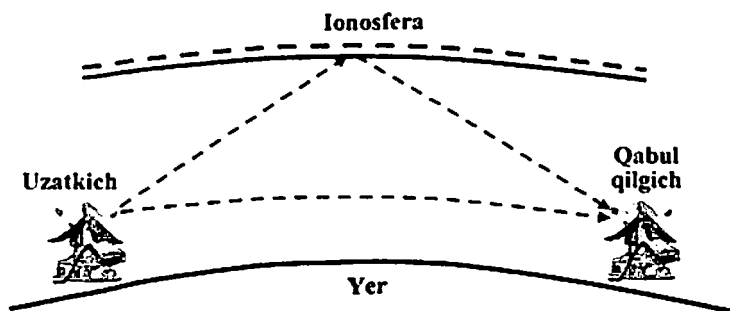
2.3-rasm. Radioto'liqlarning ko'p sakrashli tarqalishi

Ionlanish darajasi va qaytaradigan qatlamning balandligi kun, fasl va quyoshning faolligiga bog'liq. Natijada tarqalish shartlari o'zgaradi, binobarin, turli radioto'liqlar uzunliklari uchun turlicha o'zgaradi. Shunday qilib, O'UT to'liqlari kunduzi ham, kechasi ham ionosferadan qaytadi, O'T va UT to'liqlari esa kechasi eng kuchli qaytadi.

Ionosferadan qaytgan radioto'liqlar va Yer yuzasi bo'ylab tarqaladigan radioto'liqlarning qabul nuqtasiga bir vaqtning o'zida kelishi natijasida yuzaga keladigan keraksiz samaraga e'tibor beramiz (2.4-rasm).

Kelish farqi tufayli faza bo'yicha ma'lum tasodifiy qiymatga surilgan tebranishlarning ustma-ust tushishi interferensiyaning paydo

bo'lishiga olib keladi. Ionosferaning qaytarish xususiyatlarining holatini o'zgarishi sekin so'nishlarga olib keladi.



2.4-rasm. So'nishlarning paydo bo'lishi sababi

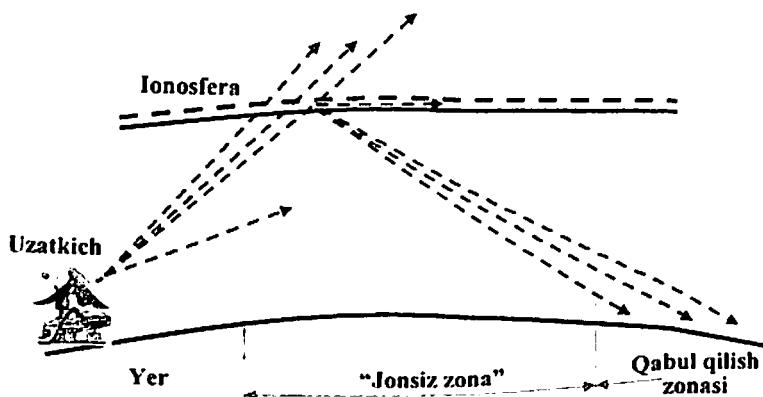
O'UT radioto'lqinlarining Yerning sirt qatlamiga va dengiz suviga kirib borish qobiliyati suv osti va Yer osti ma'lumotlarini qabul qiluvchilar bilan radioaloqani amalga oshirish imkonini beradi.

O'T diapazonida tundagi aloqa masofasi kunduzdagi aloqa masofasidan katta bo'ladi, chunki kunduzi ularning ionosferada yutilishi yuqori bo'ladi. Yaqin va uzoq qabul qilish zonolari mavjudligiga e'tibor beramiz. Ularning orasida sirt va qaytgan radioto'lqinlarning tenglashadigan darajalariga ega bo'lgan oraliq mavjud. Tabiiyki, ularning qarama-qarshi fazada qo'shilishi holatida interferension so'nishlar maksimal darajaga etadi va aloqa uzila boshlaydi.

QT (qisqa to'lqinli) diapazondagi radioto'lqinlar asosiy Yer sirtida sezilarli darajada yutiladi va Yer yuzasi bo'ylab radioaloqa masofasi 100 kmlardan oshmaydi, ammo ular ionosferadan kam yo'qotish bilan jadal qaytadi (2.5-rasm). Qaytish natijasida radiosignal uzatkichning nisbatan past quvvatida ishonchli qabul qilish uchun yetarli sathga ega bo'ladi. Bu diapazon radiohavaskorlar tomonidan uzoq vaqtdan beri o'zlashtirilib kelinmoqda, chunki u o'nlab-yuzlab vatt quvvatga ega uzatkichlardan foydalanish bilan butun Yer shari bo'ylab o'ta uzoq masofali aloqa o'rnatishga imkon beradi.

Ionosferadan qaytish xususiyati shundaki, u ko'zgudan qaytishdan farqli ravishda u nisbatan keng burchak hosil qiladi. Natijada ishonchli qabul qilish zonasi va "jonsiz zona" hosil bo'ladi. Ionosferaga yo'naltirilgan radiosignal energiyasining bir qismi qaytaradigan qatlam

bo'yicha xuddi o'tkazgich bo'yicha kabi tarqaladi, bir qismi esa Yer chegaralarini tark etadi.



2.5-rasm. QT diapazonda radioto'qinlarning tarqalishi

Metrl diapazonda radioto'qinlarning tarqalishi

Ko'p kanalli radiouzatish tizimlari va mobil radioaloqa tizimlarini qurish uchun asosan ultra qisqa to'liqlar (UQT) yoki juda yuqori (JYuCh) va ultra yuqori (UYuCh) chastotalarning radioto'liqlar, Shuningdek o'ta yuqori (O'YuCh, 3-30 GGs) va eng yuqori (EYuCh, 30-300 GGs) chastotalardagi radioto'liqlar ishlatiladi [10].

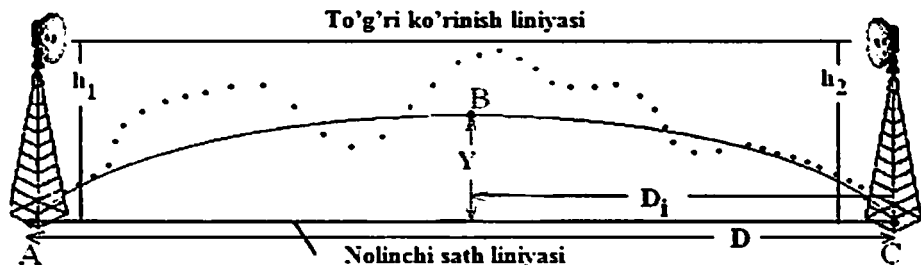
Bu radioto'liqlar diapazoni eng ko'p ishlatiladigan radiodiapazon hisoblanadi. Bu diapazonning katta chastotalar sig'imi va to'g'ri ko'rinish chegaralari bilan cheklangan ishlash masofasi bir vaqtning o'zida ishlaydigan ko'p sonli stansiyalarni joylashtirish va keng chastotalar polosalarida ma'lumotlarni uzatish imkoniyatini beradi. Radiodiapazonning bu oraliq'i bir vaqtning o'zida ko'p sonli televizion dasturlarni uzatish, analog va raqamli uzatish tizimlarining minglab telefon kanallarini tashkil etish imkonini beradi. Diapazon radiolokatsiya, radionavigatsiya, sun'iy yo'ldoshli aloqa uchun keng qo'llaniladi. JYuCh va UYuCh diapazonlari asosan televideniye, radioeshittirish va mobil obyektlar bilan radioaloqa uchun keng qo'llaniladi. O'YuCh va EYuCh diapazonlari turli ko'p kanalli aloqa turlari uchun ajratilgan.

Ultra qisqa to'liqlarga (UQT) Xalqaro radioaloqa reglamentiga muvofiq, 10 metrdan qisqa - ikkita 30 dan 300 MGsgacha (10 ... 1

metrli - metrli) va 300 dan 3000 MGsgacha (1 ... 0,1 metrli - detsimetrli) to'liq diapazonlar kiradi.

Bu diapazondagi radioto'liqlar asosan to'g'ri chiziqli trayektoriyalar bo'ylab tarqaladi va ularga difraksiya deyarli o'ziga xos emas va troposferadan kuchsiz qaytadi, ular fazoga chiqib ketish bilan ionosferadan muntazam qaytmaydi.

Bu diapazonlarda ishlaydigan uzatish tizimlarining ishlash masofasi, asosan uzatish va qabul qilish antennalar orasidagi to'g'ri (optik) ko'rish chegaralari bilan cheklangan (2.6- rasm).



2.6- rasm. Radioko'rinish masofasini aniqlash

Radioto'liqlarning sezilsiz difraksiyasi (ufqda Yerning sharsimon yuzasi atrofida og'ish) va troposferaning pastki qatlamlarida kuchsiz refraksiya (radioto'liqlarining tarqalish yo'nalishini to'g'ri chiziqdan og'ishi) radioko'rinish masofasini birmuncha oshiradi (taxminan 15% ga) u quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$I_0 = 4.12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (2.5)$$

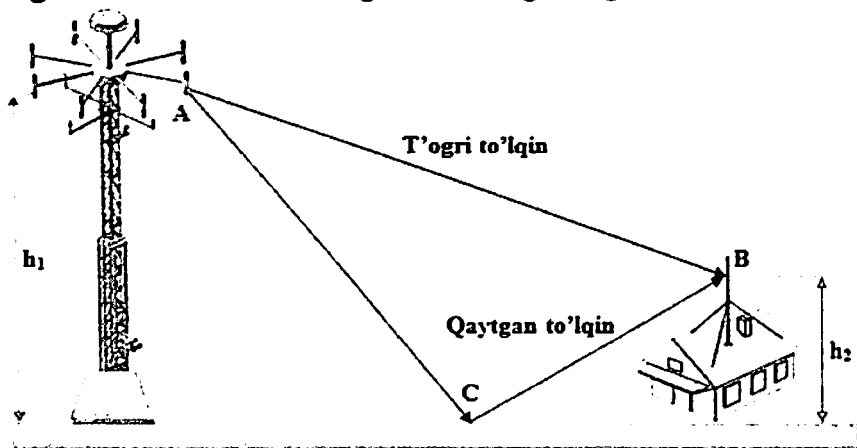
bu yerda I_0 - radioko'rinish masofasi, km;

h_1 va h_2 - uzatish va qabul qilish antennalarning balandligi, m.

Shunday qilib, agar antennalarning balandliklari $h_1 = h_2 = 25$ m bo'lsa, u holda radioko'rinish masofasi 41,2 kmni tashkil qiladi. Katta masofalarda aloqani amalga oshirish uchun A va B nuqtalar orasidagi oraliq stansiyalarni (yoki retranslyatorlarni) o'rnatish yoki antennalarni yuqori balandliklarga ko'tarish kerak. Birinchi prinsip radioreleli uzatish tizimlarida qo'llaniladi, bu yerda stansiyalar 50 ... 70 km masofalarda joylashadi. Televizion uzatish xizmat ko'rsatish zonasini kengaytirish uchun baland minoralarda joylashgan antennalar qo'llaniladi.

Radioko'rinish chegaralaridagi aloqa nafaqat qabul qilish nuqtasiga to'g'ridan-to'g'ri to'lqinning, balki Yer yuzasidan qaytgan to'lqinning bir vaqtning o'zida kelish imkoniyati bilan tavsiflanadi (2.7-rasm). 2.7-rasmدا antennalar orasidagi masofa $l < 0,2l_0$ dan oshmaydi, bunda Yer yuzasining sharsimonligini hisobga olmaslik va uni tekis hisoblash mumkin olinganda qurilgan.

2.7- rasmdan kelib chiqadiki, Yerdan h_1 balandlikdagi A nuqtada uzatish antenasi, h_2 balandlikdagi B nuqtada qabul qilish antenasi joylashgan. Antennalar orasidagi masofa l ga teng.



2.7- rasm. JYuCh va UYuCh diapazonlarida radioto'lqinlarni tarqalishining ikki nurli modeli

B nuqtaga ikkita to'lqinlar to'g'ri (1) va Yer sirtidagi S nuqtadan qaytgan (2) to'lqinlar keladi. Qabul qilish nuqtasida va qaytgan to'lqinlarning interferensiyasi hodisasi sodir bo'ladi. To'g'ri va qaytgan to'lqinlar orasidagi fazaning surilishi quydagiga teng bo'ladi:

$$j_{12} = \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda l} + j_c \quad (2.6)$$

bu yerda ma'lum belgilashlarga yangi belgilashlar qo'shilgan: λ - to'lqin uzunligi va j_c - S nuqtada yer yuzidan to'lqinning qaytishidagi fazaviy surilish.

To'g'ri (1) va qaytgan (2) to'lqinlar orasidagi yo'l farqini aniqlaydigan h_1 , h_2 yoki l qiymatlaridan istalgani o'zgariganda, ularning *interferensiya* shartlari o'zgaradi va qabul qilish antenasining maydon

kuchlanganligi keskin o'zgarish xususiyatiga ega bo'ladi, bunda *interferension maksimumlar va minimumlar* o'z o'rniga ega bo'ladi.

Interferension maksimumlar to'g'ri va qaytgan to'lqinlar qabul qilish nuqtasiga bir xil fazalar bilan kelganda namoyon bo'ladi, ya'ni:

$$j_{12} = \frac{4ph_1h_2}{\lambda l} + j_c = 2mp, m = 1, 2, 3, \dots \quad (2.7)$$

va natijada, qabul qilish nuqtasida maydon kuchlanganligining kuchayishi bo'lib o'tadi.

Agar to'g'ri va qaytgan to'lqinlar qabul qilish nuqtasiga qarama-qarshi fazada kelsa, ya'ni quyidagicha bo'lsa:

$$j_{12} = \frac{4ph_1h_2}{\lambda l} + j_c = (2m + 1)p, m = 1, 2, 3, \dots \quad (2.8)$$

u holda interferension minimumlar o'z zrniga ega bo'ladi va natijada qabul qilish nuqtasida maydon kuchlanganligining kuchsizlanishi bo'lib o'tadi.

Agar uzatish va qabul qilish antennalar orasidagi masofa $l > 0,2l_0$ bo'lsa, u holda Yer yuzasining sharsimonligini hisobga olish kerak. Bu to'g'ri va qaytgan to'lqinlar orasidagi farqining kamayishida, shuningdek qaytgan to'lqinning ayrilishida namoyon bo'ladi.

Yer yuzasining sharsimonligini tarqalish farqiga ta'sirini hisobga olish uchun antennalarning h_1 va h_2 real balandliklari o'rniga S qaytish nuqtasida Yer yuzasiga urinma bo'lgan tekislik ustidagi antennalarning balandliklari sifatida aniqlanadigan *keltirilgan balandliklar* kiritiladi.

Sharsimon yuzadan qaytganda to'lqinning ayrilishi tushgan to'lqinining fazoviy burchagiga nisbatan qaytgan to'lqinning fazoviy burchagining ortishi bilan namoyon bo'ladi. Bunda qaytgan to'lqinning quvvati zichligi tekis sirdan to'lqinning qaytishi holidagiga qaraganda kamayadi. Interferension hodisalar antennalarning balandliklari, ular orasidagi masofalar va to'lqin uzunligini optimal tanlash bilan minimumgacha kamaytirish mumkin.

Santimetrli va millimetrli diapazonlar radioto'lqinlarining tarqalishi

Bunday radioto'lqinlar nurlanish manbaidan qabul qilish nuqtasiga yorug'lik to'lqinlari kabi to'g'ri chiziqli nurlar ko'rinishida tarqaladi. Bunday radioto'lqinlarning tarqalishining shartlaridan biri ularning tarqalishi yo'lida ekranlash (soyalash) to'siqlarning bo'lmasligi

hisoblanadi. Bunday radioto'lqinlar to'siqlarni juda kuchsiz aylanib o'tish qobiliyatiga ega ekanligiga bog'liq. O'YuCh va EYuCh texnik vositalarining ishlash masofasi to'g'ri ko'rinish masofasi bilan cheklangan (radioko'rinish bilan chalkashtirmaslik kerak) hisoblanadi [10].

Boshqacha aytganda, uzatish va qabul qilish antennalari bitta to'g'ri chiziqda bo'lishi - bir-birlarini "ko'rishi" kerak. Yer usti radioaloqa liniyalarida to'g'ri ko'rinish masofasi uzatish va qabul qilish antennalarning balandliklari orqali aniqlanadi va odatda 40 ... 60 kmdan oshmaydi. Biroq, bu holat yuzlab va minglab kilometrlar uzunliklardagi yer usti radioaloqa liniyalarini qurishga to'sqinlik qilmaydi. Bu holda, yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, signallarni ketma-ket ravishda taqsimlash prinsipi qo'llaniladi. Shunday tarzda *to'g'ri ko'rinishli radioreleli aloqa liniyalari* quriladi.

O'YuCh diapazonining pastki qismi radioto'lqinlari (3 ... 5 GGgacha) Yer atmosferasining pastki qismi (bir necha yuz metrdan 10..12 km gacha) - troposferadagi bir jinshlimasliklarda tarqalish xususiyatiga ega. Unda har doim turli xil fizik jarayonlar natijasida kelib chiqadigan lokal hajmli bir jinshlimasliklar mavjud. Bu bir jinshlimasliklar ularga tushadigan radioto'lqinlarni qayta nurlantirish xususiyatiga ega. To'lqinlarning qayta nurlanish energiyasini to'g'ri ko'rinish chegaralaridan olisda bo'lgan qabul qilish antennalari qabul qilish mumkin.

Radioto'lqinlarning troposferada tarqalish mexanizmi *radioto'lqinlarning olis masofali troposferada tarqalishi* deyiladi, ular uzatish va qabul qilish stansiyalari orasidagi 300 ... 500 km masofalarga ega bo'lgan *troposfera radioreleli liniyalarini* yaratishga imkon beradi.

Qaralayotgan diapazonlar uchun, shuningdek, nurlanish manbaidan to'g'ridan-to'g'ri tushadigan to'g'ri radioto'lqinlar va u yoki bu obyektlardan (Yer yuzasi, binolar va h.k) qaytadigan radioto'lqinlarining interferensiyasi o'ziga xos.

O'YuCh va EYuCh radioto'lqinlarining tarqalishiga radioliniya yo'nalishi bo'ylab sodir bo'ladigan meteorologik jarayonlar - yomg'ir, qor, tuman jiddiy ta'sir ko'rsatadi. Chastota qanchalik yuqori (to'lqin uzunligi qisqa) bo'lsa, bu ta'sirlar shuncha kuchli hisoblanadi.

2.2. Radiochastotalarning tasniflanishi

Barcha radiochastotalar spektri 12 diapazonlarga bo'linadi, ular $(0.3 \dots 3) \times 10^N$ Gsga teng bo'lgan radiochastotalar sohalari sifatida aniqlanadi, bu yerda N - diapazonning raqami. Radioaloqa maqsadlarida to'qqizta diapazonlar ishlatiladi va demak, $N = 4 \dots 12$ bo'ladi. Radioto'lqinlar diapazoni shartli nom berilgan radioto'lqinlar uzunliklarining ma'lum bir uzluksiz oralig'i hisoblanadi. Har bir radioto'lqinlar diapazoniga ma'lum radiochastotalar diapazoni mos keladi. Radiochastotalar yoki radioto'lqinlar diapazonlarining tasniflanishi 2.1-jadvalda keltirilgan. Bu tasniflanish, birinchi navbatda, radioto'lqinlarning tarqalishi va ulardan foydalanish xususiyatlariga bog'liq [5].

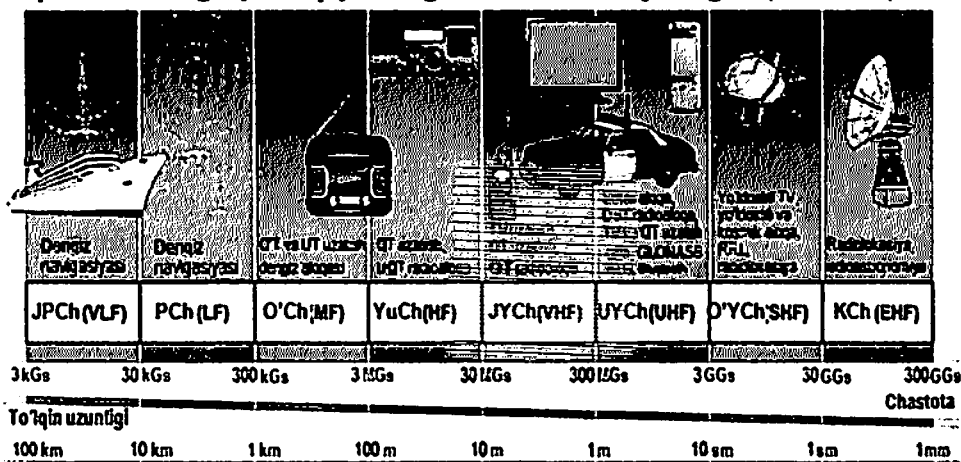
2.1-jadval

Radiochastotalar yoki radioto'lqinlar diapazonlarining tasniflanishi

XEA I belg.	To'lqin uzunligi diapazoni	To'lqin diapazoni nomi	Chastotal ar diapazoni	Qo'llanishi
ELF	100 mm - 10 mm	Dekamegаметrli	3-30 Gs	Suv osti kemalari bilan aloqa, geofizik tadqiqotlar
SLF	10 mm - 1 Mm	Megаметrli	30-300 Gs	Suv osti kemalari bilan aloqa, geofizik tadqiqotlar
ULF	1000 km - 100 km	Gektokilometrli	300-3000 Gs	Suv osti kemalari bilan aloqa
VLF	100 km - 10 km	Miriametrli	3-30 kGs	Aniq vaqt xizmati, suv osti kemalari bilan radioaloqa
LF	10 km - 1 km	Kilometrli	30-300 kGs	Radioeshittirish, Yer usti to'lqinli radioaloqasi, radionavigatsiya
MF	1000 m - 100 m	Gektometrli	300-3000 kGs	Yer usti to'lqinlari va ionosfera bo'yicha radioeshittirish va radioaloqa
HF	100 m -	Dekametrlil	3-30 MGs	Ionosferali

	10 m			radioeshittirish va radioaloqa, ufqorti radiolokatsiyasi, ratsiyalar
VHF	10 m - 1 m	Metrlil	30-300 MGs	Televideniye, radioeshittirish, troposfera va to'g'ridan-to'g'ri to'lqinli radioaloqa, ratsiyalar, UQT-terapiya
UHF	1000 mm - 100 mm	Detsimetrli	300-3000 MGs	Televideniye, troposfera va to'g'ridan-to'g'ri to'lqinli radioaloqa, mobil telefoniya, ratsiyalar, mikroto'lqinli pechlar, sun'iy yo'ldoshli navigatsiya
SHF	100 mm - 10 mm	Santimetrli	3-30 GGs	Radiolokatsiya, Internet, sun'iy yo'ldoshli teleuzatish, to'g'ridan-to'g'ri to'lqinli va sun'iy yo'ldoshli aloqa va radioaloqa, simsiz kompyuterlar tarmoqlari
EHF	10 mm - 1 mm	Millimetrli	30-300 GGs	Radioastronomiya, yuqori tezlikli radioreleli aloqa, radiolokatsiya (meteorologik, qurollarni boshqarish), tibbiyot, sun'iy yo'ldoshli radioaloqa
THF	1 mm - 0,1 mm	Detsimillimetrli	300-3000 GGs	Uzun to'lqinli IQda tasvirni qayd etadigan eksperimental "teragersli kamera"

Lekin bu diapazonlar juda keng va o'z navbatida, oraliqlarga bo'lingan, bu oraliqlarga radio va televizion uzatish diapazonlari, yer usti va aviatsion, kosmik va dengiz aloqasi uchun, ma'lumotlarni uzatish va tibbiyot uchun, radiolokatsiya va radionavigatsiya va boshqalar uchun diapazonlar kiradi. Har bir radioxizmatga o'z diapazoni oralig'i yoki qayd etilgan chastotalar ajratilgan (2.8-rasm).



2.2-rasm. Turli xizmatlar orasida spektrning taqsimlanishi

Diapazonlarning rasmiy nomlanishini turli xizmatlar uchun ajratilgan oraliqlar nomlari bilan chalkashtirmaslik kerak. Ta'kidlash kerakki, yer usti harakatdagi aloqasi uchun asosiy dunyodagi qurilmalar ishlab chiqaruvchilari aynan bu oraliqlar chegaralarida ishlashga mo'ljallangan modellarni chiqaradi.

Odatda yer usti harakatdagi aloqasi uchun ajratilgan diapazonlarni belgilashda 2.2-jadvalda keltirilgan nomlar ishlatiladi.

2.2-jadval

Yer usti harakatdagi aloqasi uchun ajratilgan diapazonlarni belgilash

Atama	Chastotalar diapazoni	Tushuntirish
Qisqa to'liqinli diapazon (QT)	2–30 MGs	Tarqalishning o'ziga xos xususiyatlari tufayli asosan uzoq masofali aloqada qo'llaniladi
«Si-Bi»	25.6–30.1 MGs	Xususiy shaxslar aloqadan foydalanishi mumkin bo'lgan fuqaro diapazoni.

		Turli davlatlarda bu oraliqda 40 dan 80 tagacha qayd etilgan chastotalar (kanallar) ajratilgan
«Low Band»	33–50 MGs	Yer usti harakatdagi aloqasi diapazoni
UQT	136–174 MGs	Eng keng tarqalgan yer usti harakatdagi aloqasi diapazoni
DSV	400–512 MGs	Yer usti harakatdagi aloqasi diapazoni.

Nazorat savollari

1. Radioto'lqinga ta'rif bering.
2. Radioto'lqinlar qanday xususiyatlarga ega?
3. Radioto'lqinlarning tarqalish tezligi, uzunligi va chastotasi qanday aniqlanadi?
4. Radioto'lqinlarning difraksiyalanishiga ta'rif bering.
5. Radioto'lqinlarning refraksiyalanishiga ta'rif bering.
6. Radioto'lqinlarning interferensiyalanishiga ta'rif bering.
7. Radiochastotalar spektriga ta'rif bering.
8. Radiochastotalar diapazonining tasniflanishini keltiring.
9. Uzun va qisqa to'lqinlarning tarqalish xususiyatlari.
10. Ultraqisqa to'lqinlarning tarqalish xususiyatlari.
11. Metrli diapazon radioto'lqinlarining tarqalish xususiyatlari.
12. Santimetrli va millimetrli diapazonlardagi radioto'lqinlarning tarqalish xususiyatlari.

3. SIMSIZ ALOQADA ANTENNALAR

3.1. Asosiy tushunchalar va ta'riflar

Antenna deb elektromagnit to'liqlarni nurlantirish yoki qabul qilish uchun mo'ljallangan qurilmaga aytiladi. Antenna istalgan radiouzatish va radioqabul qilish qurilmasining zarur elementi hisoblanadi. Uzatkich antenasi yoki uzatish antenasi yuqori chastotali tokni elektromagnit to'liqlar energiyasiga o'zgartirish uchun mo'ljallangan. Qabul qilish antenasi yoki qabul qilgich antenasi elektromagnit to'liqlarni qabul qiladi va ularni yuqori chastotali tebranishlar energiyasiga o'zgartiradi [1].

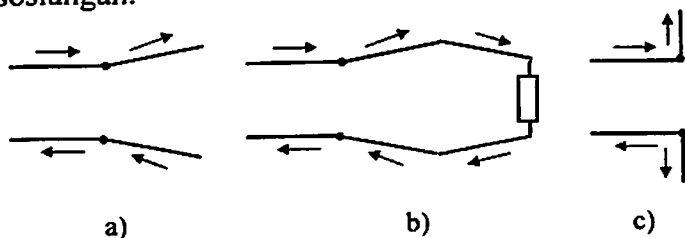
Uzatish antenasi, tarqalish trakti va qabul qilish antenasidan iborat radiokanalni passiv chiziqli to'rt qutbli hisoblash mumkin. Agar bunday to'rt qutblida EYuK manbai va yuklamaning joylari almashtirilsa, ya'ni qabul qilish antenasini uzatish antenasi, uzatish antenasini qabul qilish antenasiga o'zgartirilsa, u holda tizimning parametrlari o'zgarmaydi. Passiv chiziqli to'rt qutblilarning bu xususiyati *o'zaro almashuvchanlik* prinsipi deyiladi, undan qabul qilish va uzatish jarayonlarining *qaytuvchanligi* kuzatiladi. Antennalarning qaytuvchanligi bir vaqtning o'zida o'sha bir antennani uzatish va qabul qilish antenasi sifatida ishlatishga imkon beradi, bu simsiz aloqa tizimlarining, ayniqsa, uzatish va qabul qilish qurilmalari uzatish va qabul qilish uchun umumiy antennaga ega bo'lgan mobil aloqa tizimlarining texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlarini sezilarli darajada oshiradi.

Radiochastotalar energiyasi uzatkichdan antennaga va antennadan qabul qilgichga yetkaziladigan qurilmalar to'plami *fider trakti* yoki *fider* (inglizcha feeder ot feed – ta'minlash) deyiladi. Fiderning konstruksiyasi u orqali uzatiladigan chastotalar diapazoniga bog'liq.

3.2. Antennalarni qurish va ishlash prinsiplari

Barcha antennalarni ikkita katta guruhlariga - nurlantiruvchi simlar va nurlantiruvchi yuzalar guruhlariga bo'lish mumkin. 1 gigagersgacha bo'lgan chastotalarda ishlaydigan radioaloqa tizimlarida antennalar sifatida nurlantiruvchi simlar, yuqoriroq chastotalarda esa nurlantiruvchi yuzalar ishlatiladi [1].

Nurlantiruvchi simlarga asoslangan antennalarning ishlash prinsipi quyidagicha: agar uzun liniya bo'lgan ikkita yaqin va parallel joylashtirilgan simlarga yuqori chastotali tebranishlar generatori ulangan bo'lsa, u holda qiymati bo'yicha bir xil, lekin qarama-qarshi yo'nalgan ikkita toklarning maydonlari o'zaro kompensatsiyalanadi va energiyaning atrof-muhitga tarqalishi bo'lib o'tmaydi. Antennalarni yaratishda qarama-qarshi vazifa - iloji boricha katta nurlanishni olish qo'yiladi. Buning uchun o'sha bir uzunlikdagi liniyadan, lekin uning simlarini ma'lum bir burchakka surish bilan foydalanish mumkin, buning natijasida ularning maydonlari bir-birlarini kompensatsiyalamaydi. Bunga nurlantiruvchi simlari bir-birlariga nisbatan o'tkir burchak ostida joylashgan (3.1-rasm, a, b) V-simon va rombsimon antennalar va simlari 180°ga surilganda olinadigan simmetrik vibratorning (lotincha vibro – “tebranaman”) ishlashi (3.1-rasm, s) asoslangan.

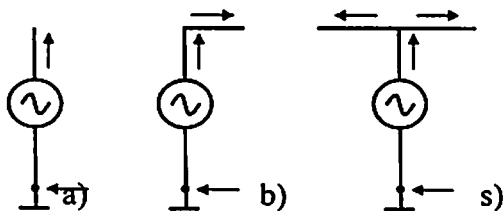


3.1-rasm. Simmetrik antennalar

Fider simlaridan birining kompensatsiyalash ta'siri uni tizimdan chiqarib tashlash orqali yo'q qilinishi mumkin. Bu nosimmetrik vibratorlarni olinishiga olib keladi (3.2-rasm, a) va ularning asosida nosimmetrik antennalar – G-simon va T-simon antennalarni (3.2-rasm, b, s) olinishiga olib keladi.

Agar ikkita simlarning tutashgan oraliqlaridan maydonlari bir-birlarini kuchaytiradigan faza bo'yicha mos tushadigan tok oqib o'tsa, fider nurlantiradi. Bu samaraga asoslangan antennalar *sinfaz antennalar* deyiladi va ular eng ko'p ishlatiladi [11].

Agar ba'zi yo'nalishlar bo'yicha simlar orasidagi masofa katta yo'llar farqiga ega bo'lsa, fider nurlantiradi. Simlar orasidagi masofani shunday tanlash mumkinki, ba'zi yo'nalishlar bo'yicha har ikkala simlardan to'lqinlar qo'shiladi. Bu hodisa asosida ishlaydigan antennalar *qarama-qarshi fazali antennalar* deyiladi.



3.2-rasm. Nosimmetrik antennalar

Ko'plab antennalarning tarkibiga kiradigan simmetrik vibratorning ishlash prinsipini batafsil ko'rib chiqamiz. Simmetrik vibratorni simlari bir-birlaridan 180° masofada joylashgan, uchlari ochiq uzun liniya hisoblash mumkin.

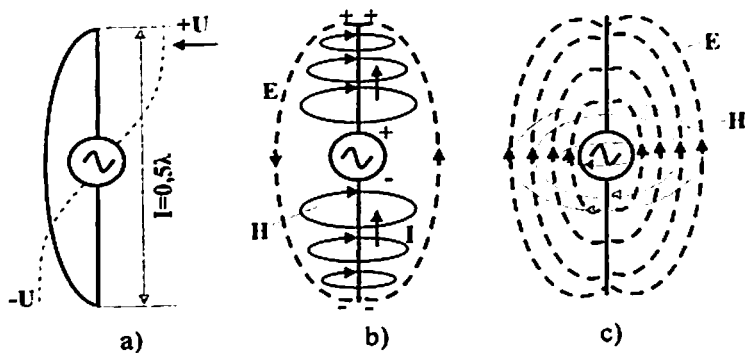
Simmetrik vibrator asosidagi antenna dipol deyiladi va umumiy uzunligiga bog'liq ravishda yarim to'liqinli dipol va bitta to'liqinli dipolga ajratiladi. Har bir yelkasining o'lchami $\lambda/4$, butun dipolning o'lchami $0,5\lambda$ bo'lgan yarim to'liqinli dipollar eng keng ishlatiladi. Bunday dipolning tuzilishi 3.3a- rasmda keltirilgan.

Vibrator bo'ylab tok va kuchlanishlarning taqsimlanishi uchlari ochiq bo'lgan uzun liniyadagi taqsimotga o'xshaydi. Toklar tutami va kuchlanish tugunlari vibratorning o'rtasida, unga generator yoki ta'minot fideri ulanadigan joyda olinadi. Vibratorning uchlari, aksincha, tok tugunlari va kuchlanish tutamlari bo'ladi.

Aytaylik, EYuK manbaining qutblari 3.3b-rasmdagi kabi bo'ladi. Simlar bo'ylab vibratorning elkalari hosil qilgan kondensatorni zaryadlaydigan I tok oqib o'tadi. Shu bilan bir vaqtda, N magnit maydoni vujudga keladi. Bundan keyin I tok maksimumga yetishi bilan nolgacha pasayishni boshlaydi, dipolning yelkalarida 3.3b-rasmda pluslar va minuslar bilan belgilangan zaryadlar qoladi. Yelkalar orasida E elektr maydoni vujudga keladi, u uzlukli chiziq bilan ko'rsatilgan (bu holda, maydonning kuch chiziqlari faqat vibratorning uchlari orasida berilgan). Tok nolga teng bo'lganligi sababli, dipol atrofidagi magnit maydon yo'qoladi, oldin hosil bo'lgan uning to'liqini esa fazoda tarqalishda davom etadi [11].

Keyin jarayon teskari tartibda takrorlanadi. Chunki ta'minot kuchlanishining qutblari almashadi, tok teskari yo'nalishda oqib o'tadi. Simlarda to'plangan zaryadlar tugaydi va dipolning yelkalari qayta zaryadlanadi, ya'ni qarama-qarshi yo'nalishda E maydon vujudga keladi. Vibratordan uzoqlashgan boshlang'ich elektr maydonining kuch

chiziqlari endi vibratorlarda tugamaydi, balki 3.3s-rasmda ko'rsatilgandek, bo'shliqda tutashadi.

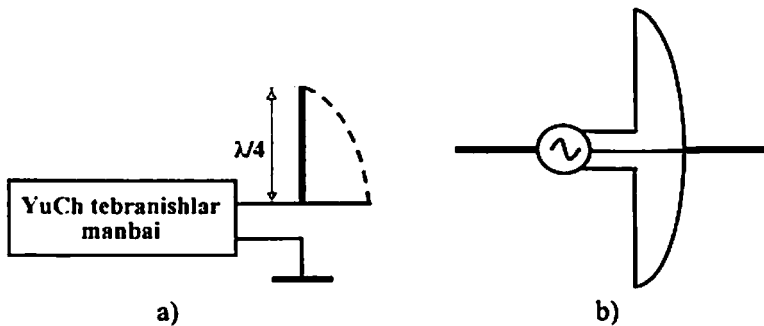


3.3-rasm. Simmetrik vibrator va unda tok va kuchlanishlarning taqsimlanishi

Oldin hosil bo'lgan magnet maydon elektr maydon bilan birga bo'shliqda tarqalish bilan vibratorlardan uzoqlashadi. Keyin jarayonning boshlanishidagidek, simlarda tok paydo bo'ladi va hokazo. Yarim to'liqinli dipolning nurlanishi ekvatorial tekislikda, ya'ni dipol o'qiga perpendikulyar bo'lgan va uning o'rtasidan o'tgan tekislikda maksimal bo'ladi. O'q bo'yicha yo'nalishlarda nurlanish bo'lmaydi. Bunday antennalar orqali hosil qilinadigan to'liqlar sharsimon frontga ega bo'ladi.

Yarim to'liqinli vibrator vertikal holda joylashtirilsa, yerning o'tkazuvchanlik xususiyatlari tufayli uning o'lchamini ikki baravar kamaytirish mumkin. Vertikal joylashtirilganda antennaning pastki uchi elektromagnit tebranishlar generatorining chiqishlaridan biriga ulanadi (3.4a-rasm), generatorning ikkinchi chiqishi esa yerga ulanadi. Agar yer ideal o'tkazgich deb faraz qilinsa, u holda asosiy vibratorning simmetrik tasviri sifatida ta'sir etadigan EYuK hosil bo'ladi (3.4b-rasm). Bunday antenna nosimmetrik antenna deyiladi, uning balandligi taxminan $\lambda / 4$ ga teng.

Yuqoridagilarning barchasi yer ideal o'tkazgich bo'lganda o'z o'rniga ega. Yer past o'tkazuvchanlik xususiyatlariga ega bo'lganda, yer yuzasida tokning taqsimlanish tabiati o'zgaradi. Antenna asosiga yaqin yerning qarshiligi ayniqsa katta ahamiyatga ega bo'ladi.



3.4-rasm. Nosimmetrik chorak to‘lqinli vibrator

Bu oraliqning o‘tkazuvchanligini yaxshilash uchun yerga metall listlar, simlarni ko‘mish yo‘li, turli xil tuzlarni singdirish bilan tuproqning kimyoviy tarkibini yaxshilash yo‘li bilan yerni *metallashtirish* qo‘llaniladi [11].

Tajribalar ko‘rsatadiki, yerni to‘liq metallashtirishning hojati yo‘q, yerga 20... 50 sm chuqurlikda ko‘milgan radial tarqalgan simlar tizimi juda yaxshi ishlaydi. Agar radial simlar o‘zaro tutashtirgichlar bilan ulangan bo‘lsa, metallashtirish sifati yaxshilanadi. Ko‘pincha, yerga ulash posangi deyiladigan ko‘milmagan, balki Yer sirtidan ko‘tarilgan simlar tizimi bilan almashtiriladi. Posangini yaxshi o‘tkazadigan sirt rolini o‘ynashi bilan antenna simini Yerdan yetarlicha yaxshi ekranlashtirish kerak. Odatda bu eng yomon natijalarni beradi, ammo mobil radiostansiyalarda vaziyatdan chiqishning yagona yo‘li hisoblanadi. Posangi sifatida, odatda, radiostatsiya joylashgan avtomobilning korpusi ishlatiladi. Toshli gruntunda radiostansiyani o‘rnatish zaruratida ham shunday yo‘l tutiladi.

3.3. UQT diapazoni antennalarining o‘ziga xos xususiyatlari

3.3.1. Antennalarning asosiy xususiyatlari va parametrlari

Nurlantirish quvvati (R_n) - antenna orqali ochiq fazoga nurlantiriladigan elektromagnit to‘lqinlar quvvati hisoblanadi. Bu aktiv quvvat, chunki u antenna atrofidagi bo‘shliqda tarqaladi. Demak, nurlantiriladigan quvvat *nurlantirish qarshiligi* deyiladigan aktiv qarshilik orqali ifodalanishi mumkin.

$$R_n = P_n / I_a^2 \quad (3.1)$$

bu yerda I_a - antenaning kirishidagi ta’sir etuvchi tok.

Nurlantirish qarshiligi antenna nurlantiradigan quvvatga qaraganda uning elektromagnit energiyani nurlantirish qobiliyatini va antennaning sifatini xarakterlaydi, chunki nurlantiradigan quvvat nafaqat antennaning xususiyatlariga, balki unda hosil bo'ladigan tokka ham bog'liq [12].

Yo'qotishlar quvvat (R_y) - antennaning simlari, yer orqali va antennaga yaqin joylashgan predmetlar orqali o'tish paytida uzatkich befoyda yo'qotadigan quvvat hisoblanadi. Bu quvvat ham aktiv quvvat hisoblanadi va antennaning *yo'qotishlar qarshiligi* deyiladigan aktiv qarshiligi orqali ifodalanishi mumkin.

Antennadagi quvvat (R_a) - bu antennaga uzatkichdan beriladigan quvvat hisoblanadi. Bu quvvat nurlantiriladigan quvvat va yo'qotishlar quvvatlari $R_a = R_n + R_y$ yig'indisi sifatida ifodalanishi mumkin.

Antennaning foydali ish koeffitsienti (FIK) quyidagiga teng:

$$\eta = P_a / (R_n + R_y) \quad (3.2)$$

Antennaning kirish qarshiligi antennaning kirish uchlaridagi qarshilik hisoblanadi. Reaktiv va aktiv tashkil etuvchilarga ega. Rezonansga sozlanganda antenna generator uchun sof aktiv yuklama bo'ladi va undan eng samarali foydalaniladi.

Antennaning yo'naltirilganligi uning ma'lum yo'nalishlarda elektromagnit to'lqinlarni nurlantirish qobiliyati hisoblanadi. Antennaning bu xususiyati haqida *yo'naltirilganlik diagrammasi* bo'yicha baholanadi, u maydon kuchlanganligi yoki nurlantiriladigan quvvatning yo'nalishga bog'liqligini grafik ko'rsatadi. Odatda, ular normallashtirilgan yo'naltirilganlik diagrammasidan foydalaniladi, uning uchun maydon kuchlanganligi yoki nurlantirish quvvatini tavsiflaydigan qiymatlar absolyut qiymatlarda ifodalanmaydi, balki ikki tekisliklar - gorizont va vertikal tekisliklarda yo'naltirilganlik diagrammalari bilan cheklanadi.

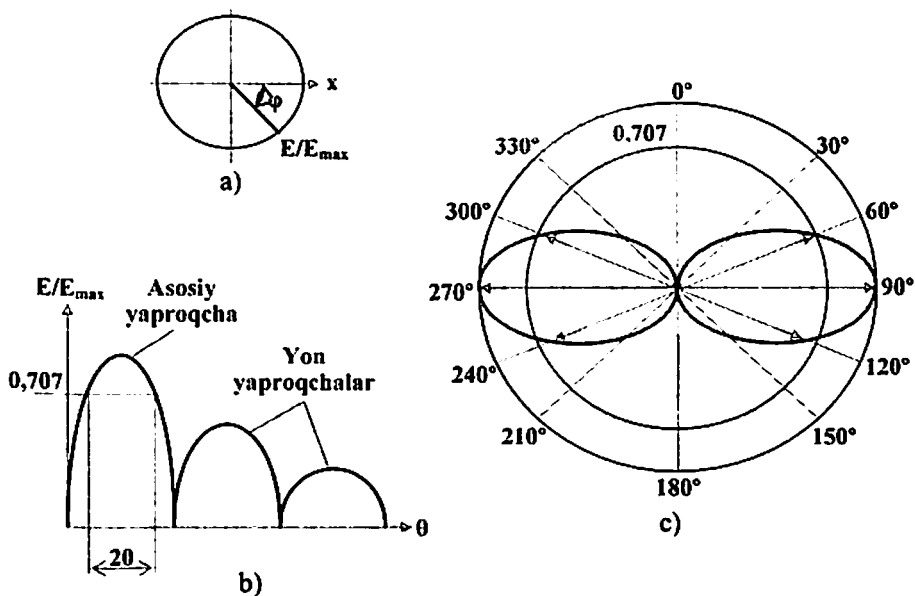
3.5a-rasmda simmetrik vibratorning gorizont tekislikdagi yo'naltirilganlik diagrammasi, 3.5b- va 3.5c-rasmlarda esa mos ravishda vertikal tekislikdagi qutbli va to'rtburchakli koordinatali tizimlarda yo'naltirilganlik diagrammalari tasvirlangan..

Yo'naltirilganlik diagrammasining kengligi 20 burchak deb nomlanadi (3.5-rasm, b, c), uning chegaralarida nurlanish quvvati maksimal nurlanish yo'nalishidagi quvvatga nisbatan 2 baravar kamayadi. Quvvat maydon kuchlanganligining kvadratiga proporsional,

u holda yo'naltirilganlik diagrammasining ochilish burchagi chegaralari maksimal nurlanish yo'nalishida maydon kuchlanganligining $1/\sqrt{2} = 0,707$ qiymati bo'yicha aniqlanadi.

Antennaning maksimal nurlanish yo'nalishi bosh yo'nalish (3.5c-rasm), unga mos keladigan yaproqcha bosh yaproqcha deyiladi. Qolgan yaproqchalar yon yaproqchalar hisoblanadi [12].

Yo'naltirilgan ta'sir koeffitsienti (D) ikkita antennalardan biri orqali ma'lum yo'nalishda nurlantirilgan R_n quvvat oqimining zichligini har ikkala antennalarda umumiy nurlantirish quvvati teng bo'ladigan shartda absolyut yo'naltirilmagan ikkinchi antenna nurlantirish mumkin bo'lgan R_y ning quvvat oqimining zichligiga nisbati hisoblanadi.



3.5-rasm. Simmetrik vertikal vibratorning yo'naltirilganlik diagrammasi

Maksimal nurlanish yo'nalishidagi yo'naltirilgan ta'sir koeffitsienti eng katta qiziqish uyg'otadi:

$$D = R_n / R_y \quad (3.3)$$

Binobarin, yo'naltirilgan ta'sir koeffitsienti (YTK) real antennaning foydali ish koeffitsientini hisobga olmaydi, amalda YTK bilan $G = D \cdot \eta$ nisbat bilan bog'langan kuchaytirish koeffitsienti (KK) deyiladigan parametrdan foydalaniladi. Kuchaytirish koeffitsienti

kuzatish nuqtasidagi antenna nurlantiradigan elektromagnit to'liq quvvati oqimining zichligi qiymati o'zgarmasligi uchun bu antenna ideal yo'naltirilmagan antennaga almashtirilganda antenna kirishidagi quvvatni qancha martaga oshirish kerakligini ko'rsatadi. Bunda yo'naltirilmagan antenaning foydali ish koeffitsienti birga teng olinadi.

KK antenaning to'liq xarakteristikasini beradi: bir tomondan, antenaning yo'naltirilganlik xususiyatlari tufayli ma'lum bir yo'nalishda energiya konsentratsiyasini, boshqa tomondan, antennada quvvatni yo'qotishlar tufayli nurlanishning kamayishini hisobga oladi.

Antennalarni ma'lum bir yo'nalishda nurlantirishi uzatkich quvvatini oshishiga teng. Demak, uzatish antenasining yo'naltirilganli juda kerak.

Antenaning o'tkazish polosasi yoki uning ishchi diapazoni deb yo'naltirilganlik diagrammasining bosh yaproqchasining kengligi va yon yaproqchalarining sathlari berilgan chegaralardan chiqmaydigan, kuchaytirish koeffitsient yetarlicha yuqori qoladigan, fider trakti bilan moslashtirish esa sezilarli darajada yomonlashmaydigan chastotalar intervaliga aytiladi. Santimetrli to'liqlar diapazonida antenaning o'tkazish polosasi o'rtacha chastotaning 15 ... 20% ni tashkil qiladi.

3.3.2 Metrli, detsimetrli va santimetrli to'liqlar antennalari

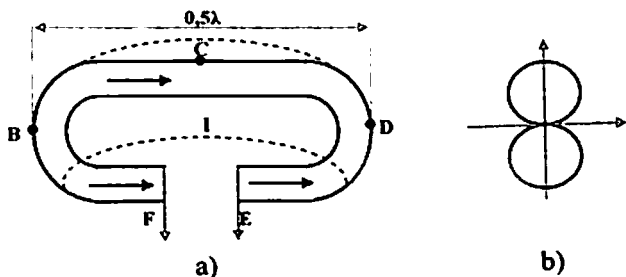
Bu to'liqlar diapazonlarida, asosan, kamida bitta tekislikda yo'naltirilganlik xususiyatlarga ega bo'lgan antennalar qo'llaniladi. Qisqa to'liq uzunligida bunday antennalar juda ixcham olinadi, bu ularni aylantirishga va bu bilan quvvatda sezilarli yutuqni olishga va radiostansiyalarning o'zaro halaqitlarini kamaytirishga, istalgan yo'nalishlarda aloqani amalga oshirishga imkon beradi [12].

Metrli to'liqlar diapazonida turli xil simmetrik va nossimetrik vibratorlar eng ko'p ishlatiladi.

Televizion qabul qilish texnikasida Pistolkors halqali vibratori eng ko'p ishlatiladi (3.6-rasm). Bu vibratorga bir-birlaridan qisqa masofada joylashgan ikkita yarim to'liqli sinfaz vibrator sifatida qarash mumkin. Vibratorning C nuqtasida tok tutami va kuchlanish tugunlari joylashgan, bu qisqa tutashuv rejimiga mos keladi. C nuqtadan $0,25\lambda$ ga ortda qoladigan B va D nuqtalarda tok tutami va kuchlanish tugunlari hosil bo'ladi. Antenaning F va E uchlarida tokning tutami vujudga keladi.

S nuqtada kuchlanish tugunining bo'lishi vibratori bu nuqtada izolyatorsiz to'g'ridan-to'g'ri machtaga mahkamlash imkonini beradi.

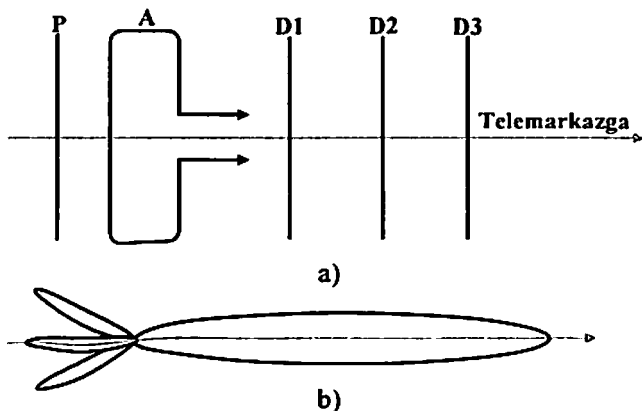
Dipolli va halqali vibratorlar asosidagi antennalar odatda telemarkazdan nisbatan qisqa masofalarda yuqori sifatli televizion signallarini qabul qilishni ta'minlaydi, chunki ular kuchsiz yo'naltirilgan (3.6- rasm) hisoblanadi. Olis masofalardan qabul qilishda yoki qisqa masofalarda qoniqarsiz qabul qilish sharoitlarida eng yaxshi yo'naltirilganlikka ega bo'lgan antennalardan foydalaniladi.



3.6- rasm. Pistolkors halqali vibratori (a) va uning yo'naltirilganlik diagrammasi (b)

Metrli to'liqlar diapazonida yo'naltirilgan antennalar sifatida "to'liqli kanal" (inglizcha *Yagi antenna*) antennalari keng qo'llaniladi. Bu turdagi antennalar (3.7-rasm), *A* aktiv vibrator, *R* reflektor (qaytargich) va bir nechta *D1*, *D2* va *D3* direktorlardan (ikkilamchi nurlantirgichlardan) iborat. 3.7b-rasmda keltirilgan yo'naltirilganlik diagrammasidan ko'rinib turibdiki, bu antennaning kuchaytirish koeffitsienti ancha yuqori va u boshqa yo'nalishlardan halaqitlarni qabul qilmaydi.

Bu turdagi antenna uzatish antenasi sifatida ham ishlashi mumkin. Bunday holda, *A* aktiv vibrator ham reflektor yo'nalishi bo'yicha, ham direktorlar yo'nalishi bo'yicha elektromagnit maydonni nurlantiradi. Bu maydon ta'siri ostida reflektorda tok paydo bo'ladi, bu tok ikkilamchi maydon - reflektorning nurlanish maydonini hosil qiladi. Agar reflektorning uzunligi $(0,51 \dots 0,53) \lambda$ ga teng olinsa, reflektor va aktiv vibrator orasidagi masofa $(0,15 \dots 0,25) \lambda$ bo'lsa, u holda reflektor hosil qiladigan ikkilamchi maydon faza bo'yicha aktiv vibrator maydonini 90° burchakka ortda qoldiradi.



3.7-rasm. “To‘lqin kanali” turidagi antenna (a) va uning yo‘naltirilganlik diagrammasi (b)

Reflektorning orqasidagi natijaviy maydon aktiv vibrator va reflektor hosil qiladigan maydonlar kuchlanganliklarining farqiga teng bo‘ladi. Bosh yo‘nalish - direktorlardan yo‘nalishda va undan keyin aktiv vibrator va reflektorning maydonlari bitta fazada qo‘shiladi va natijaviy maydon kuchayadi. Real antennada reflektordagi tok fazasining ilgarilishi 90° dan biroz farq qiladi, reflektordagi tok amplitudasi esa aktiv vibratoridagiga qaraganda bir oz kichik bo‘ladi. Shuning uchun energiyaning bir qismi antenna orqali reflektor ortiga nurlantiriladi.

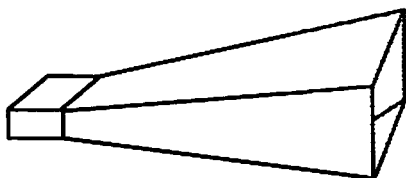
Antennaning direktorlari aktiv vibrator va reflektorning natijaviy maydoni orqali qo‘zg‘atiladi. Direktorlarning ikkilamchi maydoni bosh yo‘nalishdagi maydon kuchlanganligidan oshishi uchun ulardagi toklar faza bo‘yicha aktiv vibratorning tokidan ortda qolishi kerak. Bunga direktorlarning uzunligi va ularning o‘zaro joylashishini to‘g‘ri tanlash orqali erishiladi. Direktorlarning uzunliklari $(0,41 \dots 0,45) \lambda$ ga teng tanlanadi. Direktorlar va birinchi direktor va aktiv vibrator orasidagi masofa $(0,1 \dots 0,34) \lambda$ ga teng tanlanadi. Aktiv va passiv vibratorlar orasidagi masofaning kamayishi bilan passiv vibratorlardagi tok ortadi, ammo bunda bu tokning ta‘siri tufayli kirish qarshiligi sezilarli kamayadi. Antennani fider bilan moslashtirishni osonlashtirish uchun aktiv vibrator ko‘pincha halqa shaklida bo‘ladi.

Antenna xususiyatlariga to‘lqin o‘tkazgichning ochiq uchi ham ega. Ochiq to‘lqin o‘tkazgich erkin fazo bilan yaxshi moslashmagan, u

holda elektromagnit energiyaning sezilarli qismi uning oxiridan qaytadi va manbaga qaytadi (qaytarish koeffitsienti 0,25 ... 0,3 dan kam emas).

To'liq o'tkazgichning erkin fazo bilan moslashishini yaxshilash va yo'naltirilgan nurlanishni yaratish uchun *ruporli antennalar* ishlatiladi, ular rupor yordamida to'liq o'tkazgichi ko'ndalang kesimining o'lchamini ravon oshirish orqali hosil bo'ladi (3.8-rasm). Detsimetrli va santimetrli to'liqlar diapazonlarida bu turdagi antennalar keng qo'llaniladi.

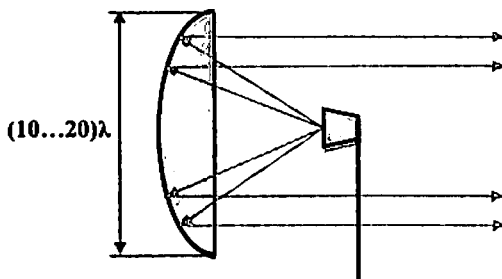
Ruporli antennaning yo'naltirilganligi ruporlarning ochilishi maydonining oshishi bilan ortadi. Mustaqil antennalar sifatida ruporlar kamdan-kam hollarda ishlatiladi, lekin ko'pincha ular ko'plab yanada murakkab antennalarning konstruksiyasiga kiradi [12].



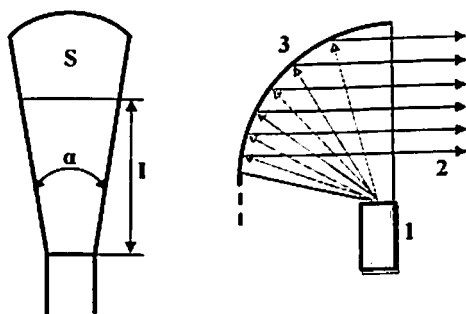
3.8-rasm. Ruporli antenna

Ulardan biri simmetrik parabolasiimon reflektorli antenna (3.9-rasm) hisoblanadi, bu yerda reflektor rolini aylanma paraboloid yoki parabolasiimon silindr shaklidagi metall ko'zgu o'ynaydi. Bunda antenna deyarli parallel nurlar oqimini nurlantiradi. Bunday antennalarning yo'naltirilgan ta'sir koeffitsienti juda yuqori va 10^4 ga yetadi.

Ko'rib chiqilgan antennaning kamchiliklari shundan iboratki, ko'zgodan qaytgan energiyaning bir qismi rupor orqali to'liq o'tkazgichga qaytariladi. Bu energiyaning uzatish samaradorligini pasaytiradi va uzatiladigan signalning buzilishiga olib keladi. Ruporli-parabolasiimon antenna (3.10-rasm) bu kamchilikdan holi.



3.9-rasm. Simmetrik parabolasiimon antenna

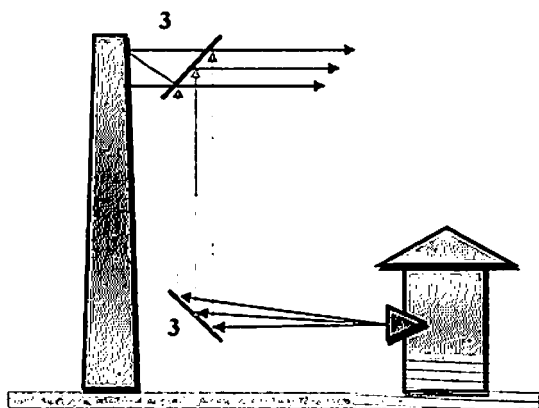


3.10-rasm. Ruporli-parabolasimon antenna

1 to‘lqin o‘tkazgichdan yuqori chastotali energiya 3 aylana paraboloidi segmentining nurlantirgichi hisoblanadigan 2 piramidal ruporga beriladi. Antenna nurlantiradigan to‘lqinlar tekis olinadi, chunki ruporning balandligida joylashgan uning fazaviy markazi paraboloidning markazida bo‘ladi. Ruporning to‘lqin o‘tkazgich bilan yaxshi moslashtirish uchun α ochilish burchagi $30 \dots 40^\circ$ ga teng, ruporning uzunligi esa $l = 50\lambda$ ga teng tanlanadi. Antennaning kuchaytirish koeffitsienti antennaning S ochilish maydonining ortishi bilan ortadi $6 \dots 8 \text{ m}^2$ ochilish maydonida kuchaytirish koeffitsienti 10^4 ga teng bo‘ladi. Bu holda ham gorizontal, ham vertikal tekisliklarda yo‘naltirilganlik diagrammasining kengligi taxminan 2 ga teng bo‘ladi.

Simmetrik antennalarning bir turi periskopik antennalar (3.11-rasm) hisoblanadi, ular ko‘zgular yordamida yuqori chastotali energiyani minoraning tepasiga liniyalarsiz yoki to‘lqin o‘tkazgichlarsiz uzatishga imkon beradi. Uzatkichdan olinadigan energiya ruporli antenna orqali ufqqa nisbatan 45° burchak ostida machtaning ostida joylashgan ellipsoidal ko‘zgu tomoniga nurlantiriladi.

Ko‘zgu unga tushadigan to‘lqinlarni machtaning ustida 45° burchak ostida o‘rnatilgan tekis ko‘zguga yuqoriga perpendikulyar qaytaradi. Ikkinchi ko‘zgu orqali to‘lqinlar kerakli yo‘nalishda qaytariladi. Periskopik antennadagi energiyani uzatishning foydali ish koeffitsienti taxminan 50% ni tashkil qiladi, bu energiya to‘lqin o‘tkazgich orqali yuqoriga uzatishdagiga qaraganda yuqori bo‘ladi.

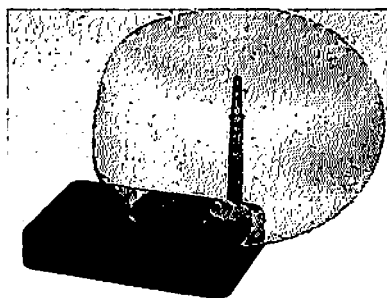


3.11-rasm. Periskopik antenna

3.3.3. Simsiz keng polosali aloqa antennalarining o'ziga xos xususiyatlari

Antennaning konfiguratsiyasi simsiz ulanish nuqtasining qamrab olish zonasini, ya'ni ulanish nuqtasi boshqa simsiz mijozlar qabul qilishi mumkin bo'lgan signalni nurlantiradigan zonani aniqlaydi. Ta'kidlaymizki, simsiz ulanish nuqtasining qamrab olish zonasi antennaning o'lchamiga emas, balki aynan konstruksiyasi orqali aniqlanadi, demak, bu holda "qanchalik uzun bo'lsa, shunchalik yaxshi" prinsipi amal qilmaydi [12].

Ko'plab standart antennalarning, ya'ni simsiz ulanish nuqtalari bilan birga yetkazib beriladigan antennalarning asosiy muammosi ular yetarlicha keng qamrab olish zonasiga ega emasligidan iborat (3.12-rasm).

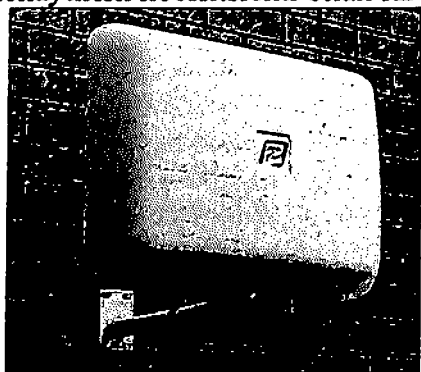


3.12-rasm. Router shtatdagi antennasining yo'naltirilganlik diagrammasi ($f=2,45$ GHz)

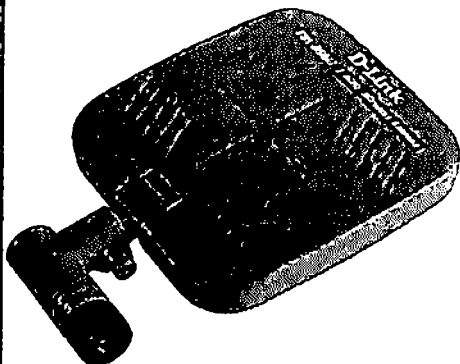
Katta quvvatli uzatkichli ulanish nuqtasini olish bilan muammoni osongina yechib bo'ladigandek tuyuladi. Xususan, 2400 dan 2483,5 MGsgacha chastotalar diapazonida (Wi-Fi qurilmalarining chastotalar diapazonida) litsenziyasiz asosda radiotarmoqlarni qurish uchun 100 mVtdan katta bo'lmagan ekvivalent izotrop-nurlantiriladigan quvvatga (EINQ) teng bo'lgan nurlantirish quvvatiga ega bo'lgan o'tkazgichlardan foydalanishga ruxsat etiladi. Barcha ulanish nuqtalari va simsiz adapterlar bir xil uzatish quvvatiga ega (3.12-rasm), demak simsiz tarmoqning qamrab olish zonasini oshirishning yagona usuli an'anaviy standart antennalar o'rniga maxsus antennalardan foydalanish hisoblanadi.

Wi-Fi qurilmalari uchun antennalar turlari

Foydalanish nuqtai nazaridan, Wi-Fi qurilmalari uchun barcha antennalarni shartli ravishda ikkita katta sinflarga - tashqi (outdoor) (3.13a-rasm) va ichki foydalanish uchun (indoor) (3.13b-rasm) antennalarga bo'lish mumkin. Bu antennalar asosan o'lchamlari va kuchaytirish koeffitsienti bilan farq qiladi [12].



a) BAS 2301 antenasi



b) D-Link DWL-R60AT antenasi

3.15-rasm. Wi-Fi simsiz tarmog'i antennalari

Tabiiyki, tashqi foydalanish uchun mo'ljallangan antennalar kattaroq va ular uyning devoriga yoki vertikal ustunga mahkamlash ko'zda tutiladi. Bunday antennalarda yuqori kuchaytirish koeffitsientiga yo'naltirilganlik diagrammasining (asosiy yaproqchanning) kichik kengligi hisobiga erishiladi. Tashqi antennalar odatda bir-biridan juda katta masofalarda joylashgan ikkita simsiz tarmoqlarni ulash uchun ishlatiladi. Bunday ikkita antennalar to'g'ri ko'rinish zonasida o'rnatiladi va bu holda ularning har biri boshqa antenna yo'naltirilganlik

diagrammasining bosh yaproqchasi zonasida bo'lishi muhim.

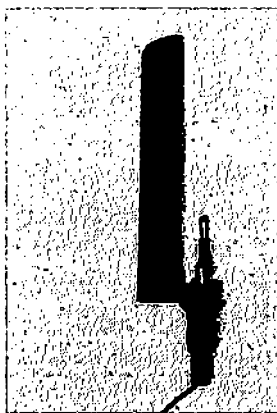
Ichki foydalanish uchun antennalar kichikroq va pastroq kuchaytirish koeffitsientiga ega. Bu antennalar stolga, devorga yoki ulanish nuqtasiga to'g'ridan-to'g'ri o'rnatiladi.

Ulanish nuqtasining o'ziga antennalar to'g'ridan-to'g'ri yoki kabel orqali ulanishi mumkin. Bunda antenna yoki kabelni ulanish nuqtasiga ulash uchun maxsus SMA-ulagich ishlatiladi. Ulanish nuqtalarida *Male* turdagi, antennaning o'zida yoki antenna kabelida *Female* turdagi ulagichidan foydalaniladi.

Tashqi antennani kabelga ulash uchu ulagichlarining boshqa turlari, odatda N-turdagi ulagichdan foydalanish mumkin.

Shtirli antenna

802.11 standartlaridagi barcha ulanish nuqtalari ham olinadigan, ham statsionar bo'lishi mumkin standart shtirli antennalari bilan jihozlanadi (3.14-rasm). Shtirli antenna eng oddiy antenna varianti hisoblanadi. Bundan tashqari, u ko'pincha nosimmetrik vibrator deb ataladi [12].



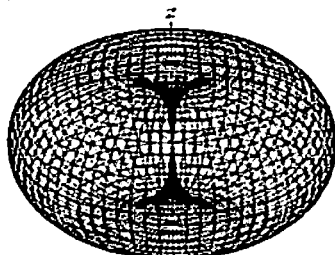
3.14-rasm. Ulanish nuqtasi shtirli antenasining ichki ko'rinishi

Agar shtirli antenna vertikal holatda joylashtirilsa, u holda gorizontal tekislikda u barcha yo'nalishlarda energiyani bir tekis nurlantiradi, shuning uchun bunday antenna yo'naltirilgan antenna hisoblanadi va tabiiyki, ma'lum bir yo'nalishda ustuvor nurlantirish haqida gapirishning hojati yo'q. Shu bilan bir vaqtda, bunday antenna vertikal tekislikda notekis nurlantiradi. Xususan, antenna o'qi bo'ylab umuman nurlantirish bo'lmaydi. Aynan shuning uchun, hatto eng oddiy shtirli antenna bo'lganda, maksimal kuchaytirishga mos keladigan

yo'nalishlarni ajratish mumkin. Shtirli antennalar uchun maksimal kuchaytirishga antennaga perpendikulyar bo'lgan va uning o'rtasidan o'tadigan tekislikda erishiladi.

Agar standart shtirli antenna bo'laklansa, u holda aksariyat hollarda uning aktiv qismining uzunligi atigi 31 mm ekanligi ayon bo'ladi. Tabiiyki, bu uzunlik tasodifan tanlanmagan. Gap shundaki, Wi-Fi qurilmalari uchun chastotalar diapazoni 2400 dan 2473 MGs gacha. Mos ravishda, nurlanish to'lqin uzunligi 12,12 dan 12,49 smgacha o'zgaradi va chorak to'lqin uzunligi taxminan 31 mmga teng. Ya'ni, aksariyat hollarda shtirli antennaning uzunligi nurlanish to'lqin uzunligining chorak qismiga teng tanlanadi.

Shtirli antennaning uch o'lchovli yo'naltirilganlik diagrammasi 3.15-rasmda tasvirlangan.



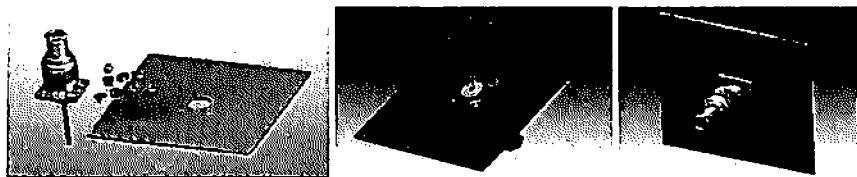
3.17-rasm. Shtirli antennaning uch o'lchovli yo'naltirilganlik diagrammasi

Ta'kidlaymizki, shtirli antenna nurlanishining izotrop xususiyati tufayli bunday antennali ulanish nuqtasini gorizont tekislikda xona yoki ofisning butun maydonini simsiz tarmoq bilan maksimal darajada qamrab olish uchun ofis yoki xonaning markaziga o'rnatish optimal bo'ladi.

Perpendikulyar reflektorli shtirli antenna

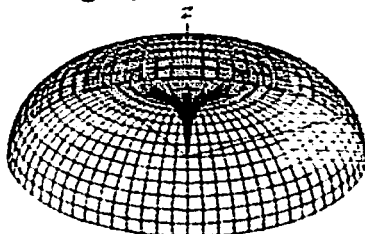
Antennaga perpendikulyar bo'lgan reflektor - ideal yerga ulash sirti bo'lib funksiyasini bajaradigan metall sirdan (ekrandan) foydalanish bilan shtirli antennaning konstruksiyasini yaxshilash mumkin (3.16-rasm) [12].

Perpendikulyar reflektorli chorak to'lqinli shtirli antennaning uch o'lchovli yo'naltirilganlik diagrammasi 3.17-rasmda tasvirlangan.



3.16-rasm. Perpendikulyar reflektorli shtirli antennaning konstruksiyasi

Antennaning $1/4\lambda$ uzunligi uchun ideal cheksiz reflektor bo'lganda maksimal kuchaytirish koeffitsienti 5,18 dBni tashkil etadi, shu bilan bir vaqtda, o'sha antenna uchun reflektor bo'lmaganida maksimal kuchaytirish koeffitsienti atigi 1,73 dBni tashkil qiladi.



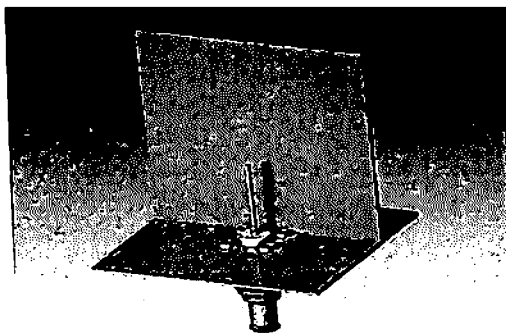
3.17-rasm. Perpendikulyar reflektorli chorak to'liqinli shtirli antennaning uch o'lchovli yo'naltirilganlik diagrammasi

Oddiy shtirli antennada bo'lganidek, perpendikulyar reflektorli shtirli antennani xonaning (ofisning) markaziga o'rnatish tavsiya etiladi.

Parallel reflektorli shtirli antenna

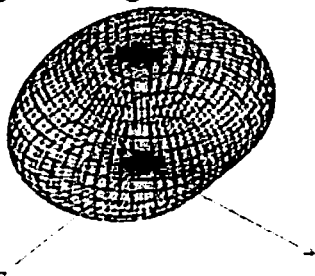
Shtirli antennani modifikatsiyalashning yana bir usuli antennaga perpendikulyar emas, balki parallel reflektordan foydalanish hisoblanadi (3.18-rasm). Bu holda uning yo'naltirilganlik diagrammasi sezilarli o'zgaradi va gorizontal tekislikda bunday antenna izotrop bo'lishni to'xtatadi [12].

Gorizontal tekislikdagi (antennaga perpendikulyar bo'lgan tekislikdagi) yo'naltirilganlik diagrammasining ko'rinishi ham antennani o'zining o'lchamlariga, ham antenna va reflektor orasidagi masofaga bog'liq.



3.18-rasm. Parallel reflektorli shtirli antennaning konstruksiyasi

3.19-rasmda antenna va reflektor orasidagi masofada $1/4\lambda$ (31 mm) bo'lganda parallel reflektorli chorak to'liqinli shtirli antennaning uch o'lchamli yo'naltirilganlik diagrammasi tasvirlangan.



3.19-rasm. Parallel reflektorli chorak to'liqinli shtirli antennaning uch o'lchovli yo'naltirilganlik diagrammasi

Antennadan $1/4\lambda$ masofada joylashgan ideal cheksiz reflektor bo'lganda antennaning $1/4\lambda$ uzunligi uchun maksimal kuchaytirish koeffitsienti 7,17 dBini tashkil qiladi. Bunday antennani devor yaqiniga o'rnatish tavsiya etiladi.

Antennalarga amaliy misollar

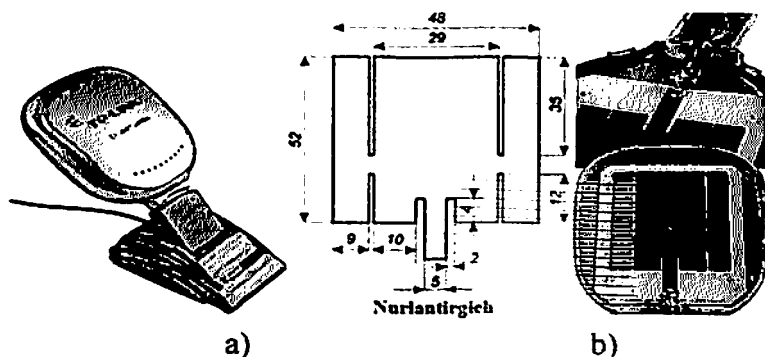
Albatta, tavsiflangan shtirli antennalar Wi-Fi qurilmalari uchun eng keng tarqalgan bo'lsa-da, Wi-Fi antennalarining barcha bo'lishi mumkin xilma-xilligini bermaydi. Ayrim Wi-Fi qurilmalari antennalarini ko'rib chiqamiz.

TP-Link TL-ANT2406A

TP-Link kompaniyasining TL-ANT2406A kichik hajmli yo'naltirilgan antenasi bino ichida foydalanish uchun mo'ljallangan.

Antenna qulay taglikka ega, uni devorga, stolga oʻrnatish yoki ostiga oʻrnatilgan magnitlardan foydalanish bilan kompyuter korpus paneliga oʻrnatish mumkin (3.20-rasm,a) [12].

Ulanish nuqtasi bilan antennani ulash uchun SMA ulagichi bilan jihozlangan 1 m uzunlikdagi 50 Omli kabel ishlatiladi.



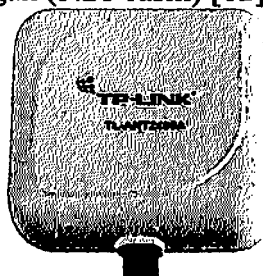
3.20-rasm. TL-ANT2406A antennaning tashqi koʻrinishi va sxemasi

Texnik hujjatlarga koʻra, TL-ANT2406A antenasi 6 dBi kuchaytirish koeffitsientiga ega.

Nurlantirish (qabul qilish) elementi sifatida 48x52 mm oʻlchamdagi toʻrtburchak shaklidagi metall tekislikdan foydalaniladi, unda kichik kesishlar amalga oshiriladi (3.20-rasm, b), nurlantirish tekisligining oʻzi esa oʻlchamlari nurlantirgichning oʻlchamlari bilan mos keladigan toʻrtburchakli reflektor ekranidan 4 mm masofada joylashgan. Koaksial kabelning markaziy simi nurlantirgichga, simli toʻr esa ekranga ulangan.

TP-Link TL-ANT2409A

TP-Link TL-ANT2409A kichik hajmli antenna tashqi foydalanishga moʻljallangan (3.21-rasm) [12].



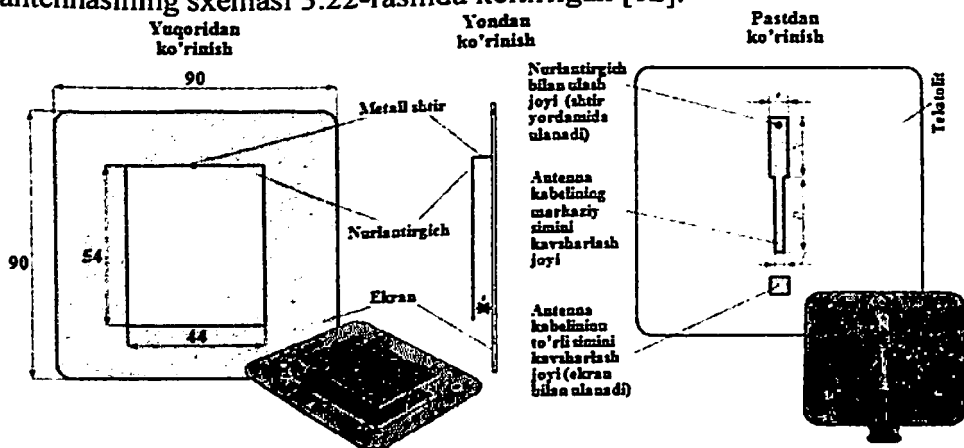
3.21-rasm. TP-Link TL-ANT2409A antenasining tashqi koʻrinishi

Antenna korpusi uning devorga yoki gorizontaal ustunga o'rnatilishini ko'zda tutadi, buning uchun maxsus o'rnatish kransteynlari va qisqichlari mavjud.

Antennani ulanish nuqtasi bilan ulash uchun SMA ulagich bilan jihozlangan 50 Omlik kabel ishlatiladi.

Antennaning ichki konstruksiyasi

90x90 mm o'lchamdagi to'rtburchak yerga ulangan ekranning tepasida 7 mm balandlikda 44x54 mm o'lchamdagi metall to'rtburchak shaklidagi nurlantiruvchi element joylashgan. Nurlantiruvchi elementning koaksial kabel bilan ulanishi ekranning orqa tomonida amalga oshiriladi. Fiderni antenna bilan moslashtirish uchun ma'lum konfiguratsiyadagi metallashtirilgan polosa ishlatiladi. TL-ANT2409A antenasining sxemasi 3.22-rasmda keltirilgan [12].



3.22-rasm. TL-ANT2409A antenasining sxemasi

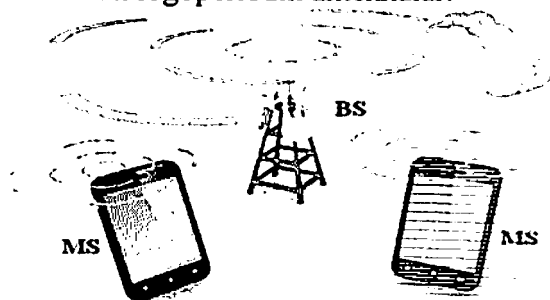
3.4. Sotali aloqa antennalari

Radioantennalar sotali aloqada juda muhim rol o'ynaydi. Sotali aloqaning muhim ajralib turadigan xususiyatlaridan biri bu abonentlar tarmoqning butun xizmat ko'rsatish doirasi bo'ylab erkin harakatlanish va uzluksiz xizmat ko'rsatishni olish imkoniyatidan iborat. Bu oxirgi milya, ya'ni abonent qurilmasi (mobile station - MS) va bazaviy stansiya (base station - BS) orasidagi oraliq radioaloqa yordamida tashkil qilinishi tufayli mumkin bo'ldi (3.23-rasm). Shuningdek, sotali aloqa obyektlarini qurishda olisdagi bazaviy stansiyalargacha radioreleli liniyalar (RRL) aloqasi yordamida transportni tezkor tashkil etish va

eng qiyin bo'lgan joylarda qamrab olishni tashkil qilish muhim hisoblanadi [13].

Sotali aloqa tizimlarida quyidagi turdagi antennalar qo'llaniladi:

1. BS panelli sektorli antennalar;
2. BS barcha tomonlarga yo'naltirilgan antennalari;
3. RRL oraliqlari va sun'iy yo'ldoshli aloqa uchun parabolasiimon antennalar;
4. Repiterlar uchun logoperiodik antennalar.



3.23-rasm. Abonent qurilmasining (mobile station - MS) bazaviy stansiya (base station - BS) bilan radioaloqasi

Panelli antennalar

Antennaning barcha turlari orasidan panelli antennalar eng keng tarqalgan. Ular berilgan hududda qamrab olishni tashkil qilish uchun mo'ljallangan sektorli antennalari sifatida ishlatiladi. Aynan ular orqali abonentlarning mobil stansiyalariga signallar nurlantiriladi va ulardan qabul qilinadi. Panelli antennaning tashqi ko'rinishi 3.24-rasmda keltirilgan [13].

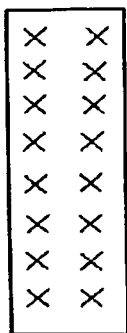


3.24-rasm. Panelli antennaning tashqi ko'rinishi

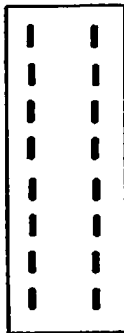
Panelli antennalarning antennalar panjarasi vertikal ustma-ust joylashgan dipollarning to'plami hisoblanadi. Odatda, ular antennaning chap va o'ng tomonlaridagi ikkita ustunlarga joylashtirilgan. Bu bilan fazoviy gorizontal surish amalga oshiriladi. Bu uplink (pastga) yo'nalishida signal sifatini yaxshilaydi. Bunda dipollarning har bir ustuni alohida fider yordamida BS qurilmasining alohida kirishiga ulanadi. Qutblanishga bog'liq ravishda dipollar vertikal, gorizontal, vertikalga 45 daraja og'ish bilan joylashtirilishi mumkin. Shuningdek, kross-qutblangan antennalarni ham o'rnatish mumkin, bunda dipollar har ikkala ustunlarga X-simon o'rnatiladi.

Shuningdek, uplink yo'nalishida signal sifatini yaxshilash uchun qutblashtirilgan surish qo'llaniladi (3.25-rasm). Bunda mobil stansiyadan signal, odatda o'zaro perpendikulyar bo'lgan turli qutblanishdagi dipollarga ega bo'lgan ikkita antennalar orqali qabul qilinadi. Tejamkorlik uchun panjaralar bitta korpusga birlashtiriladi, bu antenna panjaralarining yana bir nechta - boshqa qutblanishli gorizontal, shuningdek +45 va -45 graduslarga og'ishli variantlarini beradi (3.26-rasm).

Hozirda juda ko'p sonli turli xil panelli antennalar ulab chiqariladi. Ulardagi eng sezilarli farqlar antennalarning yo'naltirilganlik diagrammalaridan iborat. Asosiy yaproqchanning ochilishi 30 dan 90 graduslarga, ammo o'rta 60-75 graduslarda o'zgarishi mumkin.



X-qutblanish

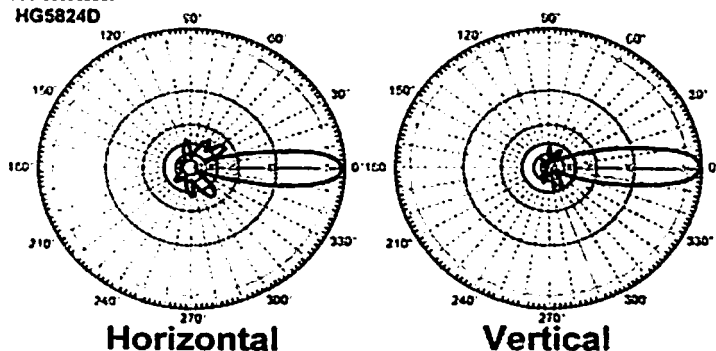


Vertikal qutblanish

3.25-rasm. Panelli antennalarning qutblanishi

Shuningdek, antennaning og'ishi ham muhim xususiyat bo'lib, u mexanik va elektr og'ish bo'lishi mumkin, mexanik og'ish panelli antennaning yuqori o'rnatilishini sozlash orqali o'zgartiriladi, elektr og'ish esa dipollarning og'ishiga bog'liq. Bundan tashqari, antennani

o'zining konstruksiyasiga gorizontalgaga nisbatan og'ish qo'yilgan bo'lishi mumkin.

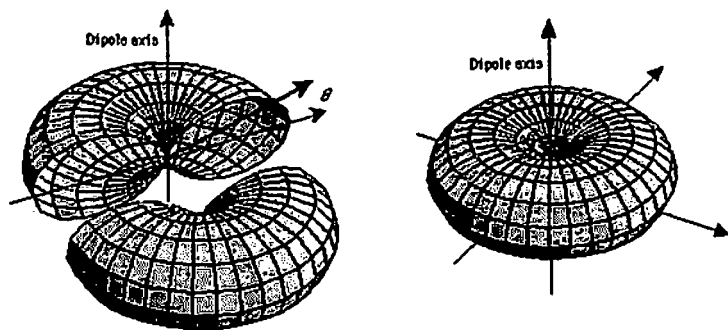


3.26-rasm. Panelli antennalarning yo'naltirilganlik diagrammalari

Yo'naltirilganlik diagrammasi bilan bir qatorda, antenning muhim xarakteristikasi ishchi chastotalar diapazoni hisoblanadi. Bu 800, 900, 1800, 1900, 2100, 2600 MGs va boshqalar bo'lishi mumkin. Ko'plab bazaviy stansiyalarda bitta diapazon emas, balki ikkita (900 MGs va 1800 MGs) yoki hatto 3G tizimi (2100 MGts) va 4G tizimi (2600 MGs) hisobga olinishi bilan 3 ta yoki 4 ta diapazonlardan foydalaniladi. Bunday hollar uchun maxsus kombinatsiyalangan 2, 3- yoki 4- diapazonli antennalar. Binobarin, ular turli xil kombinatsiyalarda, qutblanishsiz yoki qutblanishli yoki fazoviy surilgan, turli og'ish burchaklarida bo'lishi mumkin, bu natijada o'nlab va hatto yuzlab turli kombinatsiyalarni beradi.

BS barcha tomonlarga yo'naltirilgan antennalari

Mobil stansiya (MS) va bazaviy stansiya (BS) orasida radioaloqa amalga oshiriladigan bo'lishi mumkin antennalar turlaridan biri bu barcha tomonlarga yo'naltirilgan yoki omni-antennalar hisoblanadi. Bu turdagi antennalar panelli antennalarga qaraganda kamroq ishlatiladi, ammo ba'zi hollarda bu o'rnini bosa olmaydigan bo'ladi. Barcha tomonlarga yo'naltirilgan yoki yo'naltirilmagan antennalar deyiladigan antennalarning sektorli antennalardan asosiy farqi signallarni nurlantirishning ustuvor yo'nalishi yo'qligi hisoblanadi. Bazaviy stansiyadan beriladi radiosignal barcha yo'nalishlarda teng quvvatda nurlantiriladi. Shuning uchun, omni-antenna dumaloq yo'naltirilganlik diagrammasiga ega (3.27-rasm) [13].



3.27-rasm. Omni-antennaning yo'naltirilganlik diagrammalari

Tashqi ko'rinishi tufayli omni-antennalar yana shtirli antennalar deyiladi. Bu konstruktiv bajarilishda u ba'zan korroziyaga to'sqinlik qiladigan plastik korpusda joylashgan metall sterjen hisoblanadi. Shuningdek, ba'zan konussimon silliq korpusdan foydalaniladi, u shiftga uchi bilan pastga qaratib yoki uchi yuqoriga ko'tarilishi bilan istalgan boshqa tekis sirtga biriktiriladi. Antennaning aniq bir bajarilishi faqat o'rnatish joyiga bog'liq va antennaning xarakteristikalariga ta'sir qilmaydi (3.28-rasm). Panelli antennalardan farqli ravishda omni-antennalar kichik joylarni qamrab olish uchun ishlatiladi. Bu bazaviy stansiyaning nurlantirish quvvati 30-60 graduslardagi alohida sektorlarda emas, balki barcha yo'nalishlarda uzatilishi bilan ta'sirlantiriladi. Biroq, qamrab olish zonasi bir necha o'nlab kilometr kvadratlarga yetishi mumkin.



3.28-rasm. Omni-antennalarning turlari

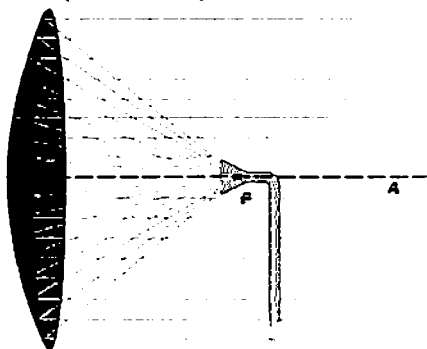
Parabolasimon antennalar

Panelli antennalar bilan bir qatorda parabolasimon antennalar ham sotali aloqada muhim rol o'ynaydi. Ularni qo'llashning asosiy sohasi bazaviy stansiya (BS) uchun transport kanallarini tashkil qilish hisoblanadi. Ular asosan radioreleli aloqa liniyalarida (RRL), sun'iy yo'ldoshli aloqada qo'llaniladi. Biroq, u yoki bu holda ishlash prinsipi

o'zgarishsiz qoladi. Parabolasiimon antenna ikkita asosiy elementlar - *parabolasiimon ko'zgu* va nurlantiriladigan signalni uzatadigan va qabul qiladigan ko'zgudan ma'lum masofadagi *nurlantirgichdan* iborat [13].

Parabolasiimon antenning ishlash prinsipi ko'zguga tushgan barcha nurlar bitta nuqtaga - signallarni qabul qilgich joylashgan parabola markaziga (F) fokuslanishiga asoslanadi. Shu bilan bir vaqtda, fokusdan nurlantiriladigan barcha nurlar bitta yo'nalishda uzatiladi (3.29-rasm).

Parabolasiimon antenning asosiy o'ziga xos xususiyati uzun va tor asosiy yaproqcha bilan tavsiflanadigan ingichka yo'naltirilganlik diagrammasi hisoblanadi (3.30-rasm).

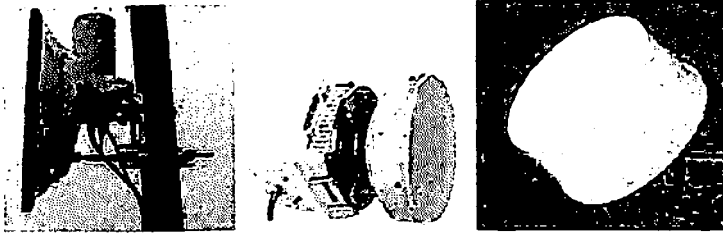


3.29-rasm. Parabolasiimon antenning ishlash prinsipi



3.30-rasm. Matematik modellashtirish yo'li bilan aniqlangan parabolasiimon antenning uch o'lchovli nurlantirilganlik diagrammasi

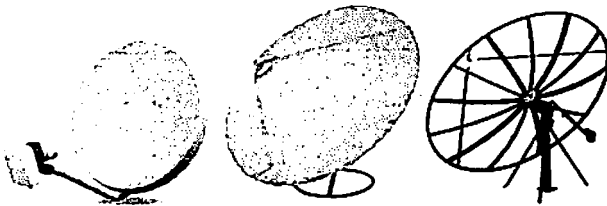
O'z konstruksiyasi bo'yicha parabolasiimon antenalar bir-birlaridan yetarlicha kuchli farqlanishi mumkin. Bunga ishlatilgan chastotalar diapazoni, nurlantiriladigan quvvat, obyektlar orasidagi masofa, aloqa kanalining sig'imi va boshqalar kabi ko'plab parametrlar ta'sir qiladi. Agar parabolasiimon antenna RRLda ishlatilsa, u holda antenna odatda tashqi salbiy sharoitlarning ta'sirini oldini oladigan maxsus himoyaviy plastik korpusga joylashtiriladi. Parabolasiimon antenna ko'zhusining diametri 30 smdan bir necha metrgacha bo'lishi mumkin (3.31-rasm).



3.31-rasm. Parabolasimon antennalarning turlari

Chastota ham 3 dan 40 gigagersgacha bo'lgan keng diapazonda tanlanishi mumkin. Odatda quyidagi qoidaga amal qilinadi: RRL oralig'i qanchalik katta bo'lsa, shunchalik pastroq chastota ishlatiladi va antennaning diametri shunchalik katta bo'ladi. RRL antenasiga orqa tomondan to'lqin o'tkazgich yordamida radioaloqa moduli ulanadi, u ma'lumotlarni ochiq fazo orqali uzatish uchun ishlatiladigan gigagersli diapazon yuqori chastotali signalini RRL tizimining ichki moduliga uzatiladigan megagersli diapazon o'rta chastotasi signaliga o'zgartiradi.

Sun'iy yo'ldoshli aloqa uchun parabolasimon antennalar birmuncha boshqacha konstruksiyaga ega (3.32-rasm). Odatda, bunday antennalarda nurlantirgich antennaning markazida emas, balki ma'lum surish bilan joylashtiriladi, ya'ni parabolaning fokusi o'z o'qidan siljiydi. Bu qabul qilingan signal yo'lidagi qo'shimcha soyalaydigan to'siqlarini hosil qilmaslik uchun zarur bo'ladi. Sun'iy yo'ldoshli aloqa uchun antennalar odatda kattaroq diametrga ega va himoyaviy korpusga joylashtirilmaydi. Umumiy holda ularning ishlash prinsipi RRL antennalariga o'xshaydi.



3.32-rasm. Sun'iy yo'ldoshli antennalarga misollar

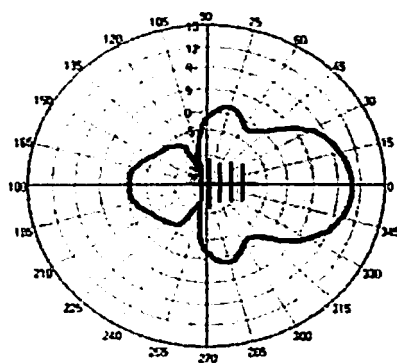
Logoperiodik antennalar

Logoperiodik antennalar yetarlicha keng tarqalgan antennalar turi hisoblanadi. Ularning asosiy o'ziga xos xususiyati keng chastotalar diapazonida signallarni ma'lum bir yo'nalishda qabul qilish va uzatish imkoniyati hisoblanadi. Logoperiodik antennalar uy sharoitlarida

televizion signallarini qabul qilish uchun antenna sifatida keng qoʻllaniladi. Sotali aloqa tarmoqlarida bu turdagi antennalar repiterlarni qurishda donor antennalar sifatida qoʻllanadi, chunki ular bir vaqtning oʻzida bir nechta chastotalar diapazonlarida, masalan, 900, 1800, 2100 MGs va boshqa chastotalar diapazonlarida signallarni qabul qilishi mumkin [13].

Logoperiodik antenning yoʻnaltirilganlik diagrammasi panelli antenning keng diagrammasi va parabolasiimon antenning ingichka diagrammasi orasidagi oʻrtacha hisoblanadi (3.33-rasm). Bu xususiyat RRL antenasi uchun talab qilinadigan oraliqni aniq sozlamasdan kerakli bazaviy stansiya bilan aloqani oʻrnatishga imkon beradi.

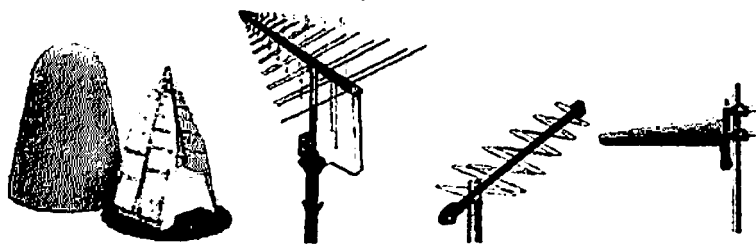
Binobarin, xizmat koʻrsatadigan bazaviy stansiyagacha boʻlgan masofa bir necha kilometrarga yetishi mumkin. Tashqi koʻrinishi boʻyicha logoperiodik antenna vibratorlar deyiladigan uncha katta boʻlmagan sterjen lar perpendikulyar oʻrnatilgan gorizontol joylashgan tashuvchi sterjen hisoblanadi. Binobarin, sterjen larning uzunliklari va ular orasidagi masofalar logaritmik qonun boʻyicha asosdan uchga kamayadi, bundan bu turdagi antenning nomi kelib chiqqan. Bu vibratorlar radiosignallarni uzatish va qabul qilishda asosiy rol oʻynaydi.



3.33-rasm. Logoperiodik antennalarning yoʻnaltirilganlik diagrammasi

Ishchi chastotalar diapazoni eng katta (pastki chegara) va eng kichik (yuqori chegara) vibratorlar uzunliklari orqali aniqlanadi. Baʼzi turdagi antennalar oʻnlab MGsdan oʻnlab GGslargacha ishchi diapazonlarni taʼminlaydi. Tashqi taʼsirlardan himoya qilish uchun

logoperiodik antennalar paypoqqa o'xshash himoyaviy plastik korpusga joylashtiriladi (3.34-rasm).



3.34-rasm. Logoperiodik antennalarga misollar

Nazorat savollari

1. Antennaning tuzilish va ishlash prinsipini tushuntiring.
2. Antennalarning asosiy xarakteristikallari va parametrlarini sanab o'ting.
3. Simmetrik vertikal vibratorning yo'naltirilganik diagrammasini keltiring va tushuntiring.
4. Antennaning ishchi diapazoniga ta'rif bering.
5. Metrli, detsimetrli va santimetrli to'lqinlarda qanday antennalar ishlatiladi?
6. Ruporli antennalar nima uchun ishlatiladi?
7. Ko'zgili parabolasiimon reflektorli antennaning ishlash prinsipini tushuntiring.
8. Periskopik antennaning ishlash prinsipini tushuntiring.
9. Wi-Fi qurilmalari uchun antennalarga misollar keltiring.
10. Perpendikulyar reflektorli shtirli chorak to'lqinli antennaning tuzilish va ishlash prinsipini tushuntiring.
11. Parallel reflektorli shtirli chorak to'lqinli antennaning tuzilish va ishlash prinsipini tushuntiring.
12. Sotali aloqada ishlatiladigan antenna turlarini sanab o'ting.
13. Panel antennalari qayerda va nima maqsadlarda ishlatiladi?
14. VSlar barcha tomonlarga yo'naltirilgan antennalari (omni-antennalari) haqida so'zlab bering.
15. Sotali aloqada parabolasiimon antennalar nima uchun ishlatiladi?
16. Sotali aloqada logoperiodik antennalar nima uchun ishlatiladi?

4. SIMSIZ TARMOQLARDA UZATISH MUHITIGA ULANISH USULLARI

4.1. FDMA kanallar chastota bo'yicha ajratiladigan ko'p tomonlama ulanish usuli

Ma'lumotlarni uzatish uchun turli fizik muhitlar - tolalar, o'rama juftliklar, radioreleli aloqa liniyalari va boshqalar ishlatiladi. Bunda istalgan real aloqa kanali cheklangan o'tkazish polosasiga ega bo'ladi. Ko'pincha o'sha bir aloqa liniyasidan bir nechta abonentlar juftliklari foydalanadi. Bunday holda umumiy resurslarni ma'lumotlar almashinuvining barcha ishtirokchilari orasida bo'lish zarurati tug'iladi [9].

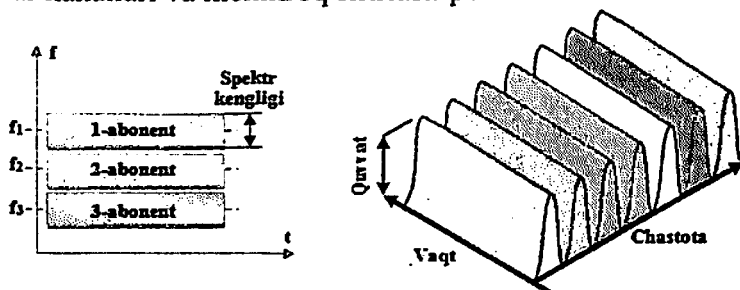
Istalgan aloqa kanali ikkita yakuniy xarakteristikalar - kanal egallaydigan chastotalar spektrining kengligi va undan foydalanish vaqtiga ega bo'ladi. Bu yerdan kanallarni ajratishning uchta asosiy usullaridan ikkitasi - FDMA (Frequency Division Multiple Access) – chastota bo'yicha ajratishli ko'p tomonlama ulanish va TDMA (Time Division Multiple Access) – vaqt ajratishli ko'p tomonlama ulanish usullari kelib chiqadi. Shuningdek, sotali aloqa tizimlari uchun muhim bo'lgan uchinchi muhim usul - CDMA (Code Division Multiple Access) – kod ajratishli ko'p tomonlama ulanish usuli mavjud. Ularni batafsil ko'rib chiqamiz.

Bu nafaqat sotali aloqada, balki boshqa radioaloqa tizimlarida ishlatiladigan eng keng tarqalgan ko'p ulanish usullaridan biri hisoblanadi. "Ko'p tomonlama ulanish" atamasining o'zi ma'lumotlar manbalari orasida aloqa liniyasining umumiy resurslarini bo'linishi ko'zda tutadi. FDMA prinsipi shundan iboratki, butun chastotalar spektri foydalanuvchilar orasida teng yoki teng bo'lmagan chastotalar polosalariga bo'linadi. Binobarin, kanallar har ikkala yo'nalishlarda ham simmetrik, ham nosimmetrik bo'lishi mumkin. Ma'lumotlar manbalari ular uchun ajratilgan chastotalar resurslaridan cheklanmagan foydalanishi mumkin, lekin Shu bilan birga ular qo'shni kanallarga halaqitlarni hosil qilmasligi kerak. O'tish halaqitlarining oldini olish uchun qo'shni kanallar orasida maxsus himoyaviy chastotaviy interval kiritiladi. Bu filtrlash polosasi deyiladi. U ma'lumotlarni uzatish uchun ishlatilmaydi va shuning uchun aloqa kanalining mavjud umumiy o'tkazish qobiliyatini kamaytiradi.

FDMA usuli ham analog aloqa tizimlarida, ham raqamli aloqa tizimlarida odatda boshqa TDMA va CDMA ko'p tomonlama ulanish usullari bilan bir qatorda qo'llaniladi. Sotali aloqada FDMA barcha NMT (Nordic Mobile Telephone), GSM (Global System for Mobile Communications), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), LTE (Long Term Evolution), Mobile WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) standartlarda qo'llaniladi.

FDMA usulining bunday keng qo'llanilishi, birinchi navbatda, barcha sotali aloqa tizimlari mobil stansiya va bazaviy stansiya orasida radioulanishidan foydalanishi, chastota esa bunday ulanishning eng muhim va qimmatli resursi ekanligiga bog'liq. Bu shundan iboratki, faqat ma'lum bir tarmoq abonentlari ulanishi mumkin bo'lgan simli ulanishlardan farqli ravishda, radioulanishlarda bir nechta abonentlar/operatorlar/ sotali aloqa tizimlari bir vaqtning o'zida efirga ulanishlari mumkin va ular fazoning bir nuqtasida bitta chastotada ishlay olmaydi. Shu munosabat bilan, barcha mavjud resurslarni chastotalar polosalariga bo'lish kerak bo'ladi.

FDMA ko'pincha boshqa kanallarni ajratish usullari bilan birgalikda ishlatiladi. GSM standartida chastota bo'yicha ajratish taqsimlash usuli TDMA bilan birgalikda qo'llaniladi. Butun chastotalar diapazoni ketma-ket raqamlangan har ikkala yo'nalishlarda har biri 200 kGs kenglikdagi simmetrik chastotalar polosalariga bo'linadi (4.1-rasm). UMTS standartida CDMA bilan birga FDMA ham ishlatiladi. Biroq, bu holda, past nurlantirish quvvati sathi tufayli ancha kengroq chastotalar kanallari va kichikroq filtrlash polosalari ishlatiladi.



4.1- rasm. FDMA usulini tashkil etish prinsipi

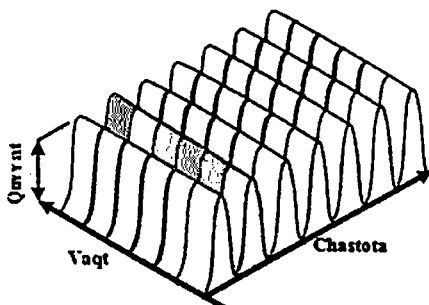
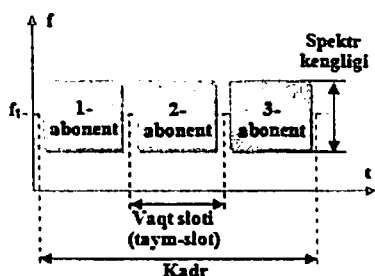
4.2. TDMA kanallar vaqt bo'yicha ajratiladigan ko'p tomonlama ulanish usuli

Bu uchta asosiy ulanish usullari, ya'ni ma'lumotlarni almashlash qatnashchilari orasida aloqa kanalining umumiy resurslarini bo'lishi

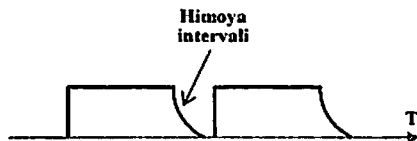
usullaridan biri hisoblanadi. TDMA GSM (Global System for Mobile Communications) kabi ikkinchi avlod sotali aloqa standartlarida keng qo'llaniladi [9].

TDMA usulining asosiy prinsipi shundan iboratki, mavjud resurslar siklli takrorlanadigan vaqt oraliqlarida ma'lumotlar almashinuvi ishtirokchilari orasida taqsimlanadi (4.2-rasm). Vaqt oraliqlari "taym-slot" (timeslot, TS) deyiladi. Bunda abonent kanalning to'liq o'tkazish kengligidan faqat ma'lum vaqt oralig'ida foydalanishi mumkin. Bunday vaziyatda, asosiy taym-slotslarning signallari bir-birlari bilan ustma-ust tushmasligi kerak. Buni ham o'ta katta uzatish quvvati, ham kanaldagi halaqitlar, ishlatilayotgan qurilmalarning nomukammalligini keltirib chiqarishi mumkin. Bunday slotlararo halaqitlarning oldini olish uchun ko'pincha maxsus himoyaviy vaqt oraliqlari kiritiladi.

Shunday qilib, agar bitta uzatkich energiyasining bir qismi unga ajratilgan taym-slotdan chiqib ketsa, u holda u faqat ma'lumotlarni tashimaydigan himoya intervaliga ta'sir qiladi. Bunday intervalning kiritilishi aloqa kanalining umumiy o'tkazish qobiliyatini pasaytiradi, ammo xizmat ko'rsatish sifatining berilgan xarakteristikalarini ta'minlash uchun zarur.



4.2- rasm. TDMA siklining tuzilmasi

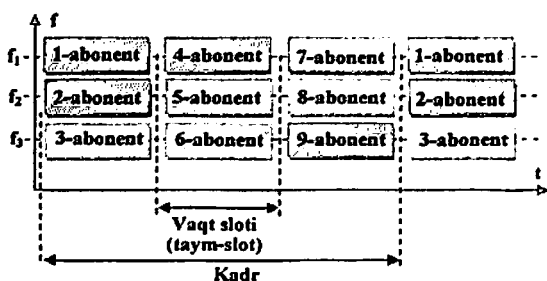


4.3- rasm. TDMA siklidagi himoya intervallari .

TDMA usuli raqamli uzatish tizimlari, xususan PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy – pleziokron raqamli ierarxiya) va SDH (Synchronous Digital Hierarchy – sinxron raqamli ierarxiya) paydo bo'lgandan keyin keng tarqaldi. TDMA usuli FDMA usuliga qaraganda raqamli oqimni uzatish uchun ko'proq mos keladi, chunki uning uzatilishi uchun aynan TDMA usulining xususiyatlari - keng polosalilik va qisqa uzatish vaqti o'ziga xos.

GSM standartida bir vaqtning o'zida TDMA va FDMA usullari ishlatiladi (4.4-rasm). Butun chastotalar diapazoni har bir 8 ta taym-slotlardan tashkil topgan har biri 200 kGs chastotali kanallarga bo'linadi. Shuningdek, TDMA usuli boshqa ko'p tomonlama ulanish usullari bilan bir qatorda, UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) va LTE (Long Term Evolution) standartlarida qo'llaniladi.

Tizimning sig'imini oshirish uchun tashuvchilar sonini oshirish talab qilinadi. 4.4- rasmda tizimning sig'imi 9 ta abonentlarga oshirilgan, 9 ta kishilar bir vaqtning o'zida har bir chastotada va har bir kadrda taymslotlarda 3 tadan abonentlar muzokaralar olib borishi mumkin.

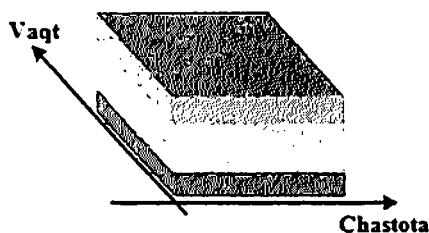


4.4- rasm. Bir vaqtning o'zida TDMA va FDMA usullarining ishlatilishi

4.3. Kanallar vaqt bo'yicha ajratiladigan ko'p tomonlama ulanish usullari

4.3.1. CDMA kanallar vaqt bo'yicha ajratiladigan ko'p tomonlama ulanish usuli

Bu usul boshqa ikkita eng keng tarqalgan kanallarni ajratish usullaridan shu bilan farq qiladiki, vaqt va chastotadan farqli ravishda kodlar aloqa kanalining yaqqol resurslari hisoblanmaydi (4.5- rasm) [9].



4.5- rasm. CDMA usulini tashkil etish prinsipi

Amalga oshirishning murakkabligiga qaramay, bu usul radioaloqada uzoq vaqtdan beri qo'llanilib kelinmoqda, chunki boshqa ulanish usullari ega bo'lmagan juda muhim afzalliklarga ega.

CDMA prinsipi shundan iboratki, har bir ma'lumotlar manbaiga individual kod beriladi, bu kod yordamida u uzatiladigan xabarni kodlaydi. Ma'lumotlarni qabul qiluvchi ham bu kodni ham biladi va uning vazifasi boshqa butun xabarlar oqimidan istalgan jo'natuvchining kodlangan xabarini ajratishdan iborat bo'ladi. Butun murakkablik shunda, chunki kodlar bir-birlariga, hatto xabarlar vaqtincha o'zgartirilsa ham iloji boricha kam o'xshash bo'lishi kerak. Matematik tilda "o'xshashlik" xususiyati korrelyatsiya deyiladi.

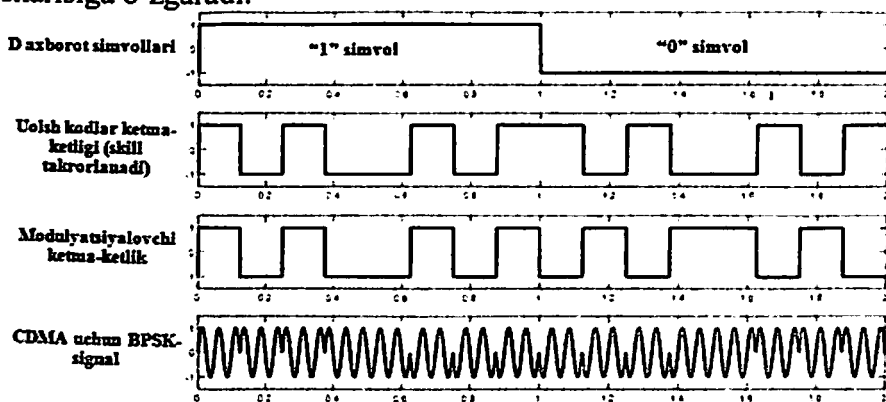
Shunday qilib, kodlangan xabarlar iloji boricha kam korrelyatsiyaga ega bo'lishi kerak. Bunday xususiyatlarga o'zaro skalyar ko'paytmasi 0 ga teng bo'lgan ortogonal kodlar ega. Amalda, to'liq ortogonal kodlar emas, balki deyarli ortogonal kodlar olinishi mumkin. Bu shuni anglatadiki, ortogonal ko'paytma 0 ga intiladi, lekin unga yetib bormaydi, bu tizimning barqaror ishlashi uchun yetarli bo'ladi, ammo, o'z navbatida, ma'lum cheklavlarni qo'yadi.

Nazariyada, agar cheksiz sonli to'liq ortogonal kodlarni generatsiyalash mumkin bo'lsa, u holda bitta aloqa kanalida bir vaqtning o'zida cheksiz abonentlar soni ishlashi mumkin bo'lar edi. Kodlarning to'liq bo'lmagan ortogonaligi tufayli turli manbalardan kelgan signallar bir-birlariga halaqitlarni hosil qilishi berishi mumkin. Binobarin, signalning quvvati qanchalik yuqori bo'lsa, ta'sir shunchalik sezilarli bo'ladi. Shuning uchun, CDMAli tizimda bir vaqtning o'zida ishlaydigan abonentlar soni va maksimal bo'lishi mumkin uzatish quvvati cheklangan.

BPSK signallar va Uolsh kodlari misolida kanallarni kod bo'yicha ajratish uchun signal qanday shakllantirilishini ko'rib chiqamiz (4.6-rasm). Har bir abonentga o'z Uolsh ketma-ketligi tayinlanadi. Birinchi

ossillogrammada axborot signali, ya'ni foydali ma'lumotlar tasvirlangan. Axborot signali Uolsh kodli ketma-ketligiga (ikkinchi ossillogramma) ko'paytiriladi. Uolsh ketma-ketligida uzunlik mavjud, har bir ketma-ketlikda 8 ta impulslar mavjud. Ketma-ketlikning butun uzunligi simvolning uzunligiga sig'ishi kerak. Ketma-ketlik davomiyligi = simvol davomiyligi bo'lishi kerak.

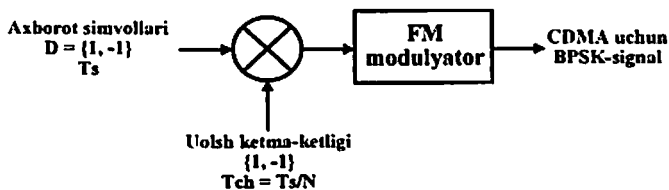
Keyingi simvolni uzatish boshlanganda, kodlar ketma-ketligi yana simvoldan-simvolga siklli takrorlana boshlaydi. "1" va "0" simvollarini Uolsh kodlar ketma-ketligiga ko'paytirganda, modulyatsiyalovchi ketma-ketlikni (3-ossillogramma) olamiz. Uchinchi ossillogramma modulyatorga beriladi. Agar simvol "1" bo'lsa, u holda kodlar ketma-ketligi o'zgaraydi. Agar simvol "0" bo'lsa, u holda ketma-ketlik teskarisiga o'zgaradi.



4.6- rasm. BPSK signallar va Uolsh kodlari orqali kanallarni kod bo'yicha ajratish uchun signalni shakllantirish

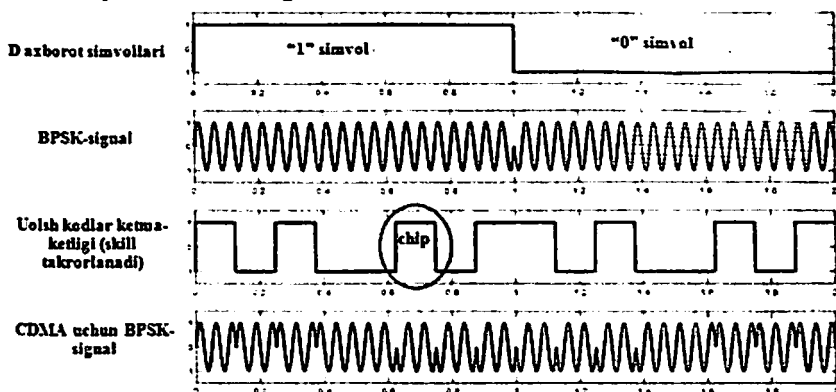
Uchinchi ossillogramma modulyatorga berilganda, ikkilik fazaviy modulyatsiyalashli (BPSK) signal hosil bo'ladi, ammo bu yerda faza har bir axborot simvolida o'zgaraydi, balki kodli ketma-ketlik impulslarining kelishi chastotasi bilan aniqlanadi. Manipulyatsiyalash tezligi garmonik signalning parametrlari qanchalik tez-tez o'zgarishi hisoblanadi. Bu holda faza o'zgaradi. Bu yerda manipulyatsiyalash tezligi simvolli tezlikdan 8 marta katta bo'ladi.

4.7-rasmdagi (1-usul) Uolsh ketma-ketligida T_s – axborot simvolining davomiyligi va T_{ch} chipning davomiyligi, N - kodli ketma-ketlikning (KK) davomiyligi hisoblanadi. Chipning davomiyligi simvolning davomiyligidan 8 marta kichik bo'ladi.



4.7- rasm. CDMA modulyatorining tuzilishi

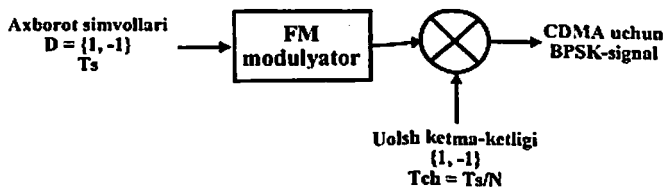
CDMA signalni shakllantirishning ikkinchi usulini ko'rib chiqamiz (4.8-rasm). Ko'paytirish tartibi o'zgartiriladi. Kodli ketma-ketlikning bitta impulsi *chip* deyiladi. Masalan, 4.8-rasmdagi ketma-ketlik 8 chiplarni o'z ichiga oladi.



4.8-rasm. CDMA signalni shakllantirishning ikkinchi usuli

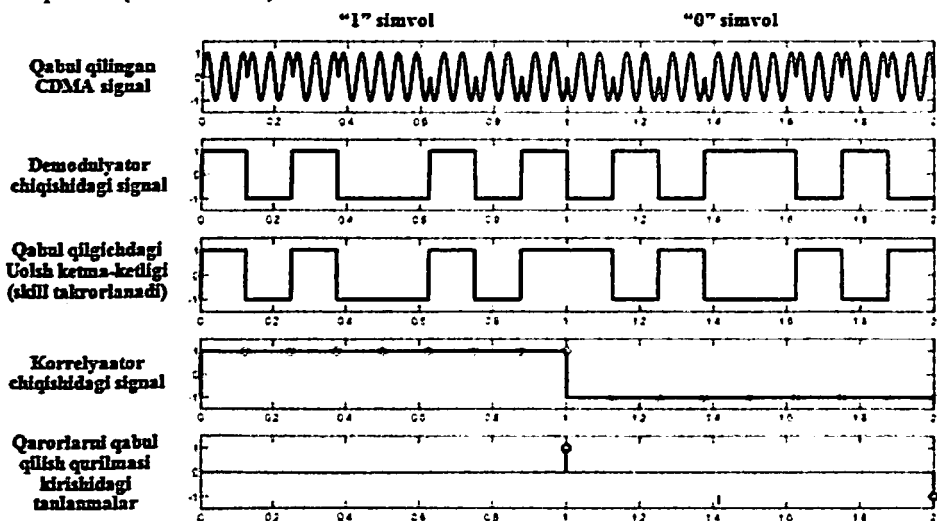
Axborot simvollarini (1-ossillogramma) fazaviy modulyatorga beriladi va keyin signal (2-ossillogramma) Uolsh kodli ketma-ketligi (3-ossillogramma) bilan ko'paytiriladi. Bu misolda amallarning tartibi o'zgartirildi, ammo natija bir xil bo'ladi.

Ikkinchi usulda signal avval modulyatorga beriladi, keyin Uolsh ketma-ketligiga ko'paytirildi (4.9-rasm).



4.9- rasm. CDMA signalni shakllantirishning ikkinchi usulida CDMA modulyatorining tuzilmasi

Endi signal qanday qabul qilinishi va demodulyatsiyalanishi ko'rib chiqamiz (4.10- rasm).



4.10- rasm. CDMA signalni qabul qilinishi va demodulyatsiyalanishi

Ikkilik fazaviy modulyatsiyalangan qabul qilingan CDMA signal (1-ossillogramma) mavjud, avval u fazaviy demodulyatorga (2-ossillogramma) beriladi, ikkilik ketma-ketliklar olinadi va uni (2-ossillogramma) siklli takrorlanadigan Uolsh KKga (3-ossillogramma) ko'paytirish kerak bo'ladi. Bunday holda qabul qilgichdagi ketma-ketlik yordamida signal shakllantirilgan transmitterdagi ketma-ketlik bilan bir xil bo'ladi. Bu holda 2-ossillogramma va 3-ossillogrammalarni ko'paytirish natijasi korrelyator chiqishidagi signalni (4-ossillogramma) beradi.

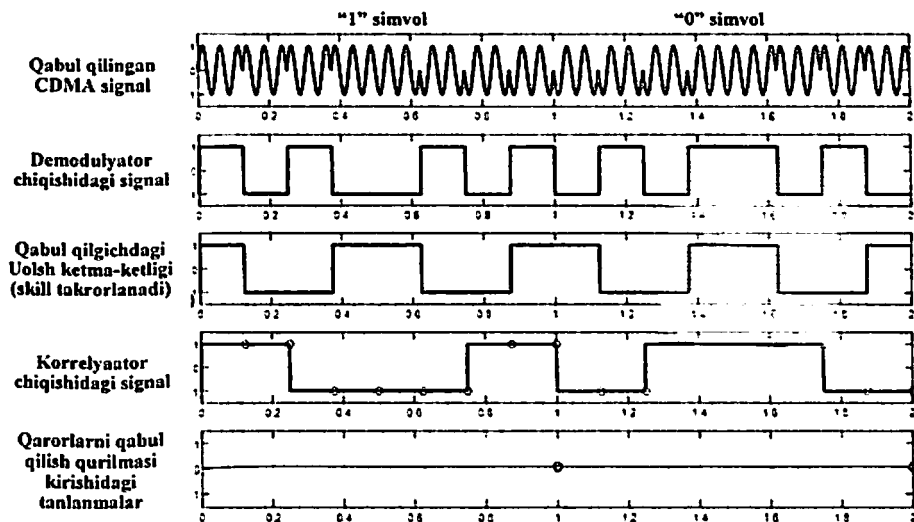
Hali demodulyatsiyalash jarayoni tugamadi. Olingan signal (2-ossillogramma) va Uolsh KK (3-ossillogramma) o'zaro ko'paytirildi, endi barchasini qo'shish kerak. Agar nuqtalardan har biri (4-ossillogramma) $S_1, S_2, S_3 \dots S_8$ bilan belgilangan bo'lsa, bu ko'paytirish natijasi bo'ladi. Keyin bu nuqtalarning barchasini qo'shish kerak. Me'yorlashtirish uchun barchasini N ga bo'lish kerak:

$$\frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N S_j \quad (4.1)$$

"1" simvol uzatildi va chiqishda "1" simvol qabul qilindi va "0" simvol uzatildi va chiqishda "-1" olindi. Qaror qabul qilish chegarasi

mavjud bo'lib, agar impuls bo'sag'adan yuqori bo'lsa, "1" simvol qabul qilingan hisoblanadi, impuls bo'sag'adan past bo'lsa, "0" simvol qabul qilingan hisoblanadi (5-ossillogramma).

Keyingi misolni ko'rib chiqamiz. Bunda uzatkichdagi shakllantirish ketma-ketligi qabul qilgichdagi ketma-ketlikka mos kelmaydi (4.11- rasm).



Qabul qilingan signal demodulyatorga (2-ossillogramma) berildi va demodulyatsiyalangan ketma-ketliklar olindi. Protsedura takrorlanadi, avval ko'paytiriladi (4-ossillogramma), keyin qo'shiladi (5-ossillogramma), natijada "0" simvol olinadi. Agar qabul qilgich va uzatkichdagi Uolsh ketma-ketliklari mos kelmasa, qabul qilgich uzatkichdan bunday signalni qabul qilmaydi. Uolsh ketma-ketliklari mos tushsa, signal qayta tiklanadi.

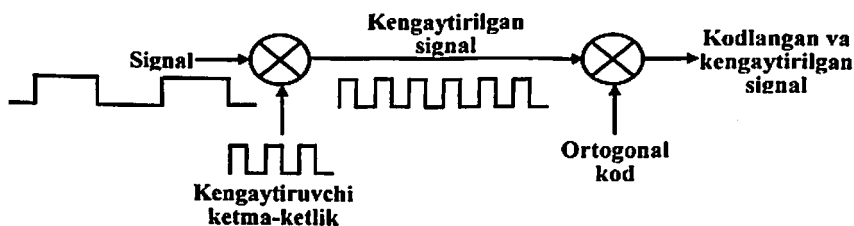
CDMA usuli asosan radioulanish tizimlarida ishlatiladi, chunki undan simli tizimlarda foydalanish qabul qilgich/uzatkichlarining yuqori murakkabligi va narxi tufayli maqsadga muvofiq emas. Sotali aloqada CDMA prinsipi 2G va 3G standartlarida qo'llaniladi. Xususan, CDMA 2000 standarti bazaviy stansiya (BS) va mobil qurilma (MS) orasidagi oraliqda bu ko'p tomonlama ulanish usulini o'z ichiga oladi.

4.3.2. WCDMA kanallar kod bo'yicha ajratiladigan keng polosali ko'p tomonlama ulanish usuli

Yuqorida aytilganidek, bu texnologiya CDMA usulining bir turi hisoblanadi. Uning CDMA usulidan asosiy farqi signalni efirga uzatilishidan oldin amalga oshiriladigan qo'shimcha operatsiya – kengaytirish hisoblanadi [4].

WCDMA usulining umumiy prinsiplarini ko'rib chiqamiz. Dastlab ma'lumotlar manбайдan olingan ma'lumotlar kengaytiriladi. Bu yerda gap signal spektrini kengaytirish haqida bormoqda, uning asosiy maqsadi signal energiyasini keng chastotalar polosasida taqsimlashdan iborat. Bunga foydali signalning har bir bitini maxsus kengaytiruvchi ketma-ketlika ko'paytirish orqali erishiladi. Bu protsedura kengaytirish (ingizcha spreading) nomini oldi. Shu tufayli signalning tezligi oshadi, impulslarning uzunligi kamayadi (endi ular chiplar deyiladi) va natijada egallanadigan chastotalar polosasi kengayadi. Kengaytirishdan keyin CDMA usulidagiga o'xshash protsedura - signalni maxsus ortogonal kod bilan kodlash amalga oshiriladi. Bu protsedura qabul qilish uchida ma'lumotlar manbalarini ajratish va talab qilinadigan signalni ajratish uchun kerak bo'ladi (4.12-rasm).

Qabul qilish uchida yuqorida ko'rsatilgan protseduralar teskari bajariladi. Dastlab signal ortogonal koddan ajratib olish va signal aynan bu oluvchiga jo'natilganligiga ishonch hosil qilish uchun signal dekodlanadi. Bundan keyin xabarlarini qabul qiluvchi kengaytirishga teskari protsedura - despreading (toraytirish) protsedurasini amalga oshiradi. Bunda signal kengaytiruvchi ketma-ketlikka teskari ketma-ketlikka ko'paytiriladi, ya'ni "1" "0" bilan va "0" "1" bilan almashtirildi. Bu protsedura ma'lumotlarni oluvchiga keyingi uzatish uchun foydali signalni ajratib olish va uning spektrini toraytirishga imkon beradi.



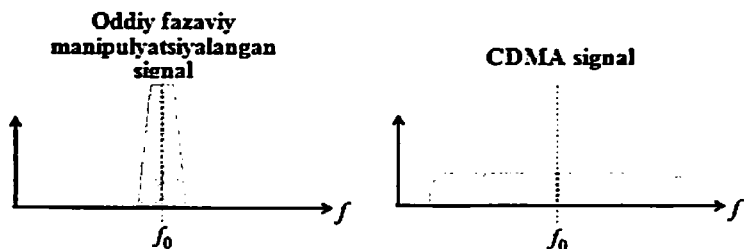
4.12- rasm. WCDMA uzatkichining tuzilmasi

Kengaytirish operatsiyasining asosiy maqsadi radioefirda, ayniqsa sanoat zonalarida juda ko'p tarqaladigan tor chastotali (selektiv) halaqitlarning (asosiy manbalari - elektr payvandlash, generatorlar, transformatorlar) ta'sirini kamaytirishdan iborat. Masalan, GSM standartidagi (TDMA va FDMA texnologiyalar) tor spektrli signalga bunday halaqitlar katta buzilishlarga olib kelishi mumkin, bu foydali ma'lumotlarning qisman yoki to'liq yo'qolishiga olib kelishi mumkin.

Keng chastotali signal uchun selektiv halaqitlar qo'rqinchli emas, chunki ular foydali signalning juda kichik, sezilarsiz qismiga zarar yetkazishi mumkin. Signalni kichik yo'qotishlar mavjud xatoliklardan himoyalash usullaridan foydalanish bilan osongina kompensatsiyalanadi, shu bilan bir vaqtda katta hajmdagi ma'lumotlarning yo'qotilishi esa tez-tez takroran uzatishga va ma'lumotlarni uzatishdagi kechikishlarga olib keladi. Bundan tashqari, signalning keng polosaliligi xavfsizlikni oshiradi, chunki signalning yakuniy quvvati fon shovqinidan past bo'ladi va xabar qoplangan shovqin fonida ko'rinmaydigan bo'lib qoladi.

Nimaning hisobiga spektr kengayishini ko'rib chiqamiz. Agar axborot signali to'g'ridan-to'g'ri fazaviy modulyatorga berilsa, manipulyatsiyalash tezligi axborot simvoli tezligiga mos kelar edi. Lekin axborot signali Uolsh KK bilan ko'paytirilishi va KK 8 marta tezroq bo'lishi tufayli, manipulyatsiyalash tezligi ham 8 baravar tezroq bo'ladi. Faza o'z pozitsiyasini 8 marta tez-tez o'zgartiradi. Spektr N marta kengayadi, bu yerda N - kodli ketma-ketlikning uzunligi.

4.13-rasmda oddiy fazaviy manipulyatsiyalangan signal va CDMA signalning spektri ko'rsatilgan. Ulardagi o'rtacha quvvat o'zgarmas. Grafiklar bir xil maydonga ega. Spektral quvvat zichligi bo'yicha o'rtacha signal quvvatini aniqlash uchun maydonni hisoblash kerak. Agar maydon o'zgarmas bo'lsa, agar u kenglik bo'yicha cho'zilsa, balandlik mos ravishda kamayishi kerak. Kengaytirilgan spektrli tizimlar chastotaviy-selektiv so'nishlar bo'yicha tor polosali halaqitlarga chidamliroq. Kanallar kod bo'yicha aytilganda, spektrni kengaytirish yon ta'sir sifatida bo'lib o'tadi, chunki manipulyatsiyalash tezligi oshadi.

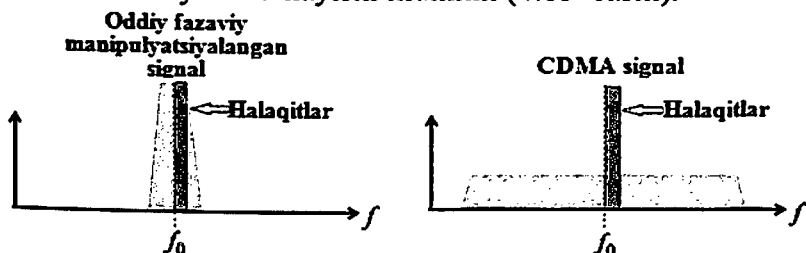


4.13- rasm. Oddiy fazaviy manipulyatsiyalangan signal va CDMA signal spektri

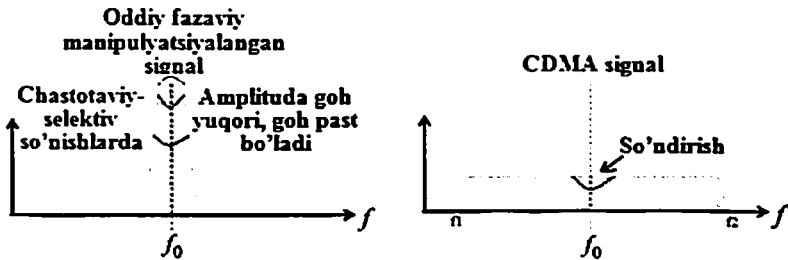
Kengaytirilgan spektr qator afzalliklarni beradi. Tor polosali halaqitlar spektr kengligi signal kengligidan ancha tor bo'lgan halaqitlar hisoblanadi.

4.14-rasmda tor plosali halaqitlarga ega bo'lgan kengaytirilgan yoki kengaytirilmagan spektrlar keltirilgan. 4.14- rasmdan kengaytirilgan yoki kengaytirilmagan spektrning qaysi qismini tor polosali halaqitlar shikastlashi ko'rinib turibdi. Ko'rinib turibdiki, kengaytirilgan spektrda kengaytirilmagan spektrga qaraganda umuman kichik qismi shikastlanadi.

So'nishlar ko'p nurli tarqalishda paydo bo'ladi, bunda signallar ko'plab obyektlardan qaytadi va uzatkichga turli fazalardagi nurlar to'plami keladi va ular turli fazalarda qo'shilganda ularning amplitudasi ortishi yoki kamayishi mumkin (4.15- rasm).



4.14- rasm. Tor plosali halaqitlarga ega bo'lgan kengaytirilgan yoki kengaytirilmagan spektrlar



4.15-rasm. Oddiy fazaviy manipulyatsiyalangan signal va CDMA signal spektrida so'nishlar ta'siri

Signal spektri tor polosali bo'lsa, u holda so'nishlar tufayli signal shovqinlarda yo'qolguncha uning amplitudasi o'zgaradi va signalni demodulyatsiyalash imkoniyati yo'qoladi. Signalni spektri keng, megagerslar, o'nlab MGslardan katta bo'lsa, signal barcha chastotalarda emas, o'sha bir fazalarda qo'shiladi. Nurlar bir xil kechikish bilan keladi, vaqt bo'yicha kechikish f_1 va f_2 chastotalarda kechikish turli fazaviy surilishlarga aylanadi.

WCDMA texnologiyasi UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) sotali aloqa standarti tizimi ulanish tarmog'ining asosiga qo'yilgan. Ba'zan bu atama orqali hatto ulanish tarmog'ining o'zi nomlanadi, garchi standartda u UTRAN deyiladi. UMTS standartida WCDMA texnologisidan foydalanish ma'lumotlarni uzatish tezligini GSM standartidagiga nisbatan 20 baravarga oshirish imkonini berdi.

Quyidagi 4.1- jadvalda asosiy ko'p tomonlama usullari va ularning qisqacha xarakteristikalari keltirilgan [4].

4.1- jadval

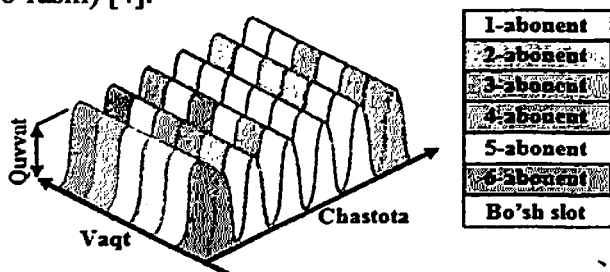
Ko'p tomonlama usullarini taqqoslash

Ulanish usuli	Bo'linadigan resurs	Afzalliklari
FDMA	Chastota	Ishlatishda oddiy
TDMA	Vaqt	Mashtablanuvchanlik
CDMA	Kod	Kanal resurslaridan maksimal foydalanish
WCDMA	Kod	Kanal resurslaridan maksimal foydalanish, halaqitbardoshlik, xavfsizlik

4.4. Boshqa ko'p tomonlama ulanish texnologiyalari

OFDMA texnologiyasi

Ortogonal nimtashuvchilarga ega bo'lgan ko'p tomonlama ulanish tizimida chastotalar diapazoni bir xil kenglikdagi bir nechta kanallarga bo'linadi va vaqt shkalasida teng vaqt intervallari – taymslotlar ajratiladi. Olingan chastota-vaqt tekisligi tashqi tomondan shaxmat taxtasiga o'xshaydi. Keyin har bir abonentga bitta chastotalar kanalidagi taymslot bo'lgan alohida yacheykalar ajratilishi mumkin. Bo'sh resurslar mavjud bo'lsa va katta abonentlar trafigi bo'lsa, ma'lum bir abonentga taymslot doirasida bir nechta chastotalar kanallari ajratilishi mumkin (4.16-rasm) [4].

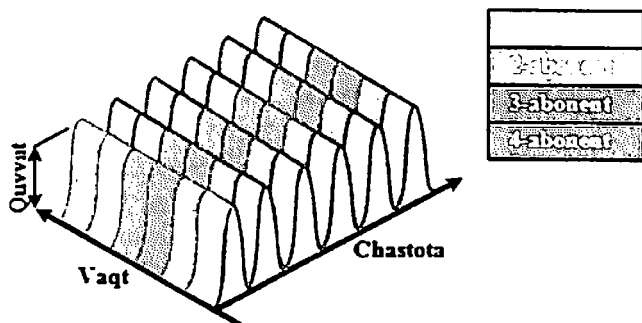


4.16-rasm. OFDMA usulida resurslarning taqsimlanishi

Abonentlar orasida resurslarni taqsimlash ajratilgan chastotalar kanalida yoki ajratilgan chastotalar kanalining ma'lum taymslotlarida amalga oshiriladigan xizmat ma'lumotlarini almashish orqali amalga oshiriladi. Shunday qilib, har bir abonent belgilangan chastotalar kanali/taymslotda xizmat ma'lumotlarini almashlashadi va foydalanish ma'lumotlarini almashish uchun unga qo'shimcha ajratilgan resurslardan foydalanadi.

SC-FDMA texnologiyasi

Bitta tashuvchidagi kanallar chastota bo'yicha ajratiladigan ko'p tomonlama ulanish usulida OFDMAga o'xshash chastota-vaqt resurslari to'ri quriladi, lekin foydalanuvchilarga barcha nimtashuvchilarda taymslotlar yaxlit taqdim etiladi (4.17- rasm) [4].



4.17-rasm. SC-FDMA texnologiyasining ishlash sxemasi

Shunday qilib, vaqt bo'yicha abonentlarni izolyatsiyalash amalga oshiriladi. Bu ko'p tomonlama sxemasining TDMA sxemasidan farqi shundaki, har bir chastotalar kanalda past modulyatsiyalash darajasi ishlatiladi, bu tizimning energetik samaradorligini oshiradi va ko'plab chastotalar kanallar hisobiga umumiy uzatish tezligini saqlaydi.

CSMA/CA texnologiyasi

Tashuvchi nazorat qilinadigan va kolliziyalarning oldi olinadigan ko'p tomonlama ulanish usuli TDMA usulining bir turi hisoblanadi, lekin resurslarni boshqarish yagona markazi mavjud emas va muhitga ulanish tasodifiy xarakterga ega. Muhitga ulanishda quyidagi prinsiplar ishlatiladi [4]:

- **tashuvchini oldindan tekshirish prinsipi** (qurilma uzatish boshlanishidan oldin efirni tekshiradi va agar stansiyalardan biri ma'lumotlarni uzatayotgan bo'lsa, uzatish jarayonini tasodifiy vaqt Intervaliga qoldiradi);

- **jam-signaldan foydalanish** (agar efir bo'sh bo'lsa, stansiya boshqa stansiyalarga yaqinlashib kelayotgan ma'lumot uzatilishi to'g'risida signal beradigan jam-signalini jo'natadi. jam-signalni uzatgandan so'ng, stansiya davomida boshqa stansiyadan jam-signalini olishi mumkin bo'lgan vaqt oralig'ida kutib turadi va uzatishni boshlaydi);

- **jam-signallarni aniqlash** (agar stansiya ma'lumotlarni uzatishni boshlasa va boshqa stansiyadan jam-signalni aniqlasa, u holda u uzatish jarayonini to'xtatadi).

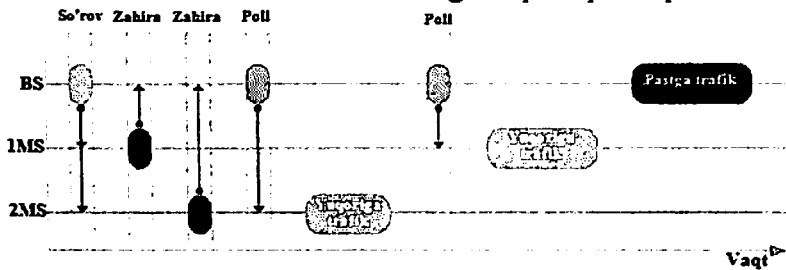
Polling

Polling – bu bazasini bazaviy stansiyalar sektoriga ma'lumotlarni uzatish uchun muhitga abonent stansiyalarining markerli ulanish

texnologiyasi hisoblanadi. CSMA/CA texnologiyasidan farqli ravishda polling tizimlarining ishlash prinsipi bazaviy stansiya sektori qurilmalar orasida xizmat paketlari, markerlarni markazlashtirilgan taqsimlash bilan abonent qurilmalari uchun arbitr rolini o'ynaydi. Sektor xizmat so'rovlarini uzatish bilan abonent qurilmalaridan ma'lumotlarni uzatish uchun ma'lumotlar mavjudligini ketma-ket so'raydi [4].

Abonentlar qurilmasi xizmat markerini olmaguncha ma'lumotlarni uzatishni boshlay olmaydi. Shunday qilib, pollingdan foydalanish yuqori yuklamalar va abonentlar stansiyalari signallari sathlarining nomutanosibliigi sharoitlarida kanalning barqarorligi va o'tkazish qobiliyatini oshirishga imkon beradi. Tarmoqning simsiz segmentida muhitni markazlashtirilgan boshqarishda kolliziyalar bo'lmaydi va arbitr ehtiyojlariga bog'liq ravishda abonentlar orasida resurslarni dinamik taqsimlash imkoniyatiga ega bo'ladi.

4.18-rasmda BS bazaviy stansiyalari sektorining ikkita 1MS va 2MS abonent stansiyalari bilan pollingdan foydalangan holda ishlash sxemasi tasvirlangan. Birinchi bosqichda BS o'z navbatida uzatishga ma'lumotlarga ega bo'lgan MSlardan efir vaqtini band qilish bo'yicha so'rovlarni qabul qilish bilan abonentlarga so'rovlarni uzatadi. Ikkinchi bosqichda, sektor yuklama, aloqa sifati va boshqalar kabi qator omillarga asoslanish bilan birinchi navbatda abonentlar stansiyalaridan qaysi biri ma'lumotlarni uzatishi kerakligi haqida qaror qiladi.

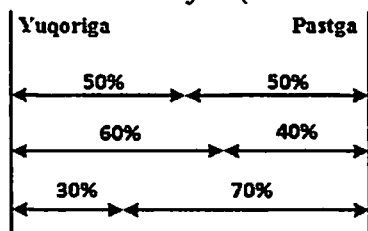


4.18- rasm. Pollingning ishlash sxemasi

Masalan, 4.18-rasmda 1MS sektorga birinchi bo'lib javob bergan, ammo uzatish uchun birinchi markerni 2MS oladi va bundan keyingina 1MS oladi. Shuni ta'kidlash kerakki, markerlar bilan faqat yuqoriga kanaldagi uzatish boshqariladi, sektordan abonent stansiyalariga ma'lumotlarni uzatish uchun esa marker kerak emas.

Abonentlar orasida mumkin resurslarni taqsimlashdan tashqari, ularning talablariga bog'liq ravishda resurslar yuqoriga va pastga

kanallari orasida turli nisbatlarda taqsimlanishi mumkin. Bu sozlama TDMA va OFDMA tizimlarida mavjud (4.19- rasm).



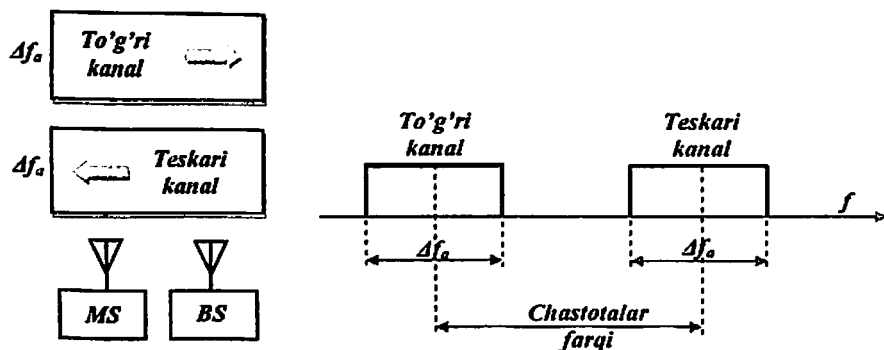
4.19-rasm. Pastga va yuqoriga kanallar orasida resurslarni taqsimlash

4.5. Simsiz aloqa tizimlarida dupleks rejimini tashkil qilish

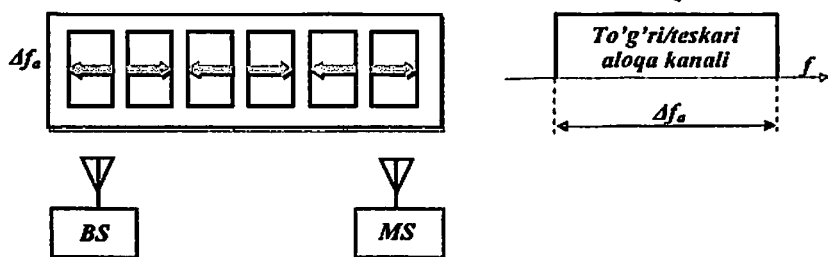
Dupleks (lotincha *duplex* - ikki tomonlama) bu qabul qilgich/uzatkich qurilmalaridan (modemlar, tarmoq kartalari, ratsiyalar, telefonlar va boshqalardan) foydalanish bilan aloqa usuli hisoblanadi [9]. Dupleks aloqa usulini amalga oshiradigan qurilma istalgan vaqtda ma'lumotlarni uzatishi va qabul qilishi mumkin. Uzatish va qabul qilish qurilma tomonidan bir vaqtning o'zida ikkita fizik ajratilgan aloqa kanallari (vaqt bo'yicha ajratish – navbatma-navbat uzatishdan tashqari, alohida o'tkazgichlar, ikkita chastotalar va boshqalar) orqali amalga oshiriladi. Dupleks aloqaga misol shahar telefonidagi ikki kishi orasidagi so'zlashuv bo'lishi mumkin. Har bir so'zlashuvchi bir vaqtning o'zida ham gapirishi, ham boshqa so'zlashuvchini tinglashi mumkin. Ba'zan dupleks aloqa ba'zan to'liq dupleks (inglizcha *full-duplex*) deb ataladi, ular sinonimlar hisoblanadi.

Aniq bir tizimga berilgan yig'indi chastota-vaqt resursini nafaqat ko'p tomonlama ulanishni tashkil etishga, balki dupleks rejimni, ya'ni har ikkala tizimdan abonentga va teskari tomonga yo'nalishlarda parallel axborot almashinuvini ta'minlashga sarflashga to'g'ri keladi. Mobil radioaloqa tizimlarida chastota va vaqt bo'yicha dupleks rejimlari qo'llaniladi. FDD (frequency division duplex) deyiladigan birinchi variantda dupleks juftlik chastota bo'yicha dupleks ajratilgan deyiladigan qandaydir himoya intervali bilan ajratilgan abonentlar kanali polosasi kengligining ikkita chastotalar polosalarini egallaydi. Shunday qilib, abonentlar orasida ma'lumotlarni uzatish va qabul qilish turli chastotalarda amalga oshiriladi. FDDning ishlash prinsipi 4.20-rasmda tasvirlangan. FDD asosida birinchi va ikkinchi avlodlar tizimlari (AMPS, DAMPS, GSM, IS-95 va boshqalar) qurilgan.

Vaqt bo'yicha dupleksda (TDD - time division duplex) ikki tomonlama aloqa uchun uzatish va qabullash kanallari vaqt bo'yicha ajratiladigan o'sha bir tashuvchi ishlatiladi (4.21-rasm). TDD rejimi mavjud sotali aloqa tizimlari uchun xarakterli emas, lekin simsiz telefon standartlarida (CT2, DECT va boshqalar) keng tarqalgan. Bundan tashqari, unga uchinchi avlod UMTS va cdma2000 standartlarida ham ma'lum joy ajratilgan.



4.20-rasm. Chastotalarning dupleks ajratilishini tashkil etish prinsipi

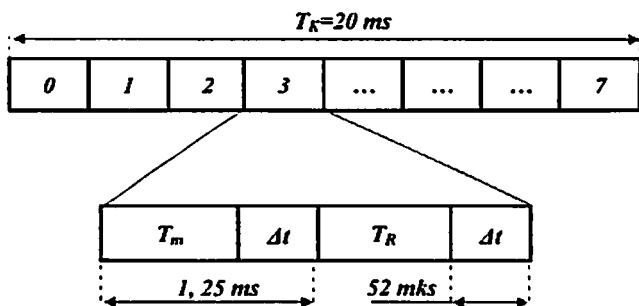


4.21-rasm. Vaqt bo'yicha dupleks ajratishni tashkil etish prinsipi

TDDli tizimlar kanallarining namunaviy tuzilmasini ko'rib chiqamiz. BTS kanal arxitekturasining asosiy elementi $T_r = 20$ ms bo'lib (4.22-rasm), u dupleksni tashkil etishga mo'ljallangan 8 ta juft Intervallarga bo'linadi.

Juftlikning birinchi intervali T_r davomiylikka ega va uzatish uchun ajratiladi. Ikkinchi intervalda (T_R davomiylikdagi) MS signali qabul qilinadi. Istalgan yonma-yon intervallar xizmat ko'rsatish zonasining uzunligi orqali aniqlanadigan Δt davomiylikdagi himoya oraliqlari bilan ajratiladi.

Mobil stansiyalar o'xshash kadrning tuzilmasiga ega bo'ladi, lekin qabullash va uzatish intervallari joylarini almashadi.



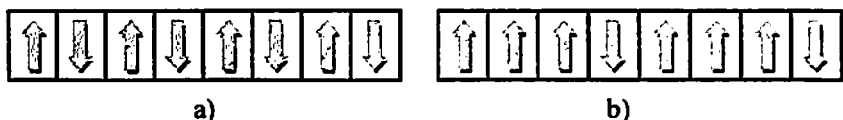
4.22-rasm. CDMA2000 tizimi TDDli aloqa kanali kadrining tuzilmasi

Duplekslashning ikkita variantlarini taqqoslash shunday xulosaga olib keladiki, FDD rejimi sotalarning katta o'lchamlarida va abonentlarning yuqori haakatlanishi tezliklarida samaraliroq, u holda TDDli variant katta darajada mikrosotalarda, ya'ni uncha yuqori bo'lmagan tezliklarda harakatlanadigan abonentlarga xizmat ko'rsatish kichik zonalarida qo'llanish uchun to'g'ri keladi. Binobarin, TDDda "yuqoriga" va "pastga" liniyalari o'sha bir chastotalar polosasini egallar ekan, ulardagi so'nishlar xarakteristikalari yuqori korrelyatsiyalash darajasiga ega bo'ladi, bu nurlantiriladigan quvvatni roslash va fazoviy ajratish jarayonlarini soddalashtirish uchun ishlatilishi mumkin.

Bundan tashqari, TDDga xususiyatli bo'lgan tez moslashuvchan tuzilma, to'g'ri va teskari kanallardagi asimmetrik ma'lumotlar oqimlarida vaqt resurslarini samarali qayta taqsimlashga imkon beradi. Bunday asimmetriya mobil terminallarga Internet tarmog'i bilan aloqa funksiyalari yuklatilishi bilan uchinchi avlod tizimlarida juda xususiy hodisa bo'lib qoladi. Bunday kontakt mobaynida "pastga" liniyadagi trafik teskari yo'nalishdagiga qaraganda aniq to'yingan bo'ladi. Bunda 4.23-rasmda ko'rsatilganidek amal qilish mumkin, u "yuqoriga" va "pastga" liniyalari orasida vaqt resurslarini simmetrik taqsimlanishidan (4.23a-rasm) "pastga" ko'rsatkich MS ma'lumotlarini qabul qilishga, "yuqoriga" ko'rsatkich esa uzatishga javob beradigan vaqt resurslarini asimmetrik taqsimlanishiga (4.23b-rasm) o'tishni sxematik tasvirlaydi.

TDD variantining afzalligi sifatida abonentlar terminalining oddiyroq bir rejimli TDD ishlatilishi imkoniyati ham ko'rilishi mumkin. Har ikkala duplekslash variantlariga mo'ljallangan ikki rejimli

(FDD/TDD) apparatli murakkablashtirishga kelinsa, u holda oddiy FDD-terminalga qaraganda u juda sezilarli emas va iqtisodiy ko'rsatkichlarga chegaraviy ta'sir o'tkazmaydi [9].



3.23-rasm. Aloqa kanalida “yuqoriga” va “pastga” liniyalari orasida vaqt resurslarini simmetrik taqsimlanishi (a) va asimmetrik taqsimlanishi (b)

Yuqorida keltirilganlardan kelib chiqadi, har ikkala ko'rib chiqilgan duplekslash rejimlarining birlashtirilishi bo'yicha Yevropa UMTS loyihasi tavsiyalari juda ratsional hisoblanadi. Bunday yechim tizimga ajratilgan spektral diapazonidan foydalanish qismida tez moslashuvchanlikni beradi va o'tkazish polosasini ishlatish sharoitlariga va xizmatlar xarakteriga moslashtirishga imkon beradi.

Nazorat savollari

1. Simsiz tizimlarda qanday ko'p tomonlama usullari qo'llaniladi?
2. Kanallar chastota bo'yicha ajratiladigan (FDMA) ko'p tomonlama ulanish prinsipini tushuntiring.
3. Kanallar vaqt bo'yicha ajratiladigan (TDMA) ko'p tomonlama ulanish prinsipini tushuntiring.
4. TDMA va FDMA texnologiyalaridan bir vaqtda foydalanishning o'ziga xos xususiyati nimadan iborat?
5. Kanallar kod bo'yicha ajratilgan (CDMA) ko'p tomonlama ulanish prinsipini tushuntiring.
6. Kanallarni kod bo'yicha ajratish uchun signal qanday shakllantiriladi (VRSK-signal va Uolsh kodlari misolida)?
7. CDMA demodulatorining prinsipini tushuntiring.
8. Murakkab CDMA demodulyatorning prinsipini tushuntiring.
9. WCDMA kod bo'yicha ajratilgan ko'p tomonlama keng polosali ulanish usulining o'ziga xos xususiyati nimadan iborat?
10. Kengaytirilgan spektrning afzalliklari nimalardan iborat?
11. OFDMA texnologiyasida chastotalar diapazoni qanday bo'linadi?
12. SC-FDMA texnologiyasining ishlash sxemalarini tushuntiring.

13. CSMA/CA texnologiyasida qanday prinsiplardan foydalaniladi?
14. Pollingning ishlash sxemasini tushuntiring.
15. Chastota bo'yicha dupleks ajratishni tashkil etish prinsipini tushuntiring.
16. Vaqt bo'yicha dupleks ajratishni tashkil etish prinsipi nimadan iborat?

5. SIMSIZ SIGNALNI MODULYATSIYALASH TURLARI

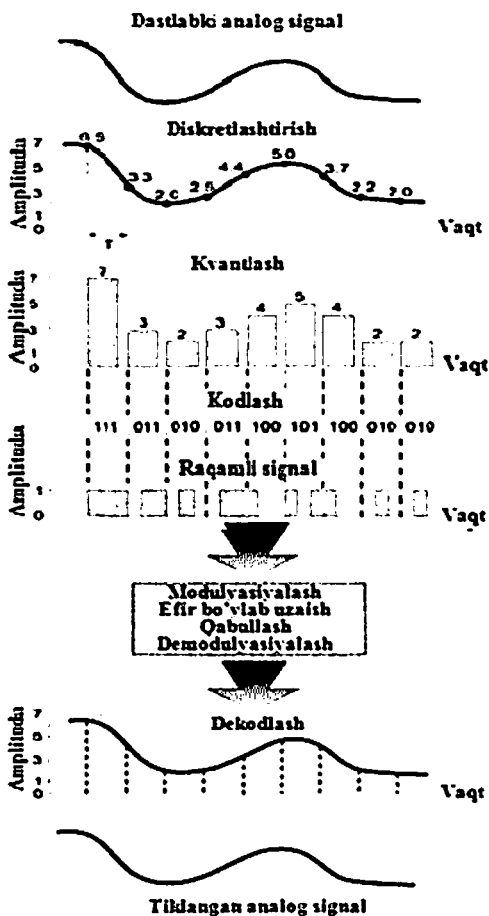
5.1. Raqamli radioaloqa tizimlarida manipulyatsiyalash

Raqamli aloqa texnikasida modulyatsiyalash usullari juda muhim rolni o'ynaydi. O'zining asosiy funksiyasi – simvol–signal o'zgartirishdan tashqari, modulyatsiyalash jarayoni signalni kanalning xarakteristikalarini bilan umumiy moslashtirish jarayonining tarkibiy qismi hisoblanadi. Zamonaviy ko'p pozitsiyali modulyatsiyalash usullari Shennon teoremasiga to'liq muvofiqlikda xabarlar ma'lumotlarini kanalning simvollariga kodlash usuli sifatida qaralishi mumkin. Raqamli televideniye tizimlarida u yoki bu modulyatsiyalash usullarining tanlashning o'ziga xosligi efir uzatish kanallari to'rtinchi berilganligiga, ya'ni mavjud chastotaviy rejalaridan foydalanishga bog'liq [5].

Turli davlatlarda 6, 7 yoki 8 MGs chastotalar polosalarini radiokanallar mumkin hisoblanadi. Bu polosalarda uzatilishi kerak bo'ladigan turli xizmatlar raqamli oqimi normal sharoitlarda turli uzatish tizimlarida 20 Mbit/s va undan yuqorini tashkil etadi.

Analog modulyatsiyalash turlaridagi kabi raqamli modulyatsiyalashda o'zgartiriladigan parametrlar garmonik tebranishlarning amplitudasi, chastotasi va fazasi bo'lishi mumkin. Raqamli modulyatsiyalash usullarining analog modulyatsiyalash usullaridan asosiy farqi bu parametrlarni berilgan qoida bo'yicha uzatiladigan diskret axborot xabariga muvofiq diskret o'zgartirish hisoblanadi. Signal parametrlarini o'zgartirishning diskretligi tufayli raqamli modulyatsiyalash ko'pincha manipulyatsiyalash deyiladi.

Raqamli tarmoqlarda ma'lumotlarni almashlash jarayoni umumiy ko'rinishda quyidagi tarzda bo'lib o'tadi. Ovoz ma'lumotlari (nutq) raqamli formatga o'zgartiriladi, yuqori chastotali signal bilan modulyatsiyalanadi va an'anaviy fizik qonunlarga binoan efirga uzatiladi. Qabul qilish tomonida raqamli signalni dastlabki analog ko'rinishga teskari qayta tiklash jarayoni bo'lib o'tadi (5.1- rasm). Agar dastlabki ma'lumotlar raqamli bo'lsa (ma'lumotlar terminali, kompyuter, raqamli aloqa tarmog'i, Internet va h.k), u holda analog-raqamli o'zgartirish bosqichi bo'lmaydi. To'g'ridan-to'g'ri kodlash/dekodlashdan tashqari, signal ma'lumotlarni yo'qotilishini oldini oladigan qator o'zgartirishlarga uchraydi.



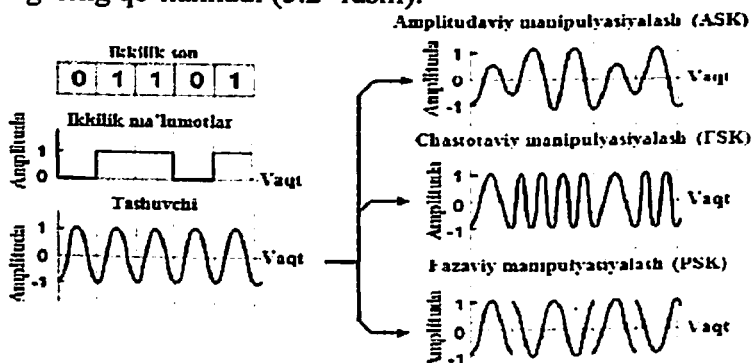
5.1- rasm. Raqamli aloqa tizimlarida analog signallarni o'zgartirish va uzatish prinsipi

Ovozni raqamlashtirish va kodlash jarayoni maxsus qurilma – vokodYer orqali amalga oshiriladi. Aynan unga kodlash algoritmi bog'liq bo'ladi. Turli raqamli aloqa tizimlari turli algoritmlarni ishlatadi va mos ravishda turli vokoderlarda quriladi.

Analog-raqamli o'zgartirish jarayoni kvantlash – uzluksiz kattalikni vaqt, sath bo'yicha yoki har ikkala parametrlar bo'yicha bir vaqtda diskretlashtirish va kodlashni o'z ichiga oladi (5.1-rasm). Kvantlashda uzluksiz kattalik ma'lum qonun bo'yicha ajratilgan va birgalikda dastlabki kattalikni aks ettiradigan uning oniy qiymatlari ketma-ketligiga o'zgartiriladi. Kodlashda kvantlash jarayonida

ajratilgan dastlabki kattalikning oniy qiymatlari o'lchanadi va natijalar raqamli ko'rinishda, bu holda ikkilik kodda qayd etiladi. Qabul qilgichga tushganidan raqamli signal dekodlanadi va raqamli-analog o'zgartirish yordamida dastlabki analog signalga qayta tiklanadi.

Raqamli signalni radiokanal bo'yicha uzatilishi uchun uni yuqori chastotali ko'rinishga o'zgartirish zarur bo'ladi. Buning uchun analog aloqa tizimlardagi kabi modulyatsiyalash (manipulyatsiyalash) xizmat qiladi. 0 va 1 ikkilik simvollar oqimi bo'lgan raqamli signal tashuvchi - o'zgarmas amplitudali va chastotali analog yuqori chastotali signalga qo'shiladi va keyin efir bo'ylab uzatiladi. Uchta manipulyatsiyalash usuli eng keng qo'llaniladi (5.2- rasm).



5.2- rasm. Raqamli signalni uchta manipulyatsiyalash usuli

Amplitudaviy manipulyatsiyalashda (ASK amplitude-shift keying) modulyatsilanadigan to'liq signalning amplitudasini ikkilik ma'lumotlarga muvofiq (masalan, yuqori sathdan pastga) o'zgartiradi. *Chastotaviy manipulyatsiyalashda (FSK frequency-shift keying)* bitlar oqimi ikkita chastotalar orasidagi o'zgarishlar bilan berilgan. *Fazaviy manipulyatsiyalashda (PSK phase-shift keying)* amplituda va chastota o'zgarmasdan qoladi, bitlar oqimi esa modulyatsiyalangan signal fazalarining o'zgarishlari orqali berilgan [5].

Analog aloqa tizimlarining raqamli aloqa tizimlaridan fundamental farqi faqat dastlabki ma'lumotlarni tayyorlash va kodlash usuli hisoblanadi. Radiostansiyalarning radioto'liqlarni qabul qilinishi va uzatilishiga javob beradigan yuqori chastotali qismi esa barcha radioaloqa turlarida deyarli bir xil qoladi. Binobarin, vaziyat birinchi aloqa tizimi namoyish etilgan 1895 yildan buyon o'zgaray kelmoqda. Texnologiyaning barcha yutuqlarida ham fundamental fizik qonunlarga muqobililar hozircha yo'q.

5.2. Amplitudaviy manipulyatsiyalash (ASK)

Eng oddiy manipulyatsiyalash turlaridan biri amplitudaviy manipulyatsiyalash hisoblanadi. Amplitudaviy manipulyatsiyalashda (inglizcha *amplitude shift keying* (ASK)) - tashuvchi tebranishning amplitudasi sakrashiimon o'zgaradi. 5.3-rasmda to'rtta pozitsiyali amplitudaviy manipulyatsiyalashga misol keltirilgan [5].

ASK manipulyatsiyalashda signal quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$M(t) = D(t) \cdot A_0 \sin 2\pi f_0 t + \varphi_0 \quad (5.1)$$

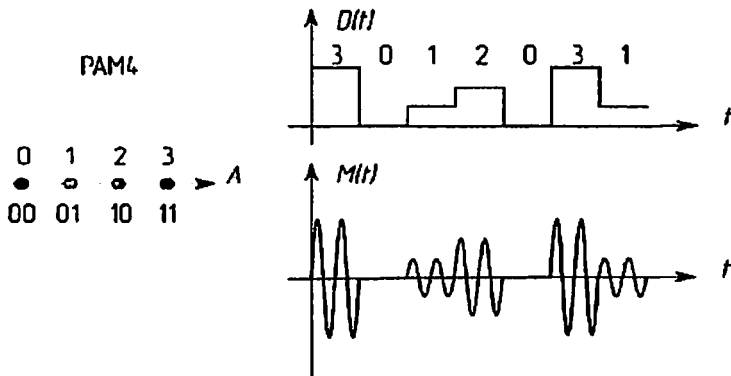
bu yerda $M(t)$ – modulyatsiyalangan signal;

$D(t)$ – uzatish uchun ma'lumotlar;

A_0 – tashuvchi tebranish amplitudasi;

f_0 – tashuvchi tebranish chastotasi;

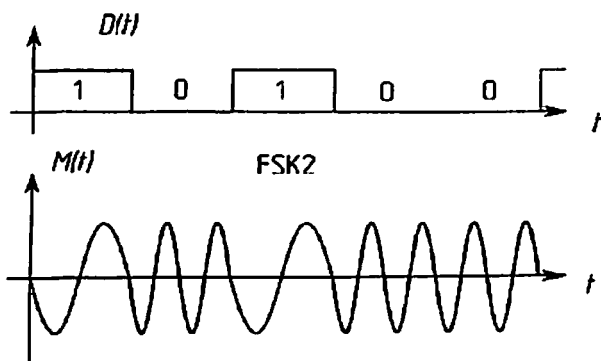
φ_0 – tashuvchi tebranish boshlang'ich fazasi.



5.3- rasm. To'rtta pozitsiyali amplitudaviy manipulyatsiyalashga misol

5.3. Chastotaviy manipulyatsiyalash (FSK)

Manipulyatsiyalashning boshqa turi chastotaviy manipulyatsiyalash (inglizcha *frequency-shift keying*, FSK) hisoblanadi. Bu holda o'zgaradigan parametr garmonik tebranishning chastotasi hisoblanadi (5.4- rasm) [5].



5.4- rasm. Ikkilik chastotaviy manipulyatsiyalash

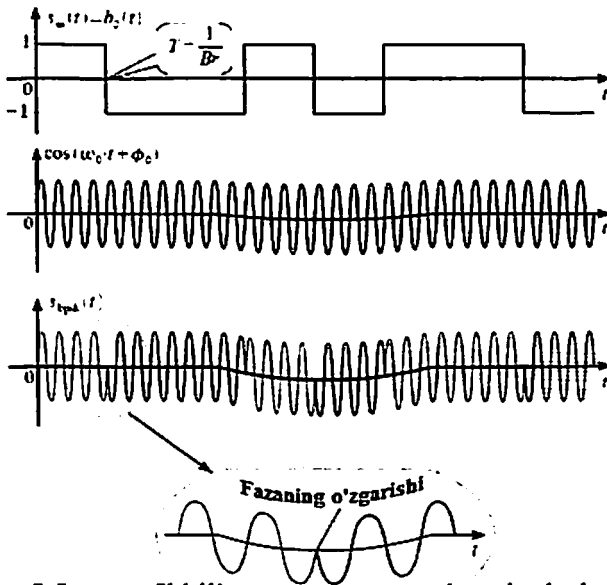
Chastotaviy manipulyatsiyalashda signal quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$M(t) = A_0 \sin(2\pi f_0 t + 2\pi f_d D(t) \cdot \varphi_0) \quad (5.2)$$

bu yerda $M(t)$ – modulyatsiyalangan signal;
 A_0 – tashuvchi tebranish amplitudasi;
 $D(t)$ – uzatish uchun ma'lumotlar;
 f_0 – tashuvchi tebranish chastotasi;
 φ_0 – tashuvchi tebranish boshlang'ich fazasi;
 f_d – chastota deviyatsiyasi.

5.4. Fazaviy manipulyatsiyalash (PSK)

Fazaviy manipulyatsiyalashda (inglizcha *phase-shift keying, PSK*) o'zgaradigan parametr *garmonik tebranishning fazasi* hisoblanadi (5.5-rasm) [5].



5.5-rasm. Ikkilik fazaviy manipulyatsiyalash

Ikkilik fazaviy manipulyatsiyalashda modulyatsiyalangan signal quyidagi ko'inishga ega bo'ladi:

$$\text{If } D(t) = 0 \text{ bo'lganda } M(t) = A_0 \sin 2\pi f_0 t + \varphi_0 \quad (5.3)$$

$$\text{If } D(t) = 1 \text{ bo'lganda } M(t) = A_0 \sin 2\pi f_0 t + \varphi_0 + \pi \quad (5.4)$$

bu yerda $M(t)$ – modulyatsiyalangan signal;

A_0 – tashuvchi tebranish amplitudasi;

$D(t)$ – uzatish uchun ma'lumotlar;

f_0 – tashuvchi tebranish chastotasi;

φ_0 – tashuvchi tebranish boshlang'ich fazasi.

Nazorat savollari

1. Raqamli manipulyatsiyalash jarayonining ma'nosi nimadan iborat?
2. Dastlabki analog signalni raqamli signalga o'zgartirish jarayonini tushuntiring.
3. Raqamli signalni uchta manipulyatsiyalash usullarini tushuntiring.
4. Amplitudaviy manipulyatsiyalash qanday amalga oshiriladi?
5. Chastotaviy manipulyatsiyalash qanday amalga oshiriladi?
6. Fazaviy manipulyatsiyalash qanday amalga oshiriladi?

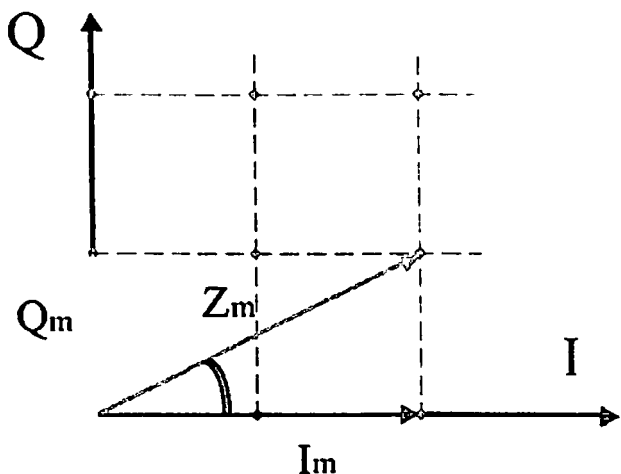
6. KO'P TARTIBLI MODULYATSIYALASH TURLARI

6.1. Kvadraturali amplitudaviy manipulyatsiyalash (QAM)

Har xil manipulyatsiyalash turlari uchun bitta signal doirasida nafaqat 0 va 1 bitlarni, balki ularning kombinatsiyalarini ham uzatishga imkon beradigan usullar mavjud. Bunday usullar ko'p pozitsiyali manipulyatsiyalash usullari deyiladi. Bu usullarning mazmuni shundan iboratki, chiziqli signalning bitta elementi oddiy ikki pozitsiyali usullarga qaraganda ko'proq bitlar soni haqidagi ma'lumotlarni tashiydi. Bu juda oddiy ishlaydi. Masalan, ko'p pozitsiyali amplitudaviy manipulyatsiyalashda 0 yoki 1 bitlarni kodlaydigan 2 ta amplituda emas, balki 4 ta amplituda beramiz, ular amplitudaning ortishi bilan 00, 01, 10, 11 bitlarga mos keladi. Ko'p pozitsiyali chastotaviy manipulyatsiyalash uchun ko'proq chastotalar, ko'p pozitsiyali fazaviy manipulyatsiyalash uchun esa mos ravishda ko'roq faza bo'yicha surilishlar ishlatiladi. Bu haqiqatan ham ma'lumotlarni uzatish solishtirma tezligini oshirishga imkon beradi, lekin bunda uzatish xatoligiga bog'liq bo'lgan xatoliklar vujudga kela boshlaydi [5].

Bugungi kunda kvadraturali amplitudaviy manipulyatsiyalashning (KAM, ingl. *QAM*) har xil turlari keng tarqalgan. Isbotlanganki, kvadraturali amplitudaviy manipulyatsiyalash eng samarali modulyatsiyalash turi hisoblanadi. 2,75G (*EDGE*) avloddan boshlab zamonaviy harakatdagi aloqa tizimlarida yuqori tartiblardagi fazaviy manipulyatsiyalash va kvadraturali amplitudaviy manipulyatsiyalash turlariga o'tish bo'lib o'tdi.

Modulyatsiyalangan signallar xarakteristikalarini tahlil qilishning qulay vositasi ularni signallar turkumi ko'rinishidagi kvadraturali diagrammalar yordamida aks ettirish hisoblanadi. Kompleks eksponensial signalni real va mavhum o'qda aks ettirish I va Q kvadraturalar sonini oldi. I kvadraturali signal real (kosinusoidal) o'qqa proyeksiya hisoblanadi. 6.1-rasmda Q kvadraturali tashkil etuvchi vektorini I sinfaz tashkil etuvchi vektori bilan qo'shish yo'li bilan Z natijaviy tebranishlarni shakllantirish prinsipi tasvirlangan. Z vektor amplitudasi A_m nisbat orqali, bu vektor absissalar o'qi bilan hosil qiladigan burchak esa φ_m nisbat orqali aniqlanadi.



6.1-rasm. I va Q o'qlarda kvadraturali signalni bYerilishi

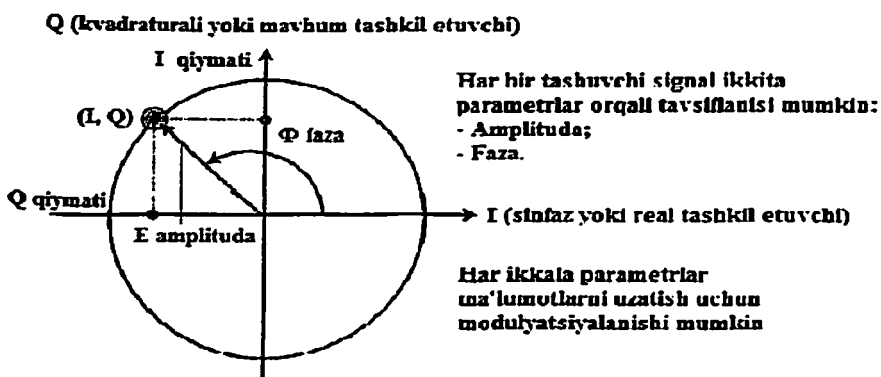
Bu algoritm uchun tashuvchi tebranishning sinfaz va kvadraturali tashkil etuvchilarini modulyatsiyalashda amplitudani o'zgarishi qadamining o'sha bir qiymati ishlatiladi. Shuning uchun modulyatsiyalangan tebranishlar vektorlarining uchlari fazaviy tekislikda modulyatsiyalangan signal vektorining haqiqiy $Re\{Z\}$ va mavhum $Im\{Z\}$ tashkil etuvchilarining to'g'ri burchakli to'rini hosil qiladi. Bu to'r tugunlarining soni ishlatiladigan QAM algoritmi turi orqali aniqlanadi. Modulyatsiyalangan QAM tebranishlar fazaviy tekisligida tugunlarning joylashish sxemasini signallar turkumi (*constellation*) deb atash qabul qilingan.

Raqamli uzatish tizimlari uchun zamonaviy modulyatorlar kvadraturali sxema bo'yicha quriladi. Bunday modulyatorlarda chiqish signali tashuvchilari o'zaro 90° fazaviy surilishga ega bo'lgan ikkita turli modulyatsiyalangan signallarni qo'shish bilan hosil bo'ladi.

Kvadraturali modulyatorlarning ikkita modulyatsiyalovchi signallar kirishlari I va Q bilan belgilanadi:

- I (sinfaz) tashuvchining boshlang'ich fazaviy surilishi 0° ga teng olinadigan kanalga tegishli bo'ladi;

- Q (kvadraturali) tashuvchining boshlang'ich fazaviy surilishi 90° ga teng olinadigan kanalga tegishli bo'ladi (6.2- rasm).

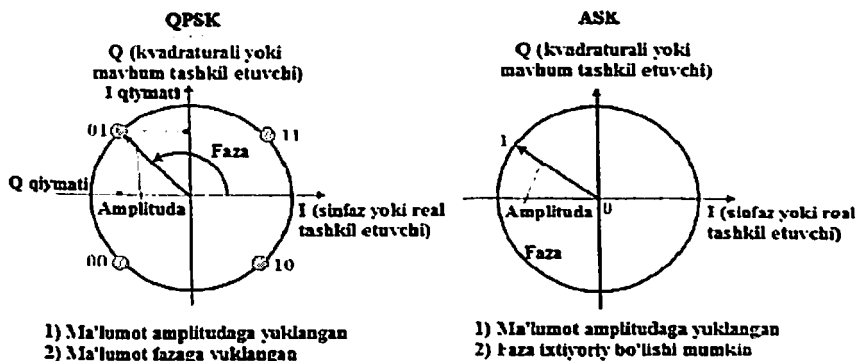


6.2- rasm. Modulyatsiyalangan signalning elektr maydoni kompleks tekislikda I/Q-diagramma yordamida aks ettirilishi mumkin

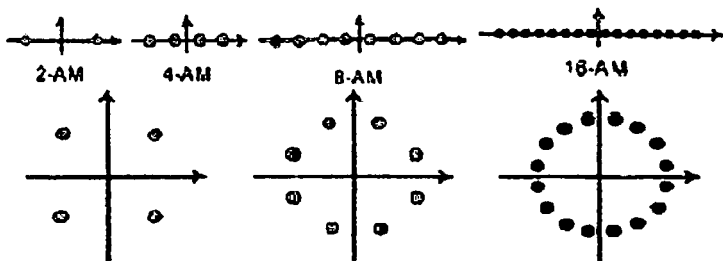
Kvadraturali diagrammaning rasmini soddalashtirish uchun, ayniqsa, zamonaviy ko'p pozitsiyali modulyatsiyalash turlarining signallarini aks ettirishda odatda koordinatalar uchlaridan chiqadigan vektorlarning faqat oxirgi nuqtalari tasvirlanadi, vektorlarning o'zlari esa tushirib qoldiriladi. Ko'pincha figuraning simmetriya markazi orqali o'tishi ko'zda tutilishi bilan I va Q o'qlarning o'zi ham tushirib qoldiriladi. Kvadraturali diagrammada nuqtalar ko'rinishida tasvirlangan modulyatsiyalangan signallarning to'liq to'plami **signallar turkumi** deyildi, signallarning o'zi esa **signallar turkumi nuqtalari** deyiladi. Signallar turkumining shakli modulyatsiyalash turiga mos keladi, signallar turkumi nuqtalari orasidagi masofa esa signali qabul qilishda halaqitbardoshlikni xarakterlaydi.

Oddiy amplitudaviy manipulyatsiyalash (AMn) ham signallar turkumi diagrammasi yordamida berilishi mumkin. Ma'lumotlar faqat amplitudada bo'lganligi bois bitning birlik qiymati E radiusli aylananing istalgan nuqtasida bo'lishi mumkin (6.3-rasm).

Misol sifatida 6.4-rasmda amplitudaviy modulyatsiyalash (AM) uchun bir o'lchamli va fazaviy modulyatsiyalash (FM) uchun ikki o'lchamli bir necha oddiy signallar turkumlari keltirilgan bo'lib, ularning geometrik joylashish nuqtalari mos ravishda to'g'ri chiziq va aylana hisoblanadi.



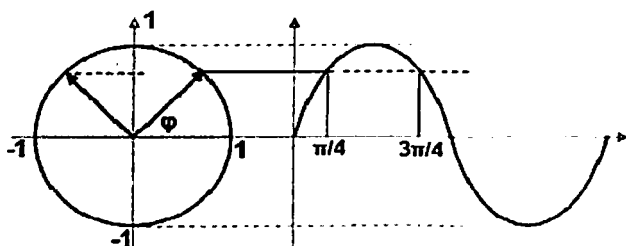
6.3-rasm. QPSK va AMn modulyatsiyalash turlari uchun signallar turkumlarini taqqoslash: AMda faza ixtiyoriy hisoblanadi



6.4- rasm. Amplitudaviy modulyatsiyalash (AM) uchun bir o'lchamli va fazaviy modulyatsiyalash (FM) uchun ikki o'lchamli bir necha oddiy signallar turkumlari

Bu yerda ta'kidlash kerakki, ko'rsatilgan AM signallar turkumi modulyatsiyalovchi signal sifatida qiymatli sathlari nolinch sathga nisbatan simmetrik bo'lgan bipolyar impulslar ishlatilganida olinadi. Manfiy impulslar bilan modulyatsiyalashda bir vaqtda signal fazasi ham qarama-qarshisiga o'zgaradi. Shuning uchun bunday AMga FMning bir turi sifatida qarash mumkin.

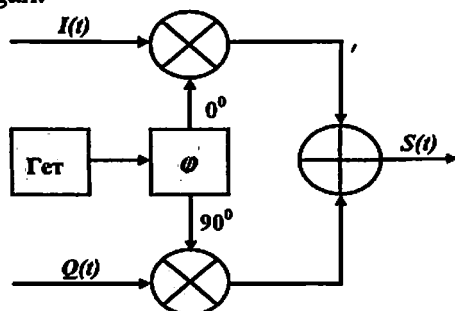
Garmonik signalning signallar turkumi bilan aloqasi 6.5- rasmda keltirilgan.



6.5- rasm. Garmonik signallning signallar turkumi bilan aloqasi

Sinusoidal signalni foydali past chastotali signal bilan amplituda, chastota va faza bo'yicha modulyatsiyalash mumkin. Yigirmanchi asr davomida bir-birlaridan sxemalari va sifat xarakteristikalari orqali farqlanadigan juda ko'plab amplitudaviy, chastotaviy va fazaviy modulyatorlar ishlab chiqildi. Bu xilma-xillik bu modulyatorlarni o'zaro taqqoslashga imkon bermaydi, barcha modulyatorlarning xarakteristikalarini bir vaqtda yaxshilashga imkon bermaydi va eng asosiysi raqamli shaklda qiyin bajariladi. Signalni ikkita kvadraturali ko'rinishlarda berilishi I va Q past chastotali kvadraturali signallarning o'zaro nisbatiga bog'liq ravishda bir vaqtda ham amplitudaviy, ham chastotaviy, ham fazaviy modulyator bo'lishi mumkin. Universal modulyatorni oson yig'ishga imkon beradi.

Tor polosali yuqori chastotali (yoki oraliq chastotali) radiosignalni olishga imkon beradigan modulyatorning sxemasi kvadraturali modulyator nomini oldi. Kvadraturali modulyatorning tuzilish sxemasi 6.6-rasmda keltirilgan.

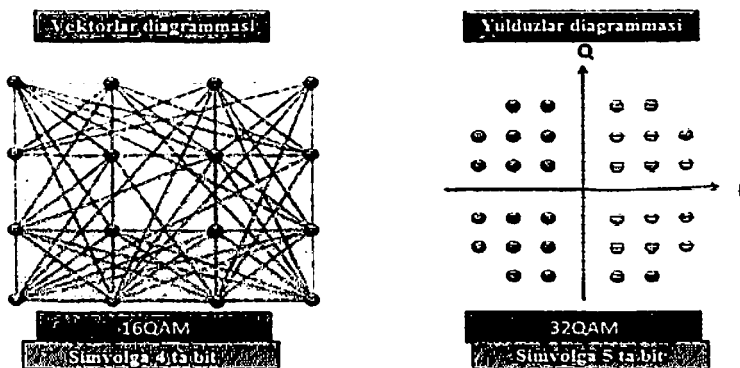


6.6-rasm. Kvadraturali modulyatorning tuzilish sxemasi

Bu sxemada asosiy tugun kvadraturali signalni yuqori chasttaga o'tkazadigan analog ko'paytirgichlar hisoblanadi. Natijaviy signal

analog summatorida qo‘shilganidan keyin chiqishda berilgan qonun bo‘yicha modulyatsiyalangan yuqori chastotali jarayon qoladi.

QAM modulyatsiyalash mikroto‘lqinli raqamli aloqada, *DVB-C* (kabelli keng polosali raqamli televideniye) va modemlarda ishlatiladi. 16-pozitsiyali *QAM*da (16*QAM*da) 4 ta *I* qiymatlar va 4 ta *Q* qiymatlar mavjud bo‘ladi (6.7-rasm).



6.7-rasm. 16*QAM* va 32*QAM* modulyatsiyalash turlarini taqqoslash

Natijada bu signalning 16 ta bo‘lishi mumkin qiymatlarini beradi. Vaqtning har bir momentida signal simvoli bir holtdan boshqasiga o‘tishi mumkin. $16 = 2^4$ bo‘lganligi sababli bitta simvolda 4 bit uzatilishi mumkin (6.1- jadval). *QAM* *I* komponentlar uchun 2 bitga va *Q* komponentlar uchun 2 bitga ega bo‘ladi. bu modulyatsiyalash turi katta uzatish spektral samaradorligiga ega. U *BPSK*, *QPSK* yoki *8PSK* modulyatsiyalashga qaraganda samaradorroq.

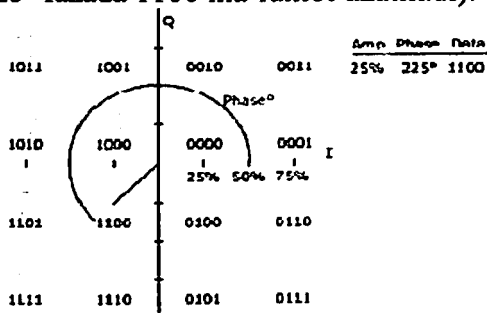
6.1-jadval

Turli manipulyatsiyalash usullarini taqqoslash

Amplitudaviy (ASK - Amplitude Shift Keying)	Chastotaviy (FSK - Frequency Shift Keying)	Fazaviy (PSK - Phase Shift Keying)	Kvadraturali- amplitudaviy (QAM - Quadrature Amplitude Modulation)
Impulslar amplitudasi	Impulslar chastotasi	Tebanishlar fazasi o‘zgaradi	Amplituda va faza bir vaqtda

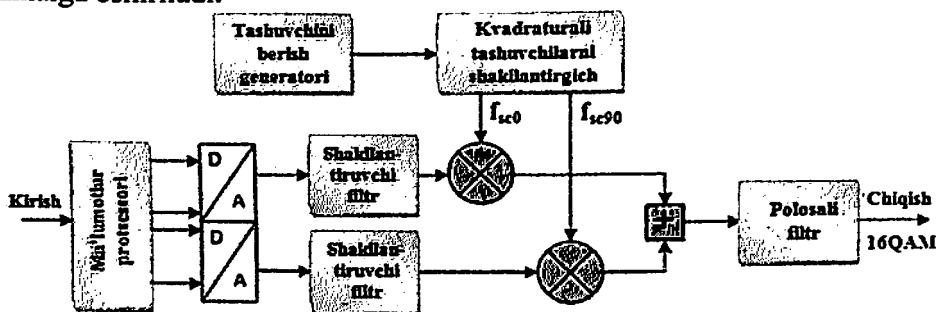
o'zgaradi	o'zgaradi	o'zgaradi	o'zgaradi
“1” uzatilishi uchun katta amplituda, “0” uzatilishi uchun past amplituda ishlatiladi	“1” uzatilishi uchun tebranishlar yuqori chastotasi, “0” uzatilishi uchun past chastotasi ishlatiladi	“1” uzatilishi uchun 90° ga fazani surilishi ishlatiladi	“1” uzatilishi uchun katta amplituda va 90° ga fazani surilishi ishlatiladi

16QAMning ishlash prinsipi simulyatsiyasi 6.8-rasmda keltirilgan bo'lib, unda bitta signalda ma'lumotlar 4 biti uzatiladi (masalan, 25% amplitudada va 225° fazada 1100 ma'lumot uzatiladi).



6.8-rasm. QAM-16ning ishlash prinsipi simulyatsiyasi

16QAM- modulyatorning tuzilish sxemasi esa 6.9-rasmda keltirilgan. Sxemada kirish ma'lumotlar oqimiga dastlab ma'lumotlar protsessorida zarur raqamli ishlov beriladi. Takt chastotasini ajratish, skremblirlash, differensial kodlash, ketma-ket-parallel o'zgartirish amalga oshiriladi.



6.9-rasm. 16QAM modulyatorning tuzilish sxemasi

16QAM modulyatsiyalash 4 bit/(s·Gs) solishtirma uzatish tezligini ta'minlaydi, u holda ma'lumotlar oqimiga raqamli ishlov berishda uni keyingi modulyatsiyalash uchun mos ravishda pasaytirilgan tezlikli 4 ta kichik oqimlarga bo'linadi. Keyin ikkita ikkilik kichik oqimlarni bir vaqtda RFda spektrini shakllantirish bilan to'rtta sathli bitta oqimga raqamli-analog o'zgartirish amalga oshiriladi, bunda impulsarga silliq shakl beriladi.

I va Q kanallardagi to'rtta sathli signallar balansli modulyatorlarni boshqaradi, ularning chiqish signallari ikkita polosali va so'ndirilgan tashuvchili 16QAM signalni hosil qilishi bilan qo'shiladi. Balansli modulyatorlarga tashuvchi $\pi/2$ surilish bilan, ya'ni kvadraturada beriladi.

Modulyatorning oraliq tashuvchi chastotadagi chiqish signali tashqi polosali nurlanishlarni cheklaydigan polosali filtrdan o'tadi va istalgan uzatish kanalining polosasiga o'zgartirilishi mumkin.

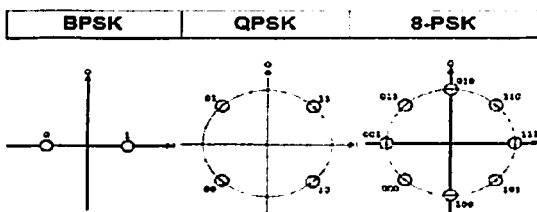
6.2. Kvadraturali fazaviy manipulyatsiyalash (QPSK)

Fazaviy manipulyatsiyalashning BPSK, QPSK, 8-PSK va boshqa turlari mavjud. Ularning tavsiflari 6.2-jadvalda keltirilgan. BPSK, QPSK, 8-PSK fazaviy manipulyatsiyalash yulduzlar turkumlari digrammalari 6.10-rasmda keltirilgan.

6.2-jadval

BPSK, QPSK, 8-PSK nisbiy xarakteristikalari

BPSK	QPSK	8-PSK
Binary Phase Shift Keying – oddiy binar fazaviy manipulyatsiyalash hisoblanadi va bitta signalda 1 bit axborotni kodlashga imkon beradi	Kvadraturali fazaviy manipulyatsiyalash (Quadrature Phase Shift Keying) bo'lib, 4 fazaga bo'linadi va bitta signalda 2 bit axborotni kodlashga imkon beradi	8 Phase Shift Keying manipulyatsiyalashda 8 ga bo'linadi va bitta signalda 3 bit axborotni kodlashga imkon beradi

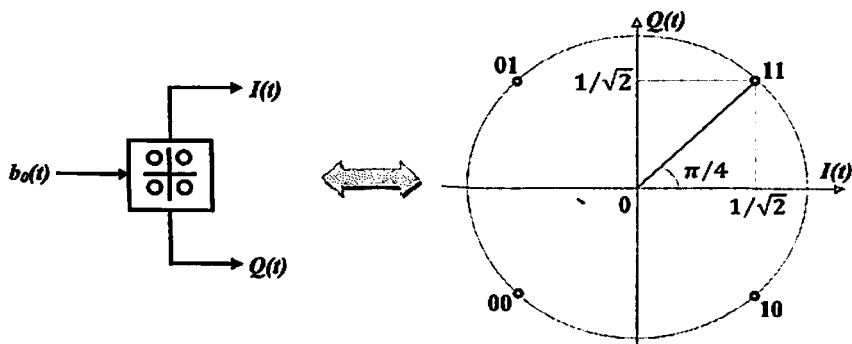


6.10-rasm. BPSK, QPSK, 8-PSK fazaviy manipulyatsiyalash yulduzlar turkumlari diagrammalari

Bitta *BPSK* simvoli bir bit ma'lumotni kodlaydi, bunda *BPSK* vektorlar diagrammasida $I(t)$ sinfaz o'qda atigi ikkita nuqtalar – nolga va uzatiladigan ma'lumotlar birligiga mos keladigan nuqtalar bo'ladi. $Q(t)$ kvadraturali kanal BPSK bo'lganida doimo nolga teng bo'ladi.

Ikki bit ma'lumotni bitta simvol bilan kodlashni amalga oshirish uchun signallar turkumi 6.10-rasmdagi QPSK vektorlar diagrammasida tasvirlanganidek to'rtta nuqtalardan tashkil topishi kerak. U holda biz ham $I(t)$, ham $Q(t)$ noldan farqli bo'lishi, signallar turkumining barcha nuqtalari birlik aylanada joylashishini olamiz. Bunda kodlashni quyidagi tarzda amalga oshirish mumkin. Bitlar oqimi juft va toq bitlarga bo'linadi, $I(t)$ juft bitlarni, $Q(t)$ esa toq bitlarni kodlaydi.

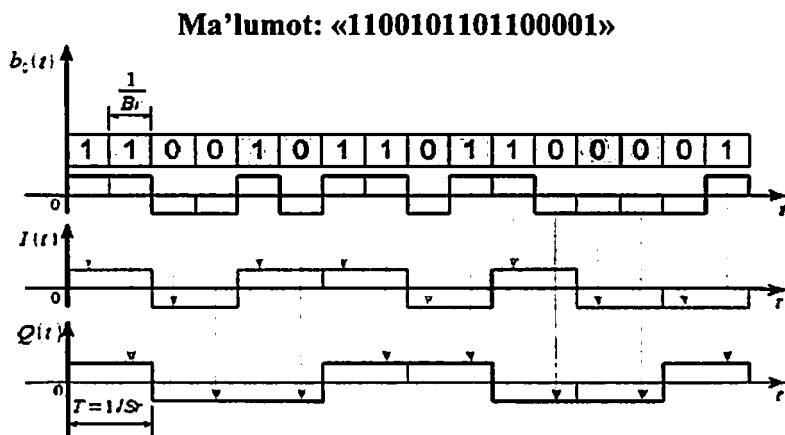
QPSK yulduzalar turkumi asosida sinfaz va kvadraturali tashkil etuvchilarni kodlash qurilmasi 6.11- rasmda keltirilgan.



6.11-rasm. QPSK yulduzlar turkumi asosida sinfaz va kvadraturali tashkil etuvchilarni shartli kodlash qurilmasi

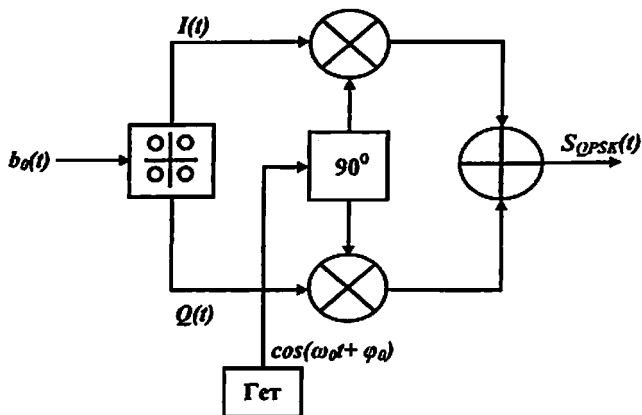
Ikkita bir-birlaridan keyin ketma-ketma keladigan ma'lumotlar bitlari bir vaqtda sinfaz $I(t)$ va kvadraturali $Q(t)$ signallar bilan kodlanadi. Bu 6.12-rasmda keltirilgan «1100101101100001» axborot oqimi uchun ossillogrammalarda yaqqol tasvirlangan.

Yuqoridagi grafikda kirish oqimi 6.10-rasmda tasvirlangan $QPSK$ signallar turkumining bitta nuqtasiga mos keladigan bitlar juftligiga bo'lingan. Ikkinchi grafikda uzatiladigan axborotga mos keladigan $I(t)$ ossillogramma tasvirlangan. Agar juft bit 1 ga teng bo'lsa (e'tibor bering, bitlar birdan boshlab emas, balki nolda boshlab nomerlanadi, shuning uchun navbatdagi birinchi bit 0 nomerga ega bo'ladi, u tartib bo'yicha juft bo'ladi), $I(t) > 0$ bo'ladi, agar juft bit 0 ga teng bo'lsa, $I(t) < 0$ (ya'ni $b_o(t) < 0$) bo'ladi. Shunga o'xshash tarzda $Q(t)$ kvadraturali kanal toq bitlar bo'yicha quriladi. Bitta simvolning davomiyligi $T = S_r$ dastlabki ma'lumot bitining davomiyligidan ikki martaga katta bo'ladi. $QPSK$ signallar turkumiga muvofiq bunday $I(t)$ va $Q(t)$ kodlashni bajaradigan qurilma shartli 6.18- rasmda tasvirlangan.



6.12-rasm. $QPSK$ signalning sinfaz va kvadraturali tashkil etuvchilarini hosil qilish

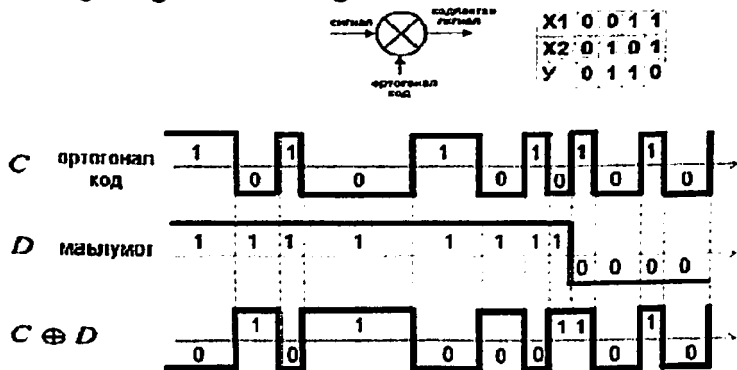
6.13-rasmda $QPSK$ -signalning sinfaz va kvadraturali tashkil etuvchilarini kodlash qurilmasining tuzilish sxemasi keltirilgan.



6.13-rasmda QPSK-signalning sinfaz va kvadraturali tashkil etuvchilarini kodlash qurilmasi

Kirishdagi $b_0(t)$ bitlar juftliklariga bog‘liq ravishda chiqishda bu bitlar juftliklari davomiyliklari chegaralarida doimiy bo‘lgan qiymatlari uzatiladigan ma’lumotlarga bog‘liq bo‘ladigan $I_0(t)$ va $Q_0(t)$ signallarni olamiz.

Kodlangan signalni olinishiga misol 6.14-rasmda keltirilgan.



6.14- rasm. Kodlangan signalni olinishiga misol

“1100101101100001” axborot oqimi uchun $\varphi(t)$ fazaviy og‘maning ko‘rinishi 6.15-rasmda tasvirlangan.

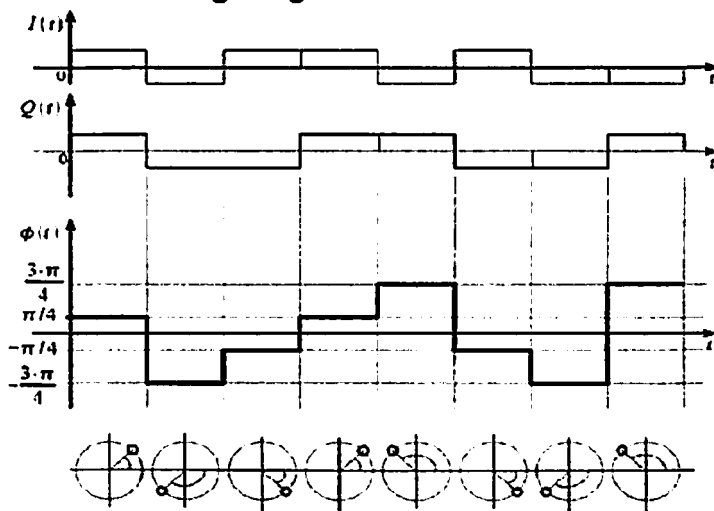
Fazaviy og‘ma QPSK simvolining o‘zgarishi momentlarida keskin o‘zgaradigan vaqt bo‘yicha pog‘onasimon funksiya hisoblanadi (aytib o‘tamizki, bitta QPSK simvoli ikkita ma’lumotlar bitini tashiydi). Bunda

bitta simvol chegaralarida *QPSK* vektorlar diagrammasi uchinchi grafikdan pastda tasvirlanganidek, signallar turkumi bitta bo'ladi, keyingi simvolga mos keladigan nuqtaga sakrash bilan o'tadi. *QPSK* vektorlar diagrammasida faqat to'rtta nuqtalar mavjud, shuning uchun fazaviy og'ma faqat to'rtta $\pm\pi/4$ va $\pm 3\pi/4$ qiymatlarni qabul qilish mumkin.

QPSK signalning $\phi(t)$ amplitudaviy og'masi $z(t)$ kompleks og'madan ham olinishi mumkin:

$$\phi(t) = \sqrt{I^2(t) + Q^2(t)} \quad (6.1)$$

Ta'kidlaymizki, *QPSK* signalning $\phi(t)$ amplitudaviy og'masi uzatiladigan simvollarning o'zgarishi momentlaridan tashqari, ya'ni fazaning sakrashi va signallar turkumining navbatdagi nuqtasiga o'tish momentlarida doimo birga teng bo'ladi.



6.15- rasm. *QPSK* signalning fazaviy o'zgarishi

Nazorat savollari

1. Raqamli manipulyatsiyalash jarayonining ma'nosi nimadan iborat?
2. Dastlabki analog signalni raqamli signalga o'zgartirish jarayonini tushuntiring.
3. Raqamli signalni uchta manipulyatsiyalash usullarini tushuntiring.

4. Kvadraturali amplitudaviy manipulyatsiyalash qanday amalga oshiriladi?
5. Kvadraturali fazaviy manipulyatsiyalash qanday amalga oshiriladi?
6. *QPSK* signalning sinfaz va kvadraturali tashkil etuvchilarini hosil qilish qanday amalga oshiriladi?

7. RADIORELELI VA SUN'IIY YO'LDOSHLI ALOQA. YO'LDOSHLI NAVIGATSIYA

7.1. Radioreleli aloqa liniyalarini umumiy qurish prinsiplari

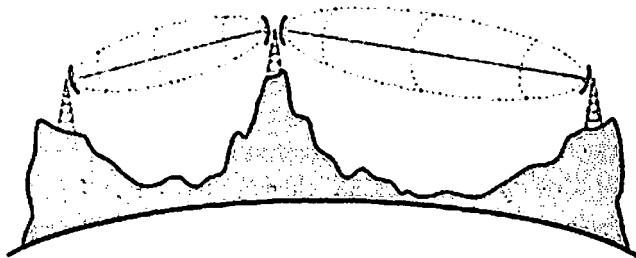
Radioreleli aloqa radiosignallarining ko'p marotaba retranslyatsiyalanishiga asoslangan yer usti radioaloqasining turlaridan biri hisoblanadi. Radioreleli aloqa stansiyalar orasida amalga oshiriladi.

Tarixan stansiyalar orasidagi radioreleli aloqa ham aktiv, ham passiv bo'lishi mumkin retranslyatsion stansiyalari zanjiridan foydalanish bilan amalga oshirildi.

Boshqa barcha turdagi yer usti radioaloqa turlaridan radioreleli aloqaning farqli o'ziga xos xususiyati tor yo'nalishli antennalardan, shuningdek, detsimetrli, santimetrli yoki millimetrli radioto'lqinlardan foydalanish hisoblanadi [14].

Radioreleli aloqa prinsiplari

Radioreleli aloqa liniyasi qabul qilish/uzatish radioreleli stansiyalari (RRS) zanjiri ko'rinishida quriladi. RRLda uzatkichlar, qabul qilgichlar, antennalar o'rnatiladi (7.1-rasm).



7.1-rasm. Radioreleli aloqa

Bunday RRLda Qo'shni RRSlar antennalari orasida to'g'ri ko'rinish bo'lishi kerak. Buning uchun antennalar ko'pincha 40 ... 100 m balandlikda tayanchlarga o'rnatiladi. Qo'shni RRSlar va magistral RRLlar orasidagi masofa odatda taxminan 50 km bo'ladi [14].

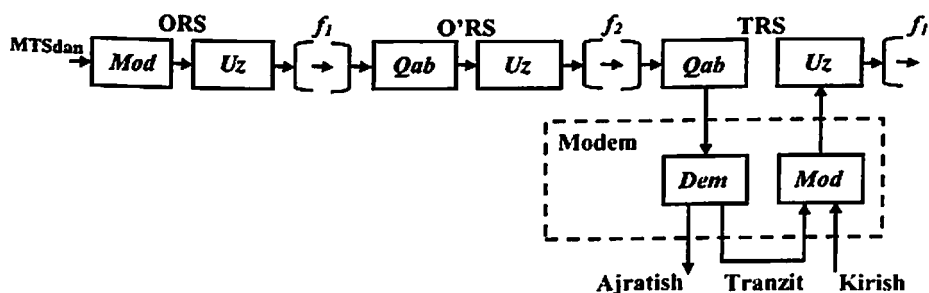
Stansiyalarning turlari

RRLslarning asosiy turlari quyidagilardan iborat:

- oxirgi releli stansiya (ORC);
- tugun releli stansiya (TRS);

- o'рта releli stansiya (O'RS).

ORS va TRSlarga radiouzatkichlar va radioqabul qilgichlar o'rnatiladi (7.2-rasm). Radiouzatkich tarkibiga Mod modulyator va Uz uzatkich, radioqabul qilgich tarkibiga Qab qabul qilgich va Dem demodulyator kiradi. Uzatkichda o'ta yuqori chastotali (O'YuCh) modulyatsiyalangan oraliq chastotali (OCh) signal O'YuCh signalga yoki UYuCh signalga o'zgartiriladi, O'YuCh qabul qilgichda qabul qilingan O'YuCh signal oraliq chastotali (OChH) signalga o'zgartirish bo'lib o'tadi. O'YuCh qabul qilgich va O'YuCh uzatkich birgalikda o'рта radioreleli stansiyada (O'RS) o'rnatiladigan O'YuCh qabul qilgich/uzatkichni tashkil etadi.



7.2-rasm. RRLning tuzilish sxemasi

RRLning uchlarida joylashgan ORClarda uzatiladigan signallarni kiritish va ajratish bo'lib o'tadi.

O'RSda radiosignal retranslyatsiyanadi, ya'ni qabul qilish, kuchaytirish, chastota bo'yicha surish va keyingi RRS yo'nalishi bo'yicha uzatish bo'lib o'tadi. RRL orqali efirga uzatiladigan televidion radiosignallarini uzatishda har bir O'RSda televidion dasturni ajratib olish imkoniyati ko'zda tutiladi.

O'RSlarda OCh bo'yicha tranzit deyiladigan efirga uzatiladigan televidion radiosignallarning tarmoqlanishi o'z o'rniga ega. Binobarin, modemlar shovqin kiritadi, u holda ularni sxemadan chiqarish RRL oxiridagi kanaldagi signal-shovqin nisbatlarini yaxshilashga imkon beradi. Bir nechta radioreleli liniyalari birlashadigan yirik TRSlarda efirga uzatiladigan televidion PCh signallar bo'yicha maxsus kommutatorlar o'rnatiladi, bu u yoki bu dasturni tezkor tanlashga imkon beradi. Modulyatorlar faqat yangi televidion dasturni kiritish zarur bo'lgan TRSlarda o'rnatiladi.

Radiosignallarni tarqatish qurilmalari va muhitini o'z ichiga olgan qo'shni RRSlar orasidagi radioreleli aloqa liniyasining qismi *radioreleli ko'rish* deyiladi. Oxirgi yoki tugun stansiyalari bo'lgan ikkita yaqin joylashgan radioreleli stansiyalari bilan cheklangan radioreleli aloqa liniyasining qismi *radioreleli oraliq* deyiladi.

O'RS qabul qilgichi/uzatkichining chiqishi va kirishidagi signallar sathlarining farqi 100 dBdan oshadi. Bu qurilmaning o'z-o'zidan qo'zg'alishini oldini olish uchun O'RSda (TRSda) bitta aloqa yo'nalishidagi radiosignallari turli f_1 va f_2 chastotalarda qabul qilinadi va uzatiladi. Chastotaning surilishi deb $f_{sur} = |f_2 - f_1|$ qiymatga aytiladi. Odatda magistral radioreleli liniyalarida $f_{sur} = 266$ MGs bo'ladi.

Ishlashning ishonchliligi va barqarorligini oshirish uchun RRL qurilmalari zaxiralanadi. Avtomatik zaxiralashning ikkita stansion va oraliq bo'yicha usullari mavjud. Stansion zaxiralashda ma'lum bir stansiyada ishlaydigan qurilmalar to'plami rad etsa, uni o'sha chastotalarda ishlaydigan zaxira bilan avtomatik ravishda almashtirish bo'lib o'tadi.

Oraliq bo'yicha zaxiralashda har bir stansiyada asosiy va zaxira O'YuCh qabul qilgich/uzatkichlari o'rnatiladi, binobarin, bu qabul qilgich/uzatkichlarning ishchi chastotalari mos tushmaydi. Istalgan O'RSda qurilmalar shikastlanganda radioreleli oraliqning uchlaridagi modemlarning avtomatik qayta ulanishi bo'lib o'tadi, bundan keyin butun oraliqda signallarni uzatish zaxira O'YuCh qabul qilgich/uzatkichlari yordamida amalga oshiriladi. Oraliq bo'yicha zaxiralashli RRSda oraliqning uchlarida zaxiralash apparaturalari o'rnatiladi, ularning yordamida yuqori chastotali (YuCh) apparaturalarning holati nazorat qilinadi va modemlar qayta ulanadi. Oraliqning oxiridan boshiga qayta ulanish buyrug'i xizmat aloqa kanallari bo'yicha uzatiladi. Xizmat aloqa kanallari, shuningdek, TXK signallarining uzatilishi va xizmat ko'rsatuvchi xodimlarning so'zlashuvlari uchun mo'ljallangan.

Ko'p stvolli (yo'nalishli) radioreleli liniyalar

Bitta RRLning barcha stansiyalarida bir xil turdagi O'YuCh qabul qilgichlar va uzatkichlar o'rnatiladi. Ko'plab radioreleli tizimlarida O'RSdagi qabul qilgich va uzatkich OCh bo'yicha ulanadi. Radioreleli oraliqdagi bunday O'YuCh uzatkichlar va qabul qilgichlar zanjiri qismidagi YuCh stvolni hosil qiladi. Bu stvol Universal hisoblanadi, chunki u bo'yicha turli xil xabarlarini uzatishni tashkil etish mumkin. Buning uchun ORC va TRSda YuCh stvolga modulyator, demodulyator

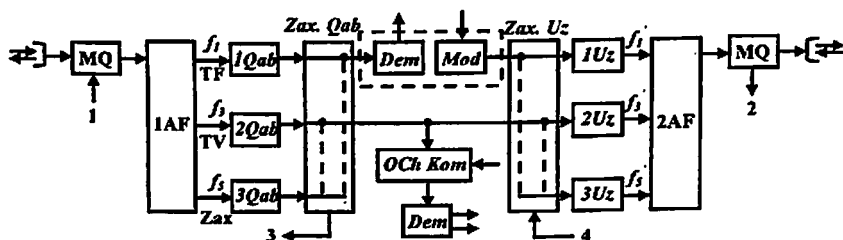
va mos oxirgi qurilmalar ulanadi. Oxirgi qurilmalar modem tarkibiga kiradi.

Agar ShTS (shaharlararo telefon stansiyalari) signallari analog modulyatsiyalash usuli bilan YuCh stvol bo'yicha uzatilsa, u holda bunday stvol telefon (TF) stvoli deyiladi. Bundan tashqari, ChM usuli orqali televizion dasturlar uzatiladigan televizion (TV) dasturlar tashkil etiladi. Raqamli stvol (RS) RRC modulyatoriga raqamli signalni berish bilan tashkil etiladi [14]. Modulyatorga beriladigan signal *stvol guruh signali*, uning spektri esa *chiziqli spektr* deyiladi.

Uchta stvolli RRLning tuzilish sxemasi

RRLda o'tkazish qobiliyatini oshirish uchun bir nechta YuCh stvollarni turli chastotalarda umumiy antenna-fider traktiga (AFT) va antennaga bir vaqtning o'zida ishlashi tashkil etiladi. Bu RRL ko'p stvolli RRL deyiladi.

Bir nechta qabul qilgich-uzatkichlarni bitta antennaga ulash uchun (7.3-rasm) ajratish qurilmalari (AQ) va ajratish filtrlari (AF) ishlatiladi. Ajratish qurilmalari qabul qilish va uzatish to'lqinlarini ajratish uchun kerak. AQ sifatida polarizatsion selektorlar yoki ferritli sirkulyatorlar ishlatiladi. Ajratish qabul qilish filtrlari (1AF) f_1, f_3, f_5 chastotalarda qabul qilishda turli stvollarning signallarni ajratish uchun ishlatiladi. Ajratish uzatish filtrlari (2AF) f_1', f_3', f_5' chastotalarida signallarni uzatishga birlashtirish uchun ishlatiladi.



7.3-rasm. Uch stvolli RRLning tuzilish sxemasi

7.3-rasmda telefon (TF) va televizion (TV) stvollar, shuningdek zaxira (Zax) stvoli tasvirlangan. Zaxiralash apparaturalari radioreleli oraliqning uchlarida qabul qilishda (*Zax.Qab*) va uzatishda (*Zax.Uz*) o'rnatiladi. 3 nuqtaga avariya to'g'risida signal kelishi mumkin, u oraliqning boshiga oldingi TRSga berilishi mumkin, keyingi TRSdan o'xshash signal 4 nuqtaga beriladi. TV stvolda PCh bo'yicha tranzit

tashkil etiladi. Ajratiladigan dasturni tanlash PCh bo'yicha Kom kommutator yordamida amalga oshiriladi, unga yana teskari yo'nalishdagi TV stvol signali ham beriladi. ChMli magistral radioreleli liniyalarida YuCh stvol uchun 28 MGs chastotalar polosasi ajratilgan. Demak, stvol orqali uzatiladigan ChHM signallari 28 MGs dan oshmaydigan spektrga ega bo'lishi kerak. Eslatib o'tamiz, ChM signallar spektrining kengligi quyidagicha:

$$P_{CHM} \approx 2 (\Delta f_m + F_{vu}) \quad (7.1)$$

bu yerda Δf_m - maksimal chastota deviatsiyasi;

F_{vu} - yuqori modulyatsiyalash chastotasi.

Binobarin, RRLda chastota deviatsiyasi berilgan, u holda F_{vu} qiymat va demak stvolning o'tkazish qobiliyati cheklangan. Taxminan $F_{vu} < 9$ MGs bo'ladi.

7.2. Radioreleli stansiyalarning tuzilish sxemalari

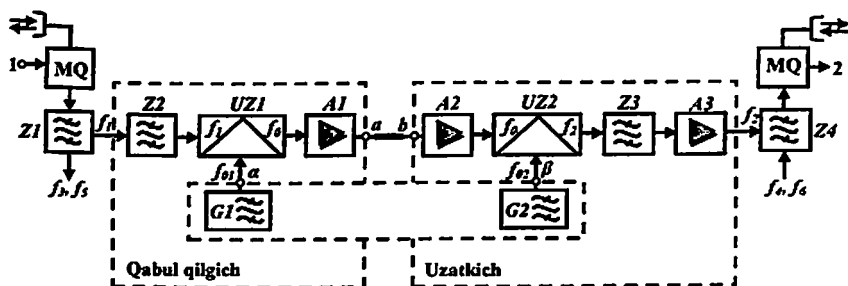
Analog RRLlarning o'rta RRSlari

Signalni o'zgartirish sxemasiga muvofiq quyidagi O'RS sxemalari geterodinli turdagi, chastota bir marta o'zgartiriladigan, signal demodulyatsiyalanadigan sxemalarga ajratiladi [14].

ChMli magistral RRLlarda, odatda, geterodinli turdagi sxemalar qo'llaniladi, chunki ular ekspluatatsion tez moslashuvchanlikka ega, bu O'RS, ORS va TRSlarni asosiy O'YuCh qabul qilgichlar va uzatkichlar bilan jihozlash va Universal YuCh stvollarni tashkil etish imkonini beradi. Odatda, bunday RRLlarda ChM ishlatiladi. Boshqa ikkita O'RS sxemalari ichki zonaviy va mahalliy RRLlarda qo'llanadi. Geterodinli turdagi o'rta RRS alohida geterodin traktlari (GT) yoki umumiy GTli sxemalar bo'yicha bajariladi.

Alohida geterodinli traktga ega bo'lgan geterodinli turdagi O'RSning tuzilish sxemasi

7.4-rasm bo'yicha f_1 o'rta chastotali bitta stvol signalining o'tishini ko'rib chiqamiz. Bu signalni Z1 AF (ajratish filtri) va Z2 PF (polosaviy filtr) ajratadi. PF chiqishidagi signal qabul qilgichning UZI aralastirgichiga beriladi, unda f_1 chastota oraliq f_{Och} chastotaga kamayadi. Keyin modulyatsiyalangan OCh tebranishlar A1 oraliq chastota kuchaytirgichida kuchaytiriladi va Qab chiqishiga a nuqtaga beriladi. O'YuCh qabul qilgich va O'YuCh uzatgich o'rtasida ab tutashtirish o'rnatilgan.



7.4-rasm. OCh bo'yicha kuchaytirish va alohida geterodinlarga ega bo'lgan O'RSning tuzilish sxemasi

Uz kirishiga b nuqtaga beriladigan signal oraliq chastota kuchaytirgichida (OChK) uzatkich $UZ2$ aralashtirgichining normal ishlashi uchun zarur bo'lgan sathgacha kuchaytiriladi. $UZ2$ aralashtirgichda OCh tebranishlar O'YuCh tebranishlarga o'zgartiriladi, ular orasida o'rtacha f_2 chastotali tebranishlar ham mavjud.

Aralashtirgichlarning ikkinchi kirishlariga $G1$ qabul qilgich va $G2$ uzatkichning bog'liq bo'lmagan geterodin traktlaridan mos ravishda f_{01} va f_{02} chastotali modulyatsiyalanmagan O'YuCh tebranishlar beriladi. Aralashtirgichning chiqishida boy tebranishlar spektri olinadi, u holda bu yerda ishchi chastotalar polosasini ajratadigan PF o'rnatiladi. Shuning uchun, $UZ2$ chiqishida $Z3$ yon polosa filtri ($YOPF$) o'rnatiladi. O'YuCh qabul qilgichda o'xshash funksiyani OChK jamlangan tanlash filtri bajaradi.

$UZ2$ chiqishida chastotalar quyidagi shartga javob beradigan tebranishlar hosil bo'ladi:

$$f_{\gamma} = \pm m f_{OCh} \pm n f_{02} \quad (7.2)$$

bu yerda m va n butun sonlar.

Yon polosa filtri quyidagi o'rta chastotali va modulyatsiyalangan OCh signalning spektri orqali aniqlanadigan polosali tebranishlarni o'tkazadi:

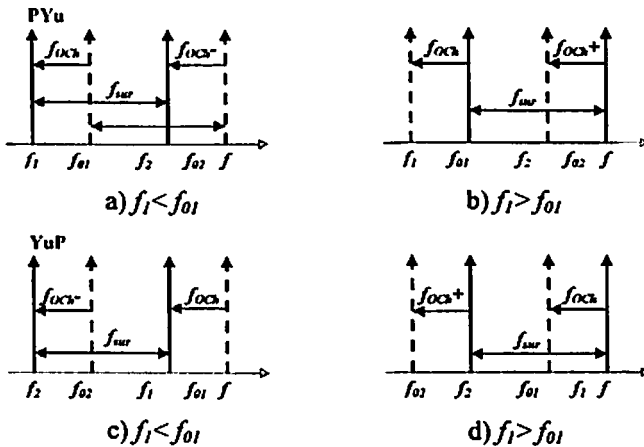
$$f_2 = f_{02} + f_{OCh} \text{ yoki } f_2 = f_{02} - f_{OCh} \quad (7.3)$$

(7.3) formuladagi ishora stansiyaning turi va qabul qilish, uzatish va geterodin traktlari chastotalarning joylashishi orqali belgilanadi.

Chastotalarni joylashtirishning to'rtta variantlari bo'lishi (7.5-rasm), bu yerda (7.3) formulada ishorani tanlash ham ko'rsatilgan.

Qabul qilish chastotalari ajratilgan polosaning pastki qismida, uzatish chastotalari esa ajratilgan polosaning yuqori qismida joylashgan stansiya "PYU" indeks bilan, qabul qilish chastotalari uzatish chastotalari yuqori bo'ladigan keyingi stansiya "YUP" indeks bilan belgilanadi.

A3 quvvat kuchaytirgichi (QK) nominal chiqish quvvatini ta'minlash bilan YOPF orqali ajratilgan O'YuCh signalni kuchaytiradi.



7.5-rasm. Chastotalarni joylashtirish variantlari: PYU turdagi RRS uchun $f_1 < f_{o1}$ bo'lganda (a), $f_1 > f_{o1}$ bo'lganda (b), YUP turdagi RRS uchun $f_1 < f_{o1}$ bo'lganda (s), $f_1 > f_{o1}$ bo'lganda (d)

O'RS kiritadigan chastotaning nostabilligini topamaiz. Aniqlik uchun 7.5a-rasmda keltirilgan tartibda chastotalari joylashtirilgan O'RSni ko'rib chiqamiz, uning uchun quyidagiga egamiz:

$$f_2 = f_{o2} - f_{PR} = f_{o2} - (f_{o1} - f_1)$$

Binobarin, G1 va G2 geterodinlar bog'liq emas, O'RS chiqishidagi chastotaning nominal qiymatdan chetga chiqishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\delta_{f_2} = \sqrt{\delta_{f_{o2}}^2 + \delta_{f_{o1}}^2 + \delta_{f_1}^2}$$

bu yerda δ_{f_1} - kirish signali chastotasining absolyut nostabilligi;

$\delta_{f_{01}}$ va $\delta_{f_{02}}$ - G1 va G2 geterodinlar chiqishlaridagi chastotalarning absolyut nostabilligi.

f_{02} va f_{01} chastotalar bir xil tartibda bo'lganligi va geterodinlar o'xshash sxemalar bo'yicha bajarilganligi sababli $\delta_{f_{01}} = \delta_{f_{02}}$ hisoblash mumkin. U holda, $\delta_{f_1} = 0$ bo'lganda, bitta O'RS kiritadigan chiqish signali chastotasining nostabilligini aniqlaymiz:

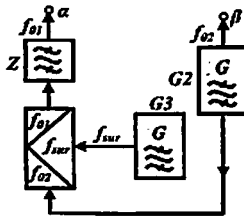
$$\delta_{f_{2O'RS}} = \delta_{f_{02}} \sqrt{2} \quad (7.4)$$

$\delta_{f_{2O'RS}}$ qiymat ruxsat etilgan qiymatdan oshmasligi kerak.

Umumiy geterodin trakti O'RSning tuzilish sxemasi

Bunday sxemada G1 va G2 o'rniga 7.4-rasmdagi a va b nuqtalarga qabul qilgich/uzatkichning geterodini ulanadi (7.6-rasm). Uning tarkibiga G2 geterodin, G3 surish generatori, UZ surish aralastirgichi va Z tor polosali filtr (TPF) kiradi. G3 generator f_{sur} surish chastotasili tebranishlarni beradi. Surish aralastirgichining chiqishida paydo bo'lgan tebranishlar spektridan TPF YUP turdagi stansiyalarda $f_{01} = f_{02} - f_{sur}$ chastotali va PYU turdagi stansiyalarda $f_{01} = f_{02} + f_{sur}$ chastotali tebranishlarni ajratadi. Sxemadagi chastotalarni o'zgartirishga muvofiq, 7.5a-rasmda keltirilgan chastotalar joylashtirilgan O'RS chiqishida quyidagi tebranishlar chastotasi olinadi [14]:

$$f_2 = f_{02} - f_{OCH} = f_{02} - (f_{01} - f_1) = f_{02} - [(f_{02} - f_{sur}) - f_1] = f_1 + f_{sur}$$



7.6-rasm. Qabul qilgich/uzatkich geterodin traktining tuzilish sxemasi

O'RS chiqishidagi chastotaning $\delta_{f_2} = \sqrt{\delta_{f_1}^2 + \delta_{f_{SDV}}^2}$ nominal qiymatdan chetga chiqishi va bitta O'RS tomonidan kiritadigan chiqish signali chastotasining nostabilligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\delta_{f_{2O'RS}} = \delta_{f_{sur}} \quad (7.5)$$

G2 geterodin chastotasining nostabilligi sxemada kompensatsiyalanadi va O'RS chiqish signali chastotasining nostabilligiga ta'sir qilmaydi. Biroq, bu O'YuCh qabul qilgichning chiqishidagi OCh signalning nostabilligiga ta'sir qiladi va signalning buzilishlariga olib keladi. Bu omilni hisobga olish bilan 5.6-rasmdagi G2 geterodin chastotasining ruxsat etiladigan nostabilligi cheklangan.

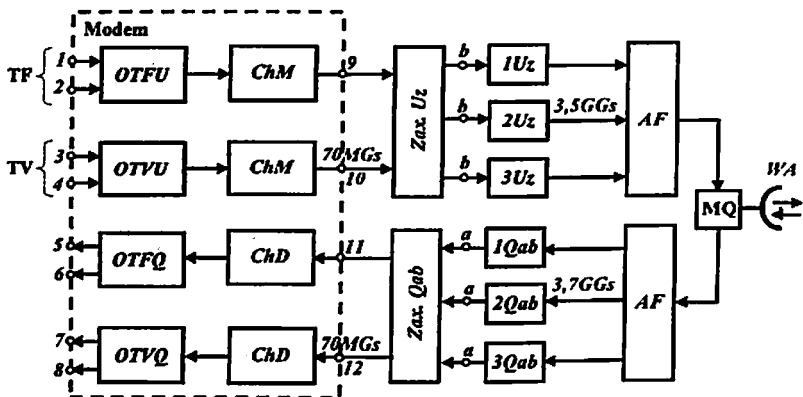
Analog RRLlarning tugun va oxirgi RRSlari

Stansiyalarning tuzilish sxemalari

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, asosiy RRLlarning barcha RRSlarida standart O'YuCh qabul qilish/uzatish apparaturalari o'rnatiladi. TRS 7.5-rasmdagi sxema bo'yicha yig'iladi, unda O'YuCh qabul qilgich va uzatkich orasidagi (*ab*) tutashma olib tashlangan. Uning o'rniga TF stvolda zaxiralash apparaturasi orqali modem ulangan. TV stvolda odatda OCh bo'yicha signallarni qayta qabul qilish va tarmoqlanishi o'z o'rniga ega (7.5-rasmga qarang) [14].

ORCda (7.7-rasm) umumiy antenna turli aloqa yo'nalishlarida signallarni qabul qilish va uzatish uchun umumiy *WA* antenna xizmat qiladi. O'YuCh qabul qilgichlar (*1Qab*, ..., *3Qab*) va O'YUCH uzatkichlar (*1Uz*, ..., *3Uz*) 7.2-rasmdagi kabi tuzilish sxemasi bo'yicha qurilgan. *a* va *b* nuqtalarga zaxiralash apparaturasi orqali modem ulangan. TF stvolda *1Qab* va *1Uz*, TV stvolda *2Qab* va *2Uz*, zaxiralash stvolida *3Qab* va *3Uz* ishlaydi.

Modem *11*, *12* kirishlarga va OCh bo'yicha *9*, *10* kafolatlangan chiqishlarga, shuningdek shaharlararo telefon stansiyasi signallari uchun *1* kirishga, xizmat aloqasi (*XA*) uchun *2* kirishga, to'liq TV signal uchun *3* kirishga va ovoz signali uchun *4* kirishga va bu signallar uchun *5*, *6*, *7*, *8* chiqishlarga ega. Modem tarkibida TF stvolning qurilmalari: qabul qilish TF stvolning oxirgi qabul qilgichi (OTFQ) va uzatkichi (OTFU), TV stvolning qurilmalari: TV stvolning oxirgi qabul qilgichi (OTVQ) va TV stvolning oxirgi uzatkichi (OTVU), chastotaviy modulyator (ChM) va chastotaviy demodulyator (ChD) ko'rsatilgan.



7.7-rasm. Oraliq bo'yicha zaxiralashli uchta stvolli ORSning tuzilish sxemasi

Oxirgi uzatish qurilmalari ularning kirishlariga bog'lanish liniyalari (BL) orqali tushadigan signallardan guruhli signallar (GS) stvolini shakllantirish uchun, shuningdek, modemning 1, 2, 3, 4 kirishlarini BL bilan moslashtirish uchun ishlatiladi.

Oxirgi qabul qilish qurilmalari magistral GS stvolini tarkibiy signallarga ajratadi va modemning 5, 6, 7, 8 chiqishlarini BL bilan moslashtiradi. ChM chiqishida GS stvolining chastotasi bo'yicha modulyatsiyalangan OCh tebranishlar olinadi. 7.7-rasmda TV stvol uchun birlamchi elektr signallarining yuqori chastotalari va 4 gigagersli diapazonda ishlaydigan magistral RRL ORC sxemasining turli nuqtalaridagi ChM signalning o'rtacha chastotalari ko'rsatilgan. Qabul qilishda ChD uning kirishiga beriladigan PCh signalni demodulyatsiyalaydi.

TF va TV stvollarda bir xil ChMlar va ChDlar ishlatiladi. Shunday qilib, ORC sxemasida turli stvollar uchun faqat oxirgi qurilmalari farq qiladi. ORC va TRSlarda bir xil modemlar o'rnatiladi.

Ichki zonaviy va mahalliy RRLlar radioreleli stansiyalari

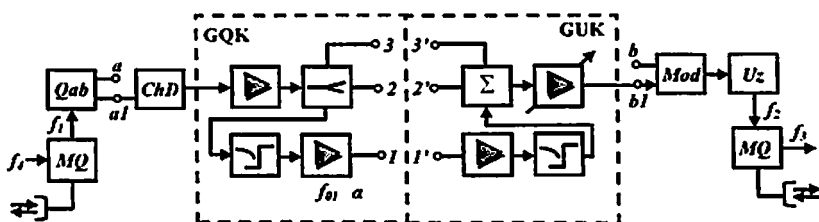
Deyarli har bir RRSda kanallarni ajratish kerak bo'ladigan ichki zonaviy va mahalliy RRLlar TF stvollarini tashkil qilishda signallar demodulyatsiyalanadigan O'RSlar sxemalari qo'llaniladi. Bunday RRLlarda barcha RRSlarning *apparaturalari* birlashtirilgan. Shunday sxemalar bo'icha magistral RRLlardan TV *retranslyator*larga televizion

signallarni uzatish uchun mo'ljallangan bitta oraliqli RRLlar quriladi [14].

Mamlakatning kam aholi sonli hududlaridagi ichki zonaviy RRLlarda, ya'ni kanallarni faqat ORCda kiritish va chiqarish mumkin bo'lgan joylarda chastota bir marta o'zgartiriladigan O'RSlar sxemalaridan foydalaniladi. Bunday RRLda O'RS va ORClar *apparaturalari* birlashtirilmagan.

Signal demodulyatsiyalanadigan O'RSlarning tuzilish sxemalari

Ular shuningdek, chiziqli spektr bo'yicha qayta qabul qilishli sxemalar deyiladi. Bunday RRLlarda (7.8-rasm) O'YuCh qabul qilgichning chiqishiga ChD va guruhli qabul qilish kuchaytirgichi (GQK) ulangan. RRS radiouzatkich guruhli uzatish kuchaytirgichi (GUK), Mod modulyator va Uz O'YuCh uzatkichdan iborat.



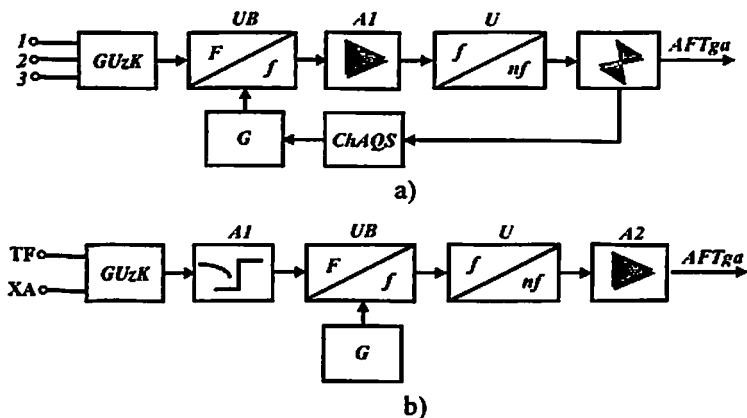
7.8-rasm. Signal demodulyatsiyalanadigan O'RSning tuzilish sxemasi

ChD chiqishida spektri F_N chastotadan pastda joylashgan SHTS va XA signallaridan iborat TF stvol GS olinadi. Bu GS GQKda tashkil etuvchilarga bo'linadi. Odatda GQKning 1 chiqishga beriladigan kanallarning birlamchi (ikkilamchi) guruhlarini ajratishga imkon beradi. 2 chiqishga tranzit orqali uzatiladigan SHTS signallari, 3 chiqishga XA signali beriladi. GQK blokining 2 chiqishi va GUK blokining 2'kirishi orasiga tutashma o'rnatiladi. GUK blokining 3'kirishiga XA signali, 1'kirishiga esa birlamchi (ikkilamchi) kanallar guruhining yana kiritiladigan signali berilishi mumkin. GUK chiqishidagi bu signallar modulyatorga beriladigan GS stvolini hosil qiladi.

O'YuCh qabul qilgich geterodinli turdagi O'RSdagi kabi supergeterodinli sxema bo'yicha bajariladi (7.4-rasm). Radiouzatkich OCh bo'yicha modulyatsiyalashli, to'g'ridan-to'g'ri chastotaviy modulyatsiyalashli va fazaviy modulyatorli sxema bo'yicha bajarilishi mumkin. OCh bo'yicha modulyatsiyalashli sxemada chiqishida markaziy chastotaning qiymati f_{och} ga teng bo'ladigan chastotaviy

modulyator. O'YuCh uzatkich geterodinli turdagi O'RS kabi sxema bo'yicha bajariladi (7.4-rasm).

To'g'ridan-to'g'ri chastotaviy modulyatsiyalashli sxemada (7.9a-rasm) GUK chiqishidan beriladigan GS 900 MGs diapazon G tranzistorli avtogeneratorning tebranishlari chastotasi bo'yicha modulyatsiyalanadi. ChM signalni asosiy kuchaytirish avtogenerator chastotasida bo'lib o'tadi. U chastota ko'paytirgichida signal chastotasi oshiriladi.



7.9-rasm. Ichki zonaviy va mahalliy liniyalar radiuzatkichlarining tuzilish sxemalari: a) to'g'ridan-to'g'ri chastotaviy modulyatsiyalashli, b) fazaviy modulyatorli

Chiqish signali yo'naltiruvchi tarmoqlagich orqali antenna-fider traktidan (AFT) beriladi. Tebranishlarning qismi chastotani avtomatik qayta sozlash (ChAQC) orqali avtogeneratorning markaziy chastotasini stabilash uchun beriladi. UB va G UB qurilmalari bitta ChMG ko'rinishida bajariladi. Bunday ChMG oddiyroq sxemaga ega bo'lishi va kam quvvat sarf qilishi bilan OCh bo'yicha modulyatsiyalashli radiuzatkichning ChM va GT funksiyalari kabi funksiyalarini bajaradi.

UB fazaviy modulyatorli sxemada GUK chiqishida hosil bo'lgan stvol guruhli signali (GS) $1/W$ uzatish koeffitsientiga ega bo'lgan AI chastotaviy korrektor (ChK) orqali o'tadi. ChKning chiqish signali G kvarsli avtogeneratorning tebranishlari chastotasi bo'yicha modulyatsiyalanadi. Bunday sxemada UB chiqishidagi tebranishlar chastotasi ChK kirishidagi signalning amplitudasiga proporsional o'zgaradi.

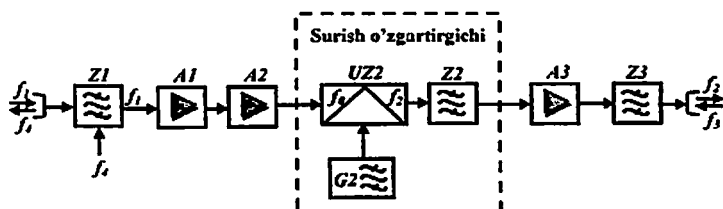
Kvarsli avtogenetrolarlarda odatda RRSning ishchi chastotasiga qaraganda pastroq chastotali tebranishlar olinadi. *UB* chiqishidagi chastota devyatsiyasi signalning ruxsat etiladigan buzilishlari bilan cheklangan. Tashuvchi chastota va devyatsiyani oshirish uchun sxemaga chastotani ko'paytirgich kiritilgan. *A2* kuchaytirgich talab qilinadigan chiqish quvvatini ta'minlaydi.

Chastota bir marta o'zgartiriladigan O'RSning tuzilish sxemasi

U yana to'g'ridan-to'g'ri kuchaytirish sxemasi deyiladi. Bunday O'RSda (7.10-rasm) signal *A1* kam shovqinli kuchaytirgich (KShK) va *A2*, *A3* O'YuCh kuchaytirgichlar yordamida to'g'ridan-to'g'ri qabul qilish va uzatish chastotalarida kuchaytiriladi [14].

Chastotani surishni signallarni surishni o'zgartirgich bajaradi, uning tarkibiga *G* surish generatori, *UZ* surish aralastirgichi va *Z* yon polosa filtri (YOPF) kiradi. Sxema past iste'mol quvvatiga ega.

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, bunday RRLlar ORClarining apparaturalari boshqa sxemalar bo'yicha quriladi. Bunda supergeterodinli radioqabul qilgich o'rnatiladi, uzatish uchida esa OCh bo'yicha modulyatsiyalashli yoki 7.9-rasmdagi sxemalar bo'yicha bajarilgan radiouzatkichlar o'rnatiladi.



7.10-rasm. Chastota bir marta o'zgartiriladigan bitta stvulli O'RSning tuzilish sxemasi

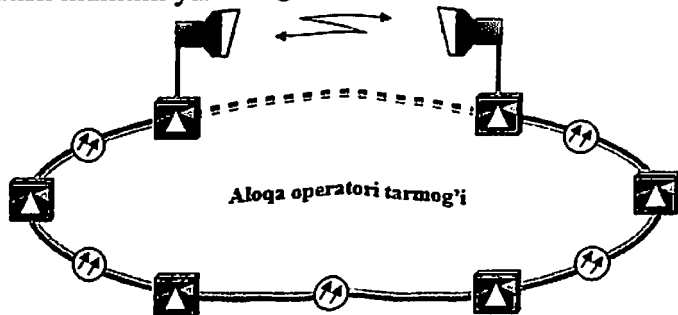
7.3. Raqamli radioreleli stansiyalarning tuzilish sxemalari

Raqamli radioreleli aloqa liniyalarining asosiy maqsadi zonalararo, ichki zonaviy va mahalliy tarmoqlarda aloqa operatorlarining transport infratuzilmasini yaratish, texnologik aloqa liniyalarini qurish, yuqori tezlikdagi LAN tarmoqlarini bog'lash va tolali optik aloqa liniyalarini zahiralash hisoblanadi [14].

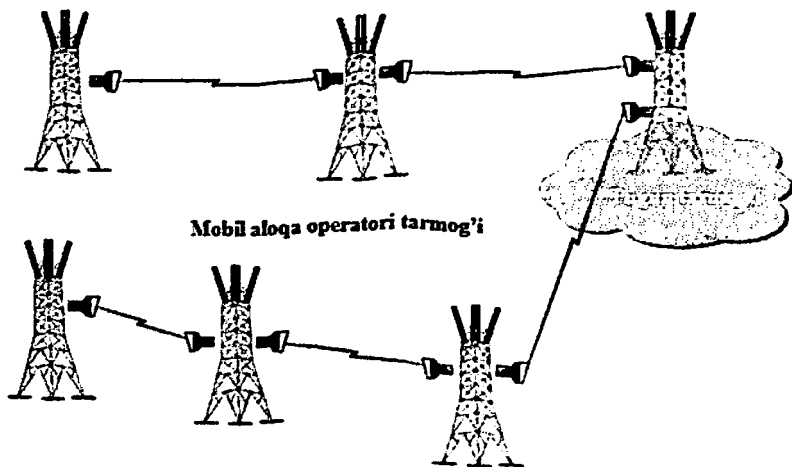
Magistral simsiz kanallarni qurishda aloqa operatorlari tolali optik liniyalarni zaxiralash yoki tolali optik halqalarni yopish uchun magistral RRClardan foydalanadi (7.11-rasm). Yuqori o'tkazish qobiliyati va ma'lumotlarni rad etishga barqaror uzatilishini ta'minlash uchun bir nechta radiostvollar tashkil etiladi. Tolali optik liniyalarni yotqizish

mumkin bo'lmagan hollarda, aloqa operatorlari o'zlarining hududiy tarmoqlarini birlashtirish uchun radioreleli stansiyalaridan foydalanadi, bir nechta tranzit nuqtalariga ega bo'lgan katta masofali simsiz magistral aloqa liniyalarini yaratadi.

Sotali aloqa operatorlari o'z transport infratuzilmasini qurish uchun raqamli radioreleli stansiyalaridan faol foydalanadi (7.12-rasm). Bir necha yo'nalishlarda radioaloqani ta'minlaydigan radioreleli kross-konnektorlardan foydalanish va raqamli RRSlar dinamik marshrutlashtirish protokollarini qo'llashi xizmat ko'rsatuvchi personal minimal qatnashadigan o'z-o'zidan qayta tiklanadigan ma'lumotlarni simsiz uzatish muhitini yaratishga imkon beradi.



7.11-rasm. Aloqa operatori tarmog'ida RRLning qo'llanishi



7.12-rasm. Mobil aloqa operatori tarmog'i

Yirik korxonaning tarkibiy bo'linmalari o'rtasida aloqani ta'minlash radioreleli aloqa liniyalaridan foydalanishning yana bir

yo'nalishi hisoblanadi. RRLining turli jinsli trafikni qabul qilish va uzatish qobiliyati simsiz Ethernet radioko'priklarining qo'llanishiga qaraganda ulardan foydalanishni iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq qiladi, chunki bu qo'shimcha multiplekslash qurilmalarini sotib olmasdan nafaqat Ethernet tarmoqlarini, balki TDM, ATM va boshqa axborot tizimlarini ham birlashtirishga imkon beradi.

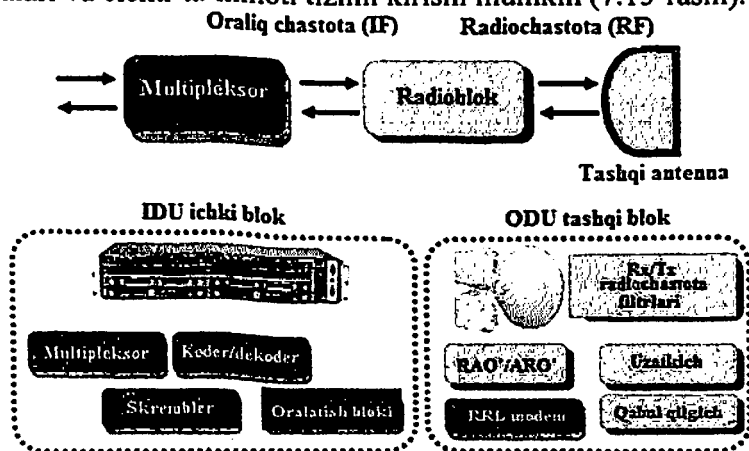
Radioreleli stansiyalarning 900 MGsdan 38 GGsgacha bo'lgan keng chastotalar diapazonini qo'llashi, 3,5 MGsdan 56 MGsgacha va undan yuqori turli kanallar kengliklarida ishlash imkoniyati, bir E1 (2048 kbit/s) oqimdan 600 Mbit/sgacha va undan yuqori o'tkazish qobiliyatini ta'minlash boshqa aloqa usullari mumkin bo'lmaganda va Ethernet radioko'priklari ishlatadigan chastotalar diapazoni esa band bo'lganda "so'nggi millar" yechimi sifatida radioreleli qurilmalarni taklif qilishga imkon beradi.

Raqamli RRSlarning komponentlari

Raqamli RRSlarning asosiy komponentlari quyidagilar hisoblanadi [14]:

- Qabul qilgich-uzatkich;
- Modem;
- Multipleksor.

Raqamli RRS tarkibiga asosiy komponentlardan tashqari qabul qilish-uzatish antennalar, avtomatik xaxiralash tizimi, telenazorat va tele signalizatsiya tizimi, nazorat-o'lchash apparaturalari, xizmat aloqasi qurilmalari va elektr ta'minoti tizimi kirishi mumkin (7.13-rasm).



7.13-rasm. Raqamli RRSlarning asosiy komponentlari

RRS qabul qilgich/uzatkichi

Berilgan chastotalardagi modulyatsiyalangan elektr tebranishlarni qabul qilish va uzatish funksiyalarini bajaradigan qurilma hisoblanadi. Qabul qilgich qabul qilish antenasi orqali qabul qilingan signallardan berilgan chastotadagi elektr signalni ajratadi. Qabul qilgichning chiqishidan signal modulyatorga beriladi. Uzatkich uzatish antenasi orqali keyingi nurlantirish uchun berilgan chastotali modulyatsiyalangan elektr signalini hosil qiladi. Uzatkichning kirishiga signal modulyatordan beriladi.

RRSga o'ratilgan qabul qilish/uzatish apparaturalarining bitta to'plami stvolni tashkil qiladi. Apparaturalarning o'tkazish qobiliyatini oshirish uchun bir nechta stvollar tashkil etiladi.

RRS modemi

Signallar modulyatsiyalash/demodulyatsiyalash uchun ishlatiladigan oxirgi qurilma hisoblanadi.

Modem multipleksordan keladigan diskret signalni ma'lum oraliq chastotadagi analog (uzluksiz) signalga o'zgartiradi va uni qabul qilgich-uzatkichga uzatadi va qabul qilgich/uzatkichdan keladigan analog signal qabul qilgandan keyin esa uni diskret signalga o'zgartiradi. Shunday qilib, raqamli radioreleli traktning tarkibida modem raqamli interfeys funksiyalarini bajaradi.

RRC multipleksori

RRC multipleksori bir nechta raqamli oqimlarni bitta oqimga masalan, E1 (2048 Mbit/s), E2 (8448 Mbit/s) oqimlarni E2 (8448 Mbit/s) oqimga yoki E3 (34368 Mbit/s) oqimga birlashtirish uchun mo'ljallangan.

Simli liniyalarga qaraganda radioreleli aloqa liniyalarining afzalliklariga quyidagilar kiradi:

- qurish, joriy etish va ishlatishning tezkorligi va oddiyligi;
- murakkab geografik va iqlim sharoitlarida (o'rmon, tog'lar, botqoqlar va h.k) ko'p kanalli aloqani iqtisodiy jihatdan foydali va asosan mumkin bo'lgan yagona tashkil etish.
- qurish va joriy etishda qazish va qurilish ishlarini bajarishga zarurat yo'q;
- moslashuvchanlik va ko'lamlilik;
- past joriy etish narxi va yuqori iqtisodiy samaradorlik, bu masofaning oshishi bilan yaqqol bo'lib qoladi;

- turli topologiya va maqsadli simsiz tarmoqlarni (“nuqta-nuqta”, “nuqta-ko‘p nuqta”, “yulduz”, “halqa”, tugunli va radial tarmoqlarni) qurish qobiliyati;

- rad etishga barqaror N+1 konfiguratsiyalardan foydalanishda, ishlatishdagi yuqori ishonchlilik;

- ishlatishning past narxi va uzilishlardan keyin tezkor qayta tiklanish;

- yuqori o‘tkazish qobiliyati va ma’lumotlar uzatish tezligi.

Litsenziyalanmaydigan chastotalar diapazonida ishlaydigan simsiz Ethernet radioko‘priklariga nisbatan radioreleli aloqa liniyalarining afzalliklariga quyidagilar kiradi:

- ajratilgan chastotalar diapazonlarida ishlash tufayli yuqori halaqitbardoshlik;

- qo‘shimcha qurilmalar o‘rnatilmasdan ulanish va turli jinsli trafikni uzatish imkoniyati;

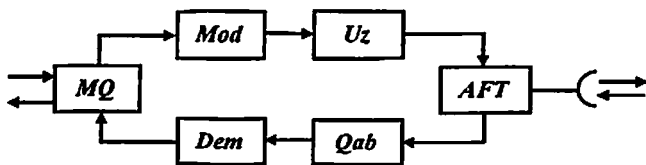
- ham rad etishga barqaror, ham zaxiralashsiz tizimlar uchun qurilmalarning turli konfiguratsiyalarini katta tanlash imkoniyati;

- Tashqi ODU blokni yoki tashqi antennani ichki blokdan 100 metrdan ortiq masofaga chiqarish imkoniyati.

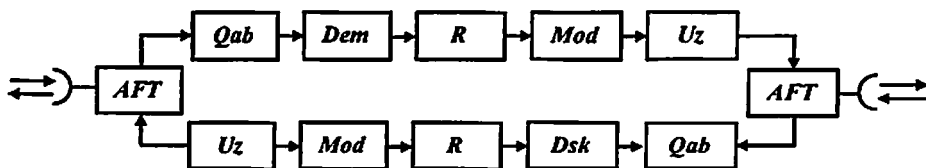
Raqamli stvolni tashkil etish

Raqamli shaklda signallarni uzatish uchun mo‘ljallangan keng polosali RRL stvoli raqamli stvol deyiladi. 7.14a-rasmda raqamli RRL oxirgi stansiyasining tuzilish sxemasi, 7.14b-rasmda oraliq stansiyaning tuzilish sxemasi, 7.14s-rasmda moslashtirish qurilmasining (MQ) tuzilish sxemasi keltirilgan [14].

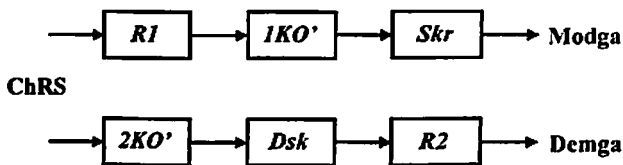
Oxirgi stansiyada interfeys kodidagi chiziqli raqamli signal (ChRS) (masalan, HDB-3) MQ moslashtirish qurilmasining kirishiga beriladi, uning vazifasi ChRSni RRL orqali uzatish uchun qulay shaklga o‘zgartirish hisoblanadi. Mod modulyatorida oraliq chastota signalini parametrlardan (chastota, faza yoki amplituda va faza) biri bo‘yicha modulyatsiyalash amalga oshiriladi.



c) Oxirgi stansiyaning tuzilish sxemasi



a) Tugun stansiyaning tuzilish sxemasi



b) Moslashtirish qurilmasining tuzilish sxemasi

7.14-rasm. Raqamli stvolni tashkil etish

Uzatkichda modulyatsiyalangan *OCh* signal ishchi chastotalar sohasiga o'tkaziladi, kuchaytiriladi va keyin antenna orqali nurlantiriladi. Uzatkichlar va qabul qilgichlar analog radioreleli liniyalar kabi o'sha sxemalar bo'yicha bajariladi. Qarama-qarshi yo'nalishda antenna orqali qabul qilingan signal kuchaytiriladi va *Qab* qabul qilgichda *OCh* sohasiga o'tkaziladi. Keyin *Dem* demodulyatorning chiqishidan raqamli signal moslashtirish qurilmasiga uzatiladi, bu yerda chiziqli raqamli signal hosil bo'ladi.

O'rta stansiya tarkibiga *R* regeneratlari kiradi, ularning vazifasi raqamli signaldagi vaqt va amplituda nisbatlarini qayta tiklash hisoblanadi. Bu tufayli radioreleli liniya bo'ylab shovqinlarni to'planishini oldi olinadi. O'rta stansiya signallarni regeneratsiyalashsiz

retranslyatsiyalash rejimida ishlashi mumkin. Ravshanki, bu holda shovqinlarni to'planishi paydo bo'ladi.

Moslashtirish qurilmasining sxemasini ko'rib chiqamiz (7.14s-rasm). *MQ* kirishiga uzatish tizimlarining apparaturasidan bog'lanish liniyasi orqali chiziqli raqamli signal beriladi. *RI* regeneratorda *ChRS* qayta tiklanadi va *IKO'* kod o'zgartirgichiga beriladi. Bu o'zgartirgichda chiziqli raqamli signal ikkilik qutbli (odatda musbat qutbli) signalga o'zgartiriladi. Bundan tashqari, kod o'zgartirgichida statistik xususiyatlarni yaxshilash uchun chiziqli raqamli signalga kiritilgan ortiqcha ma'lumotlar olib tashlanadi.

IKO' chiqishida NRZ koddagi raqamli signal hosil shakllanadi, bu bilan *Mod* modulyatorining chiqishidagi signal chastotalar polosasining minimal kengligi ta'minlanadi.

SKR skrembler raqamli signalning statistik xususiyatlarini yaxshilash uchun mo'ljallangan. Bu shundan iboratki, raqamli signalda uzun nollar yoki birlar turkumlari paydo bo'lganda takt bo'yicha sinxronlashtirish kanalining ishlashi yomonlashadi, bu esa xatoliklar koeffitsientining ortishiga olib keladi. Bundan tashqari, raqamli signalda muntazam ketma-ketliklari bo'lganda uzatkichning chiqishidagi signal spektri tor chastota diapazonida jamlanadi, bu *RRL* stvollari orasidagi kesishma halaqitlarning ortishiga olib keladi.

Skremblerda raqamli signal psevdotasodifiy impulslar (PTKK) generatorida shakllantirilgan psevdotasodifiy impulslar ketma-ketligi bilan 2 modul bo'yicha qo'shiladi. Bunday mantiqiy operatsiya natijasida raqamli signal deyarli tasodifiy xususiyatlarga ega bo'ladi va shuning uchun yuqoridagi holatlar bo'lmaydi.

2R regenerator radiostvol elementlari kiritadigan buzilishlarni yo'qotadi. *DSK* deskramblerda raqamli signaldan PTKK olib tashlanadi. *2KO'* kod o'zgartirgichi o'z chiqishida interfeys kodida chiziqli raqamli signalni shakllantiradi.

7.4. Sun'iy yo'ldoshli aloqa tizimlarini qurish prinsiplari va o'ziga xos xususiyatlari

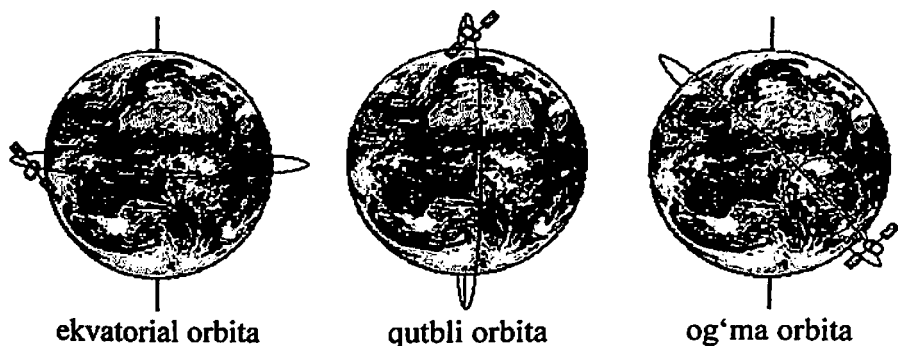
Sun'iy yo'ldoshli aloqa (SYA) retranslyatorlar sifatida Yerning sun'iy yo'ldoshlari - ixtisoslashtirilgan aloqa sun'iy yo'ldoshlaridan foydalanishga asoslangan kosmik radioaloqaning turlaridan biri hisoblanadi. Sun'iy yo'ldoshli aloqa ham statsionar, ham harakatdagi

bo'lishi mumkin yer usti stansiyalari (yer usti yoki uchish apparatlariga o'rnatilgan) o'rtasida amalga oshiriladi [15].

Sun'iy yo'ldoshi aloqa retranslyatorni juda katta balandlikda chiqarish yo'li bilan an'anaviy radioreleli aloqaning rivojlantirilishi hisoblanadi. Bu holda uning maksimal ko'rish zonasini dunyoning deyarli yarmi bo'ladi, u holda retranslyatorlar zanjiriga ehtiyoj bo'lmaydi, aksariyat hollarda bitta retranslyator yetarli bo'ladi.

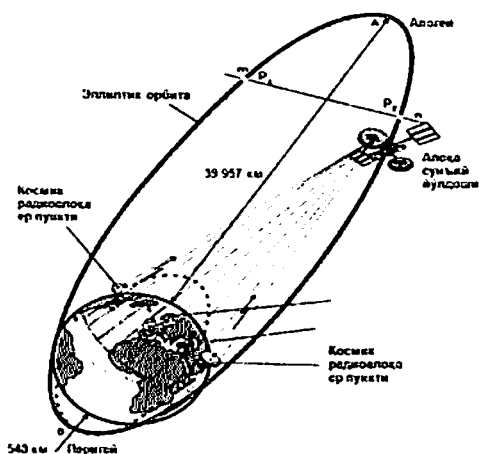
Orbitalarning turlari

Aloqa sun'iy yo'ldoshi doiraviy yoki elliptik orbitada bo'lishi mumkin. shunga ko'ra, Yerning markazi doiraviy orbitaning markazi yoki elliptik orbitaning fokuslaridan biri bilan mos tushadi. Orbital tekislik va ekvatorial tekislik orasidagi α burchakka *og'ish* deyiladi. $\alpha = 0^\circ$ bo'lganda orbita *ekvatorial orbita*, $\alpha = 90^\circ$ bo'lganda orbita *qutbli orbita*, qolgan hollarda orbita *og'ma orbita* (7.15-rasm) deyiladi [15].



7.15-rasm. Orbitalarning turlari

Doiraviy orbitalar Yer yuzasidan og'ishi va balandligi bilan farq qiladi. Elliptik orbitalar Yer yuzasidan A apogey va P perigeyning og'ishi va balandligi bo'yicha farqlanadi (7.16-rasm).



7.15-рasm. Yer sun'iy yo'ldoshining elliptik orbitasi

Apogey va perigeyni tutashiruvchi liniya *apsid* liniyasi deyiladi. Oy, Quyosh, sayyoralarning tortish maydoni, Yerning magnit maydoni, Yerning sharsimonligi va boshqa ta'sir etuvchi omillar vaqt o'tishi bilan orbitaning parametrlarini o'zgarishiga olib keladi. Og'ma elliptik orbitalar uchun, agar $\alpha = 63,4^\circ$ tanlansa, bu o'zgarishlar minimal bo'ladi.

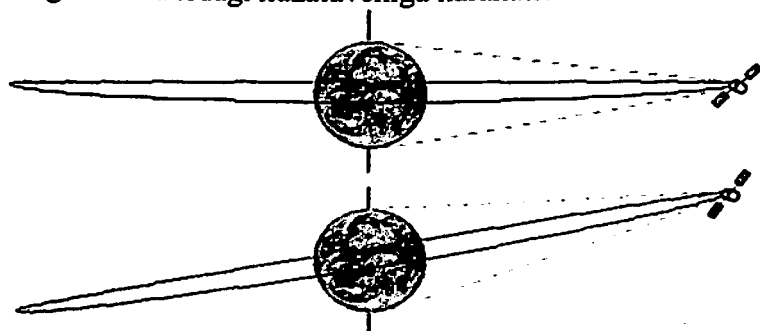
SYAda ikki turdagi orbitalar - elliptik va geostatsionar orbitalar qo'llanildi. Elliptik orbita parametrlari: apogey balandligi taxminan 40 ming km, perigey balandligi taxminan 500 km, $\alpha \approx 63,4^\circ$. Orbitaning apogeyi shimoliy yarim sharning ustida joylashgan. Sun'iy yo'ldoshning aylanish davri 12 soatga teng, sun'iy yo'ldosh kuniga ikki marta aylanadi. Shuning uchun, har kuni u o'sha bir vaqtning o'zida Yerning o'sha bir hududlarida ko'rinadi. Sun'iy yo'ldoshning aylanish davri Yer sutkasiga karrali bo'lgan orbita *subsinkron orbita* deyiladi (7.17-rasm). Keplerning ikkinchi qonuniga binoan sun'iy yo'ldosh yuqori elliptik orbitaning apogey hududida perigeyga qaraganda ancha sekin harakatlanadi.



7.17-rasm. Subsinxron orbita

Aloqa seansi sun'iy yo'ldosh apogeyga tutash orbitaning qismi bo'ylab harakatlenganda amalga oshiriladi. U taxminan 8 soat davom etishi mumkin. Uchta sun'iy yo'ldoshlarni orbitaga joylashtirish bilan tunu kun aloqani saqlab turish mumkin. Bu sun'iy yo'ldoshlar yer usti stansiyasiga (EUS) nisbatan harakatlanadi, shuning uchun EUSlarda sun'iy yo'ldoshni kuzatadigan harakatlanadigan antennalar o'rnatilishi kerak.

Geostatsionar orbita (inglizcha GSO - Geosynchronous Orbit) - ekvatorial doiraviy orbita bo'lib, u uchun $N_3=35786$ km bo'ladi (7.18-rasm). Bu orbitada harakatlanadigan sun'iy yo'ldosh *geostatsionar sun'iy yo'ldosh* deyiladi. U Yer bilan bir xil burchak tezligida aylanadi va shuning uchun Yerdagi kuzatuvchiga harakatsiz bo'lib ko'rinadi.



7.18-rasm. Geostatsionar va geosinxron orbita

Sun'iy yo'ldosh tikda turadigan Yer yuzidagi nuqta sun'iy yo'ldosh ostki nuqtasi deyiladi. Geostatsionar sun'iy yo'ldosh uchun sun'iy yo'ldosh ostki nuqtasi trayektoriyasi ekvatorning bir nuqtasiga aylanadi. Bu nuqtaning uzunligi geostatsionar sun'iy yo'ldoshning

holatini belgilaydi. Bunday sun'iy yo'ldosh orqali aloqani EUS qo'zg'almas antennalari yordamida ta'minlash mumkin.

Chastotalar diapazoni

SYAda signal atmosferaning butun qalinligidan o'tadi. EUS antennalari kosmosga yo'naltirilgan, shuning uchun ularning shovqin harorati kosmos va atmosferadan shovqin nurlanishlariga bog'liq. SYA uchun signallar atmosferada va gidrometeorlarda sezilarli darajada kuchsizlanmaydigan chastotalar mos keladi. Shu bilan birga, bu chastotalarda kosmosdan va atmosferadan shovqin nurlanishlari minimal bo'lishi kerak. Agar EUS antenasi Somon yo'li tomon qarasa, kosmik manbalarning shovqin nurlanishlari maksimal bo'ladi. 1 ... 10 gigagersli chastotalar SYA uchun eng mos keladi. Eslatib o'tamiz, 10 gigagersdan past chastotalarda ham gidrometeorlardagi kuchsizlanish kichik bo'ladi [15].

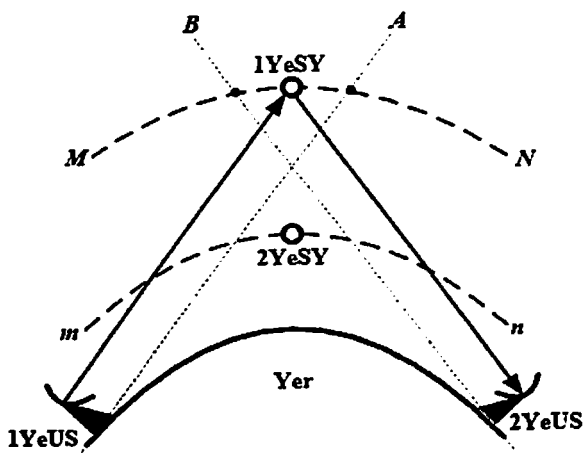
SYA rivojlanishi bilan 1 ... 10 gigagersli diapazonning sig'imi yetarli bo'lmay qoldi. Shuning uchun, SYA uchun yuqoriroq 14/11 gigagersli, 30/20 gigagersli va boshqa chastotalar diapazonlaridan chastotalar polosalari ajratilgan, ammo atmosferada signallarning bu chastotalarda tarqalishida yo'qotishlar endi unchalik kichik emas.

Sun'iy yo'ldoshli aloqani tashkil etish prinsiplari

Sun'iy yo'ldoshli aloqa tizimlarida Yerning sun'iy yo'ldoshlari (YSY) retranslyatsion stansiya rolini o'ynaydi .

1EUS va 2EUS Yer usti stansiyalari o'rtasida radioaloqa o'rnatiladi (7.19-rasm).

A va *B* to'g'ri chiziqlar Yer yuziga tegib turadi va yer usti stansiyalarining joylashish nuqtalari ufq chiziqlari hisoblanadi. *MN* orbitasida harakatlanadigan 1YSY bir vaqtning o'zida 1EUS va 2EUS orqali faqat orbitaning *AB* oralig'ida kuzatiladi. Bu oraliqda harakatlanayotganda 1EUS antennalar tizimi orqali 1YSY yo'nalishida nurlantiriladigan elektromagnit to'lqinlar sun'iy yo'ldoshning bortidagi radioapparatlarga orqali qabul qilinadi, kuchaytiriladi va Yer tomon yo'naltiriladi, bu yerda 2EUS orqali qabul qilinadi.



7.19-rasm. Sun'iy yo'ldosh orqali radioaloqani amalga oshirish prinsipi

Bort apparaturalari bo'lganda radioaloqa tizimi signal aktiv retranslyatsiyalanadigan tizim yoki aktiv sun'iy yo'ldoshli tizim deyiladi. Signal aktiv retranslyatsiyalanadigan tizim orbitaning balandligi va nuqtalar orasidagi masofaga bog'liq ravishda ham oniy retranslyatsiyalashli (real vaqt masshtabidagi tizim), kechiktirilgan retranslyatsiyalashli tizim sifatida bajarilishi mumkin. Hajmi bo'yicha bir xil xabarlarni, masalan, televizion dasturlarni uzatishda kechiktirilgan retranslyatsiyalashli aloqa tizimi oniy retranslyatsiyalashli tizimga qaraganda bort qurilmalarining murakkab kompleksiga ega bo'ladi, chunki oniy retranslyatsiyalashli tizimda xotira apparaturalari kerak emas.

Agar Yerning 2YSY ikkinchi sun'iy yo'ldoshi tn orbita bo'ylab harakatlansa, u holda u bir vaqtda 1EUS va 2EUS orqali kuzatish mumkin bo'lmaydi. Binobarin, 2YSY sun'iy yo'ldoshiga keladigan signallar birdaniga 2EUSga uzatilishi mumkin emas. Bunday holda, radioaloqa tizimi quyidagicha bajariladi: 1EUS ustidan uchib o'tish bilan sun'iy yo'ldosh xabarni qabul qiladi, u dastlabki kuchaytirilgandan keyin bortdagi xotira qurilmalariga uzatiladi. 2EUS ustidagi sun'iy yo'ldoshdagi bort uzatkichi yoqilgan va 1EUSdan sun'iy yo'ldosh olgan ma'lumotlar uzatiladi.

Ko'rish zonasida 2YSY sun'iy yo'ldoshi paydo bo'lishi momentida 2EUS nurlantiradigan maxsus buyruq signalini uzatish bilan yoki sun'iy yo'ldoshning orbital tezligi, uning balandligi va nuqtalar

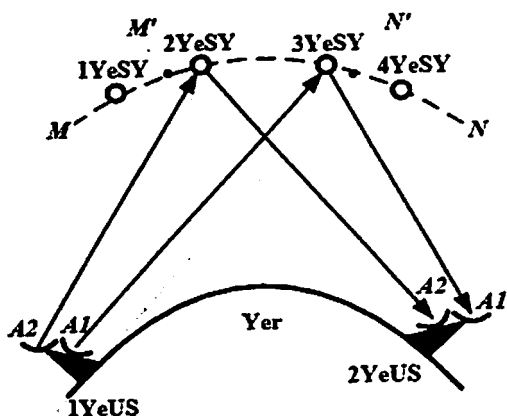
orasidagi masofani hisobga oladigan bort dasturiy qurilmasi orqali uzatkichni yoqish mumkin.

Bortida xotira qurilmalariga ega bo'lgan 2YSY sun'iy yo'ldosh tashuvchi sun'iy yo'ldosh deyiladi, bunday sun'iy yo'ldoshlardan foydalanadigan radioaloqa tizimlari xotirali aloqa tizimi yoki kechiktirilgan retranslyatsiyalashli aloqa tizimi deyiladi. E'tibor bering, nisbatan tor diapazonli signallarni, aynan kam sonli telefon so'zlashuvlari yoki telegraf ma'lumotlarini uzatish uchun tashuvchi sun'iy yo'ldoshdan foydalanish maqsadga muvofiqdir, chunki bu holda xotira qurilmalari osonroq bajariladi.

Radioaloqani tashkil qilish uchun sun'iy yo'ldosh bortida radioapparat va 1EUS orqali yo'naltirilgan signallar 1YSY sun'iy yo'ldosh sirtidan Yer tomonga dastlabki kuchaytirishsiz qaytadigan usulni amalga oshirish mumkin. Bunda qabul qilish punktidagi (2EUS) signallar aktiv retranslyatsiyalashga qaraganda kuchsizroq bo'ladi, ammo antennalarning yetarli kuchaytirishida va sezgir qabul qilgichlarda bu usul ba'zi hollarda qo'llaniladi.

Bu aloqa usuli passiv retranslyatsiyalashli aloqa tizimi yoki passiv sun'iy yo'ldoshli aloqa tizimi deyiladi. Uni faqat signalni darhol retranslyatsiyalashli, ya'ni real vaqt masshtabidagi tizim sifatida bajarilishi mumkin. Ravshanki, 2EUSdan 1EUSga xabarlarini uzatish o'xshash tarzda amalga oshiriladi. Nisbatan past orbitalarda (7.19-rasmdagi *mn*) uzoq muddatli uzluksiz aloqani ta'minlash faqat sun'iy yo'ldoshlar sonining oshirishda bo'lishi mumkin (7.20-rasm).

Bunday holda, 1EUS va 2EUS ikkita *A1* va *A2* antennalar bilan jihozlangan bo'lishi kerak, ular bir vaqtning o'zida joylashgan *M' - N'* ko'rish zonasida bo'lgan sun'iy yo'ldoshlardan biri, masalan, 3YSY sun'iy yo'ldoshdan foydalanish bilan signallarni uzatishi va qabul qilishi mumkin. 3YSY ko'rish zonasidan chiqib ketganda, aloqa *A2* antenna va 2YSY sun'iy yo'ldosh yordamida amalga oshiriladi. 2YSY sun'iy yo'ldoshning ko'rish zonasidan chiqib ketishida signallarni uzatish va qabul qilish bu sun'iy yo'ldoshga yo'naltirilgan 1YSY sun'iy yo'ldosh va *A1* antenna orqali amalga oshirilishi kerak va hokazo.



7.20-rasm. Bir nechta sun'iy yo'ldoshli aloqa tizimi

Ravshanki, uzluksiz aloqani olish uchun qo'shni sun'iy yo'ldoshlar orasidagi masofa bir vaqtda ko'rish zonasidan kichik bo'lishi kerak, ya'ni bunday aloqa turida sun'iy yo'ldoshlar soni katta bo'ladi. Nuqtalar orasidagi masofa, orbitaning balandligi, shakli va og'ishiga bog'liq ravishda ularning soni 10-12 dan 40-50 gacha bo'lishi mumkin.

Bir nechta sun'iy yo'ldoshlarga ega bo'lgan aloqa tizimi signallarni ham aktiv, ham passiv retranslyatsiyalashli bo'lishi mumkin. Bu usullarning har biri o'z afzalliklari va kamchiliklariga ega. Passiv retranslyatsiyalashda qabul qilish nuqtasidagi maydon kuchlanganligi juda kichik bo'ladi, bu esa yer usti apparaturalarini sezilarli murakkablashtirish - katta hajmli antennalar, quvvatli uzatkichlar va parametri va molekulyar kuchaytirgichlarga ega bo'lgan sezgir qabul qiluvchilarning qo'llanishini talab qiladi. Biroq, bort apparaturalarining bo'lmasligi tufayli retranslyator oddiy bo'ladi, passiv shli tizim katta ishonchlilikka ega bo'ladi. Biroq, bu holda retranslyatsiyalanadigan signallar polosasining cheklanmagan yoki passiv retranslyatorlar chiziqli tizimlar hisoblanadi va shuning uchun o'zaro halaqitlarsiz turli chastotalarda va turli quvvat sathlarida ishlaydigan bir nechta aloqa liniyalarida bir vaqtning o'zida ishlatilishi mumkin [15].

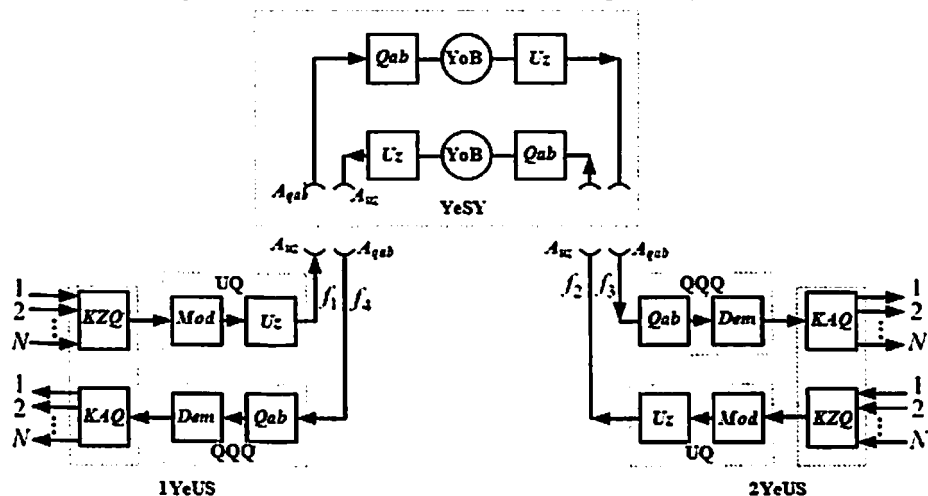
Shunday qilib, yangi aloqa kanallari yoki liniyalarini olish uchun faqat qo'shimcha yer usti nuqtalarini qurilishi yoki yer usti uzatish va qabul qilish qurilmalari kompleksini mos oshirish talab etiladi.

Bunga aksincha, aktiv retranslyatorlar cheklangan chastotaviy va

dinamik diapazonga ega va shuning uchun faqat ma'lum sonli signallarni uzatish uchun qo'llanilishi mumkin.

Oddiyroq yer usti antennalari va pastroq quvvat uzatkichlaridan foydalanishga imkon beradigan sezilarli yaxshiroq energetik ko'rsatkichlar katta chastotalar polosalarini egallaydigan signallarni uzatishda aktiv retranslyatsiyalashning muhim afzalligi hisoblanadi.

1EUS va 2EUS o'rtasidagi YSY orqali aloqaning soddalashtirilgan tuzilish sxemasini ko'rib chiqamiz (7.21-rasm).



7.21-rasm. YSY orqali radioaloqa tizimining soddalashtirilgan tuzilish sxemasi

Abonentlari tomonidan uzatiladigan bir xil chastota spektrlariga ega bo'lishi mumkin bo'lgan 1, 2, ..., N signallar 1EUS kanallarni zichlashtirish (multiplekslash) qurilmasiga (KZQ) beriladi. KZQ bir nechta signallarning bitta aloqa liniyasi orqali uzatilishini ta'minlaydi. Hozirgi vaqtda kanallarni chastota, vaqt, qutblanish bo'yicha zichlashtirish tizimlari keng qo'llanilmoqda.

KZQdan tebranishlar U_z uzatkichning *Mod* modulyatoriga beriladi. Keyin fider trakti bo'yicha f_1 tashuvchisi chastotali modulyatsiyalangan tebranishlar A_{uz} uzatish antennasi orqali YSY tomonga nurlantiriladi.

Sun'iy yo'ldosh bortida f_1 tashuvchi chastotali tebranishlar A_{qab} qabul qilish antennasi orqali qabul qilinadi va Q_{ab} qabul qilgichning kirishiga beriladi. YOB yordamchi bosqichida kuchaytirilgandan va kerakli o'zgartirishlardan keyin (masalan, f_1 tashuvchi chastotadan f_3

tashuvchi chastotasiga o'tkazilgandan keyin) bu tebranishlar U_z bort uzatkichiga beriladi va uzatish antenasi yordamida f_3 chastotali tebranishlar Yer tomonga nurlantiriladi.

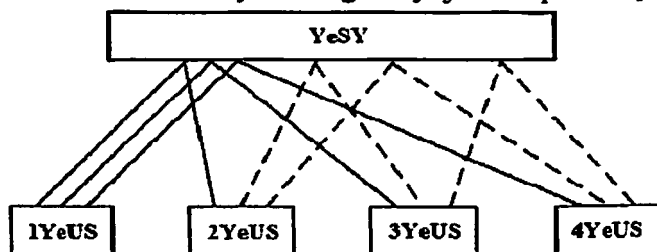
f_3 tashuvchi chastotali tebranishlar 2EUS A_{qab} qabul qilish antenasi orqali qabul qilinadi va QQQ qabul qilish qurilmalari kompleksining tarkibiga kiradigan Qab qabul qilgich kirishiga beriladi. Detektorlashdan keyin tebranishlar kanallarni ajratish qurilmasiga (KAQ) beriladi, keyin esa ular nuqtalarga beriladi.

2EUSdan 1EUSga aloqa ko'rib chiqilgan aloqaga o'xshash, ammo o'zaro halaqitlarni oldini olish uchun f_2 a f_4 chastotalar ishlatiladi. Shunday qilib, YSY orqali aloqa tizimlarida dupleks ishlash uchun to'rtta chastotalar talab qilinadi.

Sun'iy yo'ldoshli aloqa tarmoqlarini tashkil qilishda retranslyatorlardan foydalanish usullari

Aloqa sun'iy yo'ldoshi tarmoqning muhim elementi bo'lib, sezilarli darajada uning qurilishini belgilaydi. Tarmoqlarni tashkil qilishda aktiv yoki passiv bo'lishidan qat'i nazar, sun'iy yo'ldoshli retranslyatordan foydalanishning turli xil variantlari bo'lishi mumkin. Sun'iy yo'ldoshli retranslyatordan foydalanish variantini tanlash loyihalanaadigan aloqa tarmog'i qondirishi kerak bo'ladigan talablarga bog'liq. Tarmoqda sun'iy yo'ldoshdan foydalanishning eng oddiy varianti shundan iboratki, tarmoq stansiyalari sun'iy yo'ldosh orqali o'tadigan bog'liq bo'lmagan alohida aloqa liniyalari orqali to'g'ridan-to'g'ri o'zaro bog'lanadi (7.22-rasm) [15].

Har bir bunday liniya dupleks bo'lishi kerak, ya'ni stansiyalar nurlantiradigan ikkita signallarga ega bo'lishi kerak. i stansiyadan j stansiyagacha bo'lgan liniyadagi r_{ij} simpleks kanallar soni turlicha bo'lishi mumkin va bu stansiyalarning ehtiyojlari orqali aniqlanadi.



7.22-rasm. Alohida aloqa liniyalari yordamida YSY orqali to'g'ridan-to'g'ri aloqa

E'tibor bering, alohida liniyalar bo'yichai to'g'ridan-to'g'ri aloqali stansiyalarga ega bo'lgan sun'iy yo'ldoshli aloqa tarmog'i optimal hisoblanmaydi. Uning asosiy kamchiligi nisbatan past quvvatli ko'p sonli alohida aloqa liniyalariga ega bo'lish zaruratiga bog'liq.

Qaralayotgan variantning kamchiliklariga quyidagilarni kiritish mumkin:

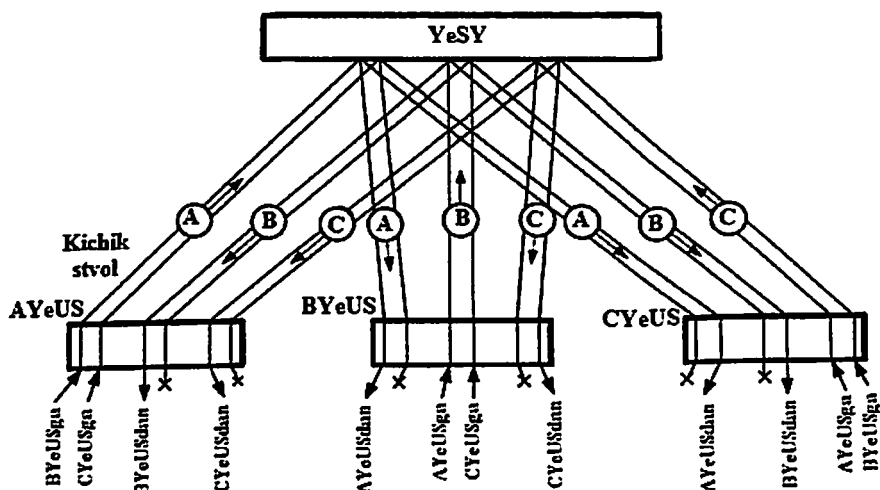
1. Liniyalardagi kanallardan foydalanishning past samaradorligi, chunki kichik kanallar nurlari har doim past foydalanish koeffitsientiga ega;

2. Retranslyatorning quvvati va polosasidan foydalanishning past samaradorligi (o'sha sababga ko'ra).

Sun'iy yo'ldoshli aloqa tizimlari sezilarli samaraliroq tarmoqlarni qurishga imkon beradi. Bunday tarmoqning variantlaridan biri bu alohida liniyalardan emas, balki birlashtirilgan quvvatli kanallar nurlarini (guruhlarini) ishlatadigan to'g'ridan-to'g'ri aloqali stansiyalarga ega bo'lgan tarmoq hisoblanadi.

Bunday tarmoqning ishlash prinsipi quyidagicha: tarmoq stansiyalaridan biri, masalan AEUS barcha o'z ma'lumotlarini kanallarning quvvatli umumiy nurida (u ko'p kanalli kichik stvol deyiladi) sun'iy yo'ldoshga nurlantiradi (7.23-rasm). Bu kichik stvolda xabarlar bir vaqtning o'zida bu stansiyaning barcha nuqtalariga uzatiladi, ya'ni maksimal variantda bu kichik stvolda tarmoqdagi (S-1) boshqa stansiyalarga yo'naltirilgan signallar bo'ladi.

Signallar sun'iy yo'ldosh orqali retranslyatsiyalanadi va Yerga nurlantiriladi, bu Yerdagi tarmoqning (S-1) stansiyalari orqali qabul qilinadi. Har bir stansiya (masalan, BEUS) ko'p kanalli kichik stvolni qabul qilish bilan dastlab uni alohida kanallarga ajratadi, keyin maxsus boshqarish va kommutatsiyalash tizimidan foydalanish bilan undan faqat aynan unga yo'naltirilgan kanallarni ajratadi.

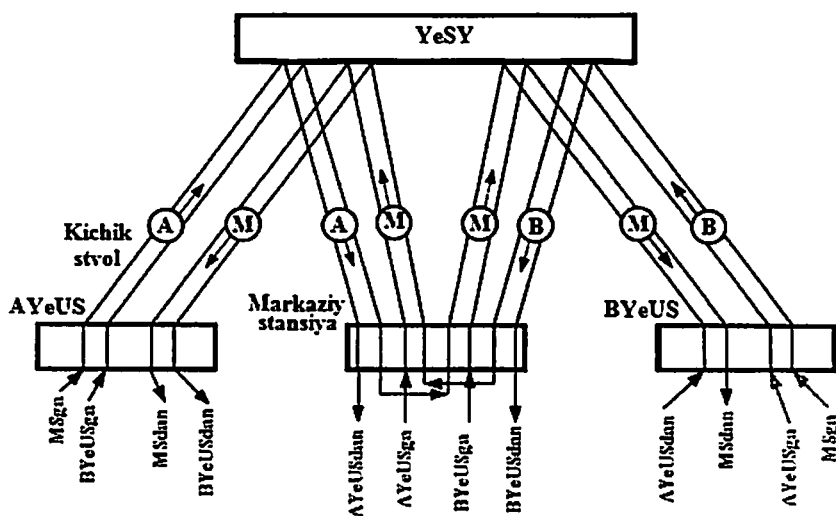


7.23-rasm. Birlashtirilgan nurlar yordamida to'g'ridan-to'g'ri aloqada ISY retranslyatoridan foydalanish

O'z navbatida, AEUS stansiyasiga javob berish bilan, ya'ni javob kanalini tashkil qilish bilan bu stansiya uni qolgan nuqtalarga yo'naltirilgan kanallar bilan birgalikda umumiy nurga kiritadi. Tarmoqda va sun'iy yo'ldoshda ishlashning bu usulida atigi S quvvatli ko'p kanalli simpleks aloqa stvollariga ega bo'lish kerak, bu bunday usulning afzalligi hisoblanadi. Biroq, bu holda, har bir yer usti stansiyasi faqat bitta stvolni uzatish bilan ($S-1$) kichik stvollarini qabul qilish (individual kanallarga ajratishgacha) imkoniyatiga ega bo'lishi kerak.

Shunday qilib, quvvatli birlashtirilgan kanallar nurlaridan foydalanish bilan to'g'ridan-to'g'ri aloqa usulining asosiy kamchiligi yer usti stansiyalarining qabul qilish qurilmalaridan yomon foydalanishdan iborat.

Sun'iy yo'ldoshli aloqa tarmog'ining yana bir bo'lishi mumkin ishlash usulini ko'rib chiqamiz, u markaz orqali aloqa deyiladi. Bu holda ham tarmoqning har bir stansiyasi bitta markaziy stvoldan tashqari, o'z nuqtalari uchun mo'ljallangan barcha ma'lumotlarni bitta umumiy ko'p kanalli stvolda nurlantiradi (7.24-rasm) [15].



7.24-rasm. Markaz orqali aloqaga ega bo'lgan tarmoqni tashkil qilishda YSY retranslyatoridan foydalanish

Bu kichik stvollarning signallarini faqat bitta markaziy stansiyada (MS) qabul qilinadi. Shunday qilib, MS barcha periferiya stansiyalaridan (PS) ($S-1$) kichik stvollar bo'yicha ma'lumotlarni qabul qiladi. Keyin markaziy stansiyada barcha qabul qilingan kichik stvollarni individual kanallarga to'liq ajratish va ularni qayta kommutatsiyalash amalga oshiriladi.

Markaz orqali aloqani ishlatadigan tarmoqda ikkita asosiy kamchiliklar mavjud. Birinchidan, sun'iy yo'ldoshli retranslyatoridan yomon foydalanish; ikkinchidan, periferiya stansiyalar orasidagi kanallarda ikkita sakrashlar mavjud.

Shunday qilib, sun'iy yo'ldosh tarmoqlarini tashkil qilishning asosiy variantlari, ularda retranslyatorlardan foydalanish usuli nuqtai nazaridan ko'rib chiqildi.

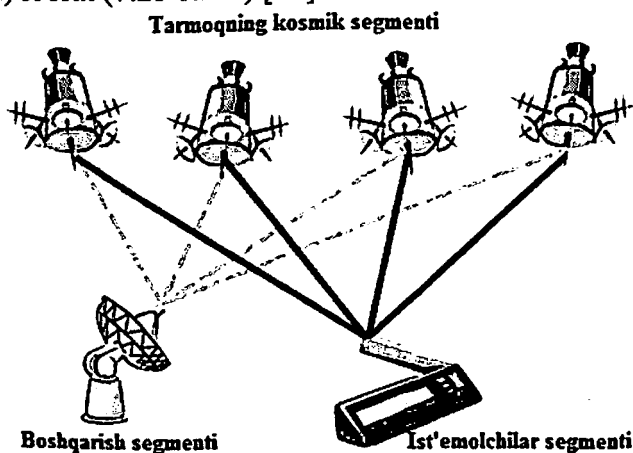
Bortda kommutatsiyalashli sun'iy yo'ldoshdan foydalanadigan ko'p kanalli aloqa liniyalariga ega bo'lgan tarmoqlarni tashkil qilish usuli bo'lishi mumkin. Bunday tarmoqda har bir stansiya barcha ma'lumotlarni sun'iy yo'ldoshga bitta ko'p kanalli stvolda nurlantiradi. Sun'iy yo'ldoshda barcha stansiyalardan ma'lumotlar qabul qilinadi, individual kanallarga bo'linadi, ular belgilangan manzillarga muvofiq qayta kommutatsiyalanadi va har biri sun'iy yo'ldoshdan mos stansiyaga yo'naltiriladigan yangi ko'p kanalli kichik simvollar

shakllantiriladi. Bunday tarmoqda ham sun'iy yo'ldosh, ham yer usti qurilmalari to'liq ishlatiladi va bu tomondan bunday aloqa tizimi optimal hisoblanadi. Biroq, sun'iy yo'ldoshning retranslyatori murakkab, juda katta va qimmat tuzilmaga aylanadi, bu esa "narx-sifat" nuqtai nazaridan har doim ham qabul qilinmaydi.

Ko'rib chiqilgan variantlarni taqqoslash bilan shuning yodda tutish kerakki, ularning har biri qator afzalliklarga va kamchiliklarga ega bo'lib, bu ularning loyihlanadigan sun'iy yo'ldoshli aloqa tarmoqlarida qo'llanilishini aniqlaydi.

7.5. Sun'iy yo'ldoshli navigatsiya

Sun'iy yo'ldosh navigatsiya tizimi (*angl.* Global Navigation Satellite System, GNSS) Yer, suv va havo obyektlarining joylashish o'rnini (geografik koordinatalarini) aniqlash uchun mo'ljallangan tizim hisoblanadi. Sun'iy yo'ldoshli navigatsiya tizimlari signallarni qabul qilgichning tezligi va yo'nalishini ham olishga imkon beradi. Bundan tashqari, aniq vaqtni olish uchun ham foydalanish mumkin. Bunday tizimlar kosmik qurilmalar va Yer segmentidan (boshqarish tizimlaridan) iborat (7.25-rasm) [15].

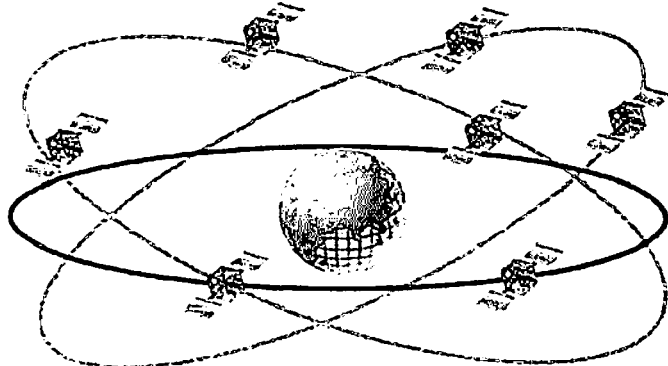


7.25-rasm. Sun'iy yo'ldoshli navigatsiya tizimining asosiy elementlari

Sun'iy yo'ldoshli navigatsiya tizimining asosiy elementlari

Kosmik segment

Navigatsion sun'iy yo'ldoshlardan tashkil topgan kosmik segment bir vaqtning o'zida sezilarli miqdordagi xizmat ma'lumotlarini uzatadigan radionavigatsion signallari manbalari to'plami hisoblanadi. Har bir sun'iy yo'ldoshning asosiy funksiyalari iste'molchilarning navigatsion aniqlashlari va sun'iy yo'ldosh bort tizimlarini nazorat qilish uchun zarur bo'ladigan radiosignallarni shakllantirish va nurlantirish hisoblanadi (7.26-rasm).



7.26-rasm. Sun'iy yo'ldoshli navigatsiya tizimining kosmik segmenti

Yer usti (boshqarish) segmenti

Yer segmenti tarkibiga kosmodrom, qo'mondonlik-o'lchov kompleksi va boshqarish markazi kiradi. Kosmodrom navigatsion tizimni dastlabki joylashtirilishi paytida sun'iy yo'ldoshlarni kerakli orbitalarga olib chiqilishini, shuningdek, ular ishdan chiqqanda yoki resurslari tugaganida sun'iy yo'ldoshlarni vaqti-vaqti bilan to'ldirilishini ta'minlaydi.

Kosmodromning asosiy obyektlari texnik pozitsiya va uchirish kompleksi hisoblanadi. Texnik pozitsiya raketa tashuvchilar va sun'iy yo'ldoshlarni qabul qilish, saqlash va yig'ish, ularni sinovdan o'tkazish, yonilg'i quyish va birlashtirishni ta'minlaydi. Uchirish kompleksining vazifalari navigatsion sun'iy yo'ldoshli raketani uchirish maydoniga yetkazish, uchirish tizimini o'rnatish, parvoz oldidan sinovlar, raketaga yonilg'i quyish, yo'naltirish va uchirishdan iborat [15].

Qo'mondonlik-o'lchov kompleksi navigatsiya sun'iy yo'ldoshlarini navigatsiya seanslarini o'tkazish uchun zarur bo'ladigan

xizmat ma'lumotlari bilan ta'minlash uchun, shuningdek ularni kosmik kemalar sifatida nazorat qilish va boshqarish uchun xizmat qiladi.

Kosmodrom va qo'mondonlik-o'lchov kompleksi bilan axborot va boshqarish radioliniyalari orqali bog'langan boshqarish markazi sun'iy yo'ldoshli navigatsiya tizimining barcha elementlarining ishlashini muvofiqlashtiradi.

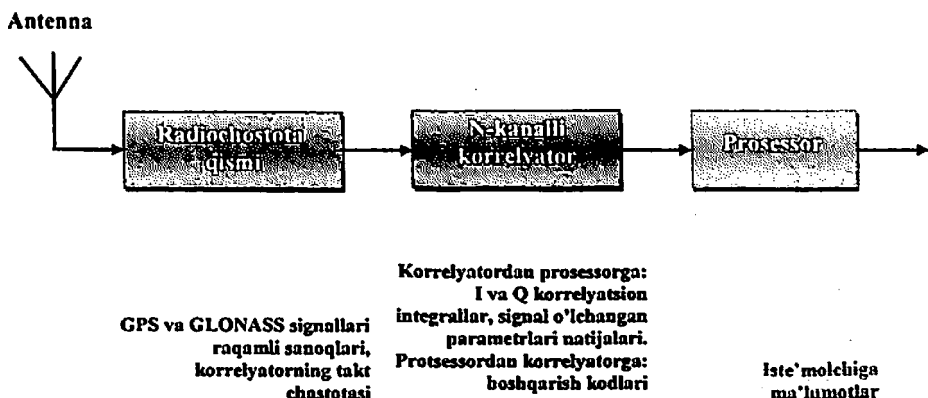
Foydalanuvchilar segmenti

Foydalanuvchilar segmenti sun'iy yo'ldoshlardan olinadigan radiosignallarni qabul qilish va ularga ishlov berish natijasida fazoviy koordinatalar, tezlik vektori joriy vaqt va boshqa navigatsion parametrlarni aniqlaydi. Qabul qilgich ko'p kanalli qurilma hisoblanadi va unda signallarni analog kuchaytirish, filtrlash va tashuvchi signallar chastotalarini o'zgartirish (chastotani pasaytirish), shuningdek analog signalni raqamli signalga o'zgartirish bo'lib o'tadi. Binobarin, sun'iy yo'ldoshlarning har biridan signallar o'z tashuvchi chastotasiga ega bo'ladi, u holda har bir kanal tashuvchi signallardan birining chastotasiga sozlanishi va bu tashuvchi signallar boshqa tashuvchi signallardan ajratishi kerak.

Sun'iy yo'ldoshlar signallarini qabul qilgichlar sun'iy yo'ldoshli navigatsion tizimlarning foydalanuvchilar segmentiga kiradi. Bu signallarning parametrlarini o'lchashlar yordamida navigatsion vazifa bajariladi. Qabul qilgich uchta funksional qismlar – radichastotaviy, raqamli korrelyator va protsessor qismlariga bo'linadi (7.27-rasm).

Navigatsiya tizimining ishlash prinsipi

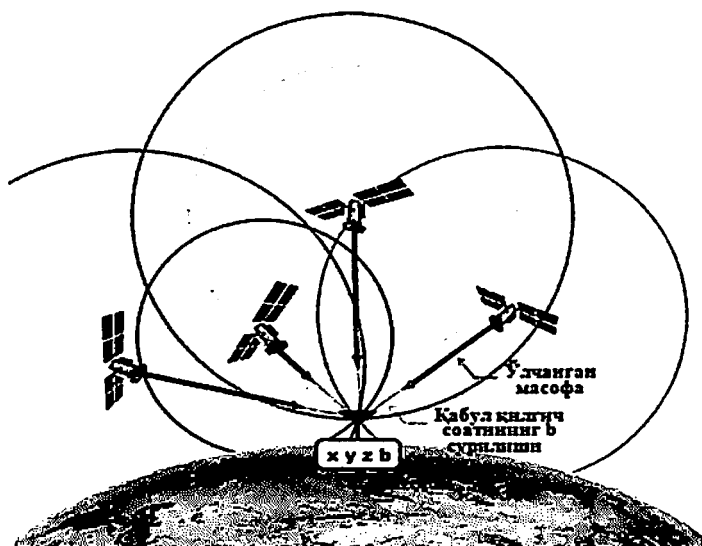
Zamonaviy sun'iy yo'ldoshli navigatsiya navigatsiion sun'iy yo'ldoshlar va iste'molchi o'rtasida talab qilinmaydigan uzoq masofani o'lchash prinsipidan foydalannishga asoslanadi. Bu shuni anglatadiki, iste'molchiga navigatsion signal tarkibida sun'iy yo'ldoshlarning koordinatalari haqidagi ma'lumotlar uzatiladi. Bir vaqtning o'zida (sinxron ravishda) navigatsiion sun'iy yo'ldoshlargacha masofani o'lchash amalga oshiriladi. Masofalarni o'lchash usuli sun'iy yo'ldoshdan qabul qilingan signalning iste'molchi qurilmasi generatsiyalaydigan signal bilan taqqoslashdagi vaqt bo'yicha kechikishlarni hisoblashga asoslanadi [15].



7.27-rasm. GPS qabul-qilgichning umumlashtirigan tuzilmasi

7.28-rasmda to'rtta navigatsion sun'iy yo'ldoshlargacha masofalarni o'lchash asosida x , y , z koordinatalarga ega bo'lgan iste'molchining joylashish o'rnini aniqlash sxemasi keltirilgan. Rangli yorqin chiziqlar bilan markazida sun'iy yo'ldoshlar joylashgan doiralari ko'rsatilgan. Doiralarning radiuslari haqiqiy masofalarga, ya'ni sun'iy yo'ldoshlar va iste'molchilar o'rtasidagi haqiqiy masofalar mos keladi. Rangli noyorqin chiziqlar o'lgangan masofalarga mos keladigan radiusli doiralari bo'lib, ular haqiqiy masofalardan farq qiladi va shuning uchun ularni psevdomasofalar deyiladi.

Haqiqiy masofa psevdomasofadan yorug'lik tezligini soatning b surilishiga, ya'ni tizim vaqtiga nisbatan iste'molchi soatining surilishiga teng bo'lgan qiymatga farq qiladi. 7.28-rasmda iste'molchi soatining surilishi noldan katta bo'ladigan holat, ya'ni iste'molchining soati tizim vaqtdan oldinroq bo'ladigan holat ko'rsatilgan, shuning uchun o'lgangan psevdomasofalar haqiqiy masofalardan kichik bo'ladi.



7.28-рasm. То'rtта навигatsioon sun'iy yo'ldoshlargacha masofalarni o'lchash asosida x, y, z koordinatalarga ega bo'lgan iste'molchining joylashish o'rmini aniqlash sxemasi

Ideal holda, o'lchovlar aniq bajarilganda va sun'iy yo'ldosh va iste'molchi soatlarining ko'rsatishlari mos kelsa, iste'molchining kosmosdagi o'rmini aniqlash uchun uchtagacha navigatsioon sun'iy yo'ldoshlargacha masofalarni o'lchash yetarli bo'ladi. Aslida, iste'molchining navigatsioon apparaturasining tarkibiga kiradigan soatlarning ko'rsatishlari navigatsioon sun'iy yo'ldoshlar bortidagi soatlarning ko'rsatishlaridan farq qiladi. U holda navigatsioon masalani yechish uchun oldin noma'lum parametrlarga (iste'molchining uchta koordinatalari) yana bitta parametr - iste'molchining soati va tizim vaqti o'rtasidagi surilish qo'shilishi kerak. Bundan kelib chiqadiki, umumiy holda navigatsioon masalanini yechish uchun iste'molchi kamida to'rtta navigatsiya sun'iy yo'ldoshlarni "ko'rish" kerak.

Koordinatalar tizimlari

Navigatsioon sun'iy yo'ldoshli tizimlarning ishlashi uchun Yerning aylanish parametrlari, Oy va sayyoralarning fundamental efemeridlari, Yerning tortishish maydoni, atmosfera modellari to'g'risidagi ma'lumotlar, shuningdek, ishlatiladigan koordinatalar va vaqt tizimlari bo'yicha yuqori aniqlikdagi ma'lumotlar zarur bo'ladi [15].

Geomarkaziy koordinatalar tizimlari boshlanishi Yer og'irlik markaziga mos keladigan koordinatalar tizimlari hisoblanadi. Ular yana umumiy Yer yoki global koordinatalar tizimlari deyiladi.

Umumiy yer usti koordinatalar tizimlarini qurish va saqlash uchun kosmik geodeziyaning quyidagi to'rtta asosiy usullari qo'llaniladi:

- o'ta uzun bazali radiointerferometriya (O'UBR);
- kosmik apparatlarni lazerli lokatsiyasi (SLR);
- dopler o'lchash tizimlari (DORIS);
- GLONASS, GRS va boshqa GNSS kosmik apparatlarining

navigatsion o'lchovlari.

ITRF xalqaro Yer koordinatalar tizimi yer usti koordinatalar tizimining etaloni hisoblanadi.

Zamonaviy navigatsion sun'iy yo'ldoshli tizimlarda turli xil, odatda milliy koordinatalar tizimlar qo'llaniladi (7.2-jadval).

7.2-jadval

Milliy koordinatalar tizimlari

Navigatsion tizim	Koordinatalar tizimi
GLONASS koordinatalar tizimi	PZ-90 (1990 yilgi Yer parametrlari)
GPS koordinatalar tizimi	WGS-84 (World Geodetic System)
GALILEO koordinatalar tizimi	GTRF (Galileo Terrestrial Referenfce Frame)
BEYDOU koordinatalar tizimi	CGCS2000 (China Geodetic Coordinate System 2000)
QZSS koordinatalar tizimi	JGS (Japanese geodetic system)
NavIC koordinatalar tizimi	WGS-84 (World Geodetic System)

Vaqt tizimlari

Yechilishi masalalarga muvofiq, astronomik va atom vaqt tizimlari qo'llaniladi.

Astronomik vaqt tizimlari Yerning sutkalik aylanishiga asoslangan. Astronomik vaqt shkalasini qurish uchun etalon bo'lib vaqtni o'lchash o'tkaziladigan fazoviy sferaning nuqtasiga bog'liq ravishda quyosh yoki yulduzlar sutkalari xizmat qiladi.

UT (Universal Time) umumjahon vaqti Grinvich meridianidagi o'rtacha quyosh vaqti hisoblanadi.

UTC muvofiqlashtirilgan butundunyo vaqti atom vaqti bilan sinxronlashtirilgan va bu fuqarolik vaqti asoslanadigan xalqaro standart hisoblanadi.

Atom vaqti (TAI) asosiga bir energetik holatdan boshqa energetik holatga o'tishda atomlar yoki molekular nurlantiradigan elektromagnit tebranishlarni o'lchash qo'yilgan vaqt hisoblanadi. 1967 yilda o'lchamlar va vaznlar Bosh konferensiyasida atom sekundi tashqi maydonlar ta'sir qilmaydigan va bu o'tish chastotasiga $9\ 192\ 631\ 770$ GYers qiymat beriladigan 133-seziy atomi $2S1/2$ asosiy holatining $F=4$, $M=0$ va $F=3$, $M=0$ o'ta yupqa sathlari orasidagi o'tish hisoblanadi.

Sun'iy yo'ldoshli radionavigatsion tizimi butun Yer yuzidagi bo'shliqni qamrab oladigan va o'z tizim vaqtida ishlaydigan ta'sir zonasiga ega bo'lgan fazoviy-vaqt tizimi hisoblanadi. GNSSda muhim o'rin kichik tizimlarni vaqt bo'yicha sinxronlashtirish muammosiga ajratiladi. Vaqt bo'yicha sinxronlashtirish barcha navigatsion sun'iy yo'ldoshlardan signallarning nurlantirilishining berilgan ketma-ketligini ta'minlash uchun ham muhim. Bu passiv masofalarni o'lchash (psevdo masofalarni o'lchash) usullaridan foydalanishga imkon beradi. Yer usti qo'mondonlik-o'lchov kompleksi barcha navigatsion kosmik apparatlarning vaqt shkalalarini ularni solishirish va tuzatish (to'g'ridan-to'g'ri va algoritmik) yo'li bilan sinxronlashtirishni ta'minlaydi.

Navigatsion radiosignallar

Sun'iy yo'ldoshli radionavigatsion tizimlarda ishlatiladigan signallarning turlari va parametrlarini tanlashda butun talablar va shartlar kompleksi hisobga olinadi. Signallar signalning kelishi (kechikishi) vaqti va uning Dopler chastotasini o'lchashning yuqori aniqligini va navigatsion xabarning to'g'ri dekodlanishining yuqori ehtimolligini ta'minlashi kerak. Shuningdek, signallar turli navigatsion kosmik apparatlarning signallari iste'molchilarning navigatsion apparaturalari orqali ishonchli ajralitilish uchun o'zaro korrelyatsiyaning past darajasiga ega bo'lishi kerak. Bundan tashqari, GNSS signallari past tashqi polosali nurlanish sathida ajratilgan chastotalar polosasidan maksimal samarali foydalanishi va yuqori halaqitbardoshlikka ega bo'lishi kerak [15].

Hind IRNSS tizimidan tashqari, deyarli barcha mavjud navigatsiya sun'iy yo'ldosh tizimlari signallarni uzatish uchun L-diapazondan foydalanadi. IRNSS tizimi qo'shimcha ravishda S-diapazonda ham signallarni nurlantiradi (7.27- rasm).

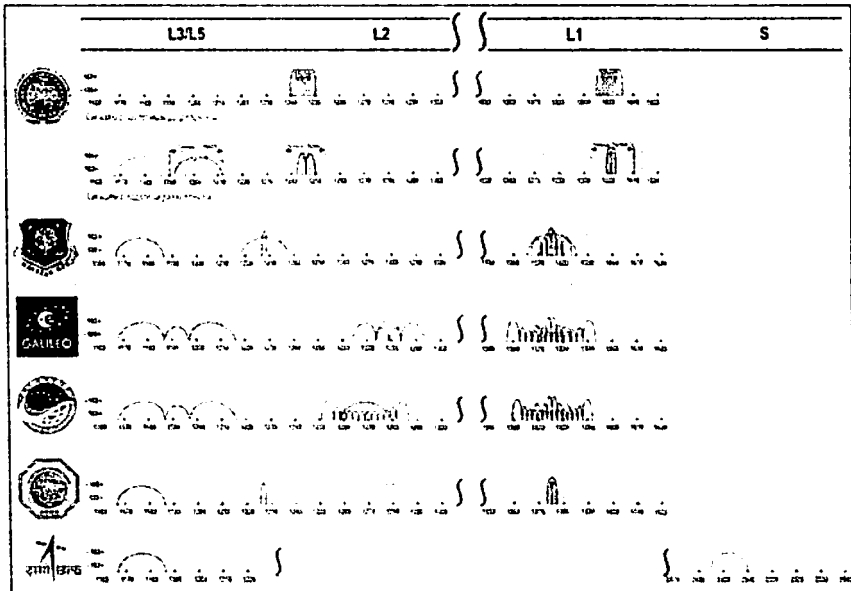
Modulyatsiyalash turlari

Sun'iy yo'ldoshli navigatsion tizimlarning rivojlanishi bilan foydalaniladigan radiosignallarni modulyatsiya qilish turlari ham o'zgardi.

Ko'plab navigatsion tizimlarda dastlab faqat binar (ikki pozitsiyali) fazaviy modulyatsiyalash - FM-2 (BPSK) signallaridan foydalanilgan. Hozirgi vaqtda sun'iy yo'ldosh navigatsiyada BOC (Binary Offset Carrier)-signallar nomini olgan yangi modulyatsiyalash funksiyalari sinfiga o'tish boshlandi [15].

BOC-signallarning BPSK signallardan asosiy farqi shundaki. BOC-signalda modulyatsiyalovchi PTKKning simvoli ta to'rtburchakli videoimpuls emas, balki ma'lum bir k doimiy davrlar sonini o'z ichiga olgan meandrli tebranishning bo'lagi hisoblanadi. Shuning uchun BOC-modulyatsiyalangan signallar ko'pincha meandrli shovqinsifat signallar deyiladi.

BOC-modulyatsiyalangan signallardan foydalanish potensial o'lchash aniqligi va kechikish bo'yicha ruxsat etish qobiliyatini oshiradi. Shu bilan birga, an'anaviy va yangi signallarni birgalikda ishlatadigan navigatsion tizimlar birgalikda ishlaganda o'zaro o'zaro halaqitlar sathlari kamayadi.



7.27-rasm. Turli navigatsion sun'iy yo'ldoshli tizimlar egallaydigan diapazonlar

BOC-signalning BPSK signalardan asosiy farqi shundaki, BOC-signalda modulyatsiyalovchi PTKKning simvoli to'rtburchakli videoimpuls emas, balki ma'lum bir k doimiy davrlar sonini o'z ichiga olgan meanderli tebranishning bo'lagi hisoblanadi. Shuning uchun BOC-modulyatsiyalangan signallar ko'pincha meandrli shovqinsifat signallar deyiladi.

BOC-modulyatsiyalangan signalardan foydalanish potentsial o'lchash aniqligi va kechikish bo'yicha ruxsat etish qobiliyatini oshiradi. Shu bilan birga, an'anaviy va yangi signallarni birgalikda ishlatadigan navigatsion tizimlar birgalikda ishlaganda o'zaro o'zaro halaqitlar sathlari kamayadi.

Navigatsion xabar

Har bir sun'iy yo'ldosh yer usti boshqarish stansiyalaridan navigatsion ma'lumotlarni oladi va ular foydalanuvchilarga navigatsion xabar tarkibida qayta uzatiladi. Navigatsion xabar foydalanuvchining joylashish o'rnini aniqlash va uning vaqt shkalasini milliy etalon bilan sinxronlashtirish uchun zarur bo'ladigan har xil turlardagi ma'lumotlarga ega bo'ladi.

Navigatsiya xabarlar ma'lumotlari turlari

- sun'iy yo'ldoshning koordinatalarini yetarlicha aniqlikda hisoblash uchun zarur bo'ladigan efemerid ma'lumotlar;

- navigatsion o'lchashlarda kosmik apparat vaqtining surilishini hisobga olish uchun tizim vaqt shkalasiga nisbatan bort vaqt shkalasining farqidagi xatolik;

- iste'molchilarni sinxronlashtirish masalasini yechish uchun navigatsion tizimning vaqt shkalasi va milliy vaqt shkalasi o'rtasidagi farq;

- aniqlangan nosozliklarga ega bo'lgan sun'iy yo'ldoshlarni navigatsion guruhdan tezkor chiqarib tashlash uchun sun'iy yo'ldoshning holati to'g'risidagi ma'lumotlarga ega bo'lgan yaroqlilik belgilari;

- sun'iy yo'ldoshlarning harakatini uzoq muddatli taxminiy bashoratlash va o'lchashlarni rejalashtirish uchun guruhdagi barcha apparatlarning orbitalari va holati to'g'risidagi ma'lumotlar ega bo'lgan almanax.

- ionosferada signalning tarqalishi kechikishiga bog'liq bo'lgan navigatsion o'lchash xatoliklarini kompensatsiyalash uchun bitta chastotali qabul qilgichlarga zarur bo'ladigan ionosfera modelining parametrlari;

• turli koordinatalar tizimlarida iste'molchilarning koordinatalarini aniq qayta hisoblash uchun Yerning aylanish parametrlari.

Yaroqlilik belgilari nosozlik aniqlanganda bir necha sekund davomida yangilanadi. Efemeridlar va vaqt parametrlari yarim soatda bir martadan ko'p bo'lmagan yangilanadi. Bunda turli tizimlar uchun yangilanish davri kuchli farq qiladi va to'rt soatlarga etishi mumkin, shu bilan bir vaqtda almanax kuniga bir martadan ko'p bo'lmagan holda yangilanadi.

O'zining tarkibi bo'yicha navigatsion xabar tezkor va tezkor bo'lmagan ma'lumotlarga bo'linadi va raqamli ma'lumotlar (RM) oqimi shaklida uzatiladi. Dastlab, barcha navigatsion sun'iy yo'ldoshli tizimlarda "superkadr/kadr/satr/so'z tuzilmasidan foydalanilgan. Bu tuzilmada RM oqimi uzluksiz takrorlanadigan superkadrlar ko'rinishida shakllantiriladi, superkadr bir nechta kadrlardan, kadr esa bir necha satrlardan tashkil topgan.

"Superkadr/kadr/satr/so'z tuzilmasiga muvofiq, BEYDOU, GALILEO (E6dan tashqari), GPS (LNAV ma'lumotlar, L1) tizimlarining signallari, chastota bo'yicha ajratiladigan GLONASS signallari shakllantiriladi. Tizimga bog'liq ravishda superkadrlar, kadrlar va satrlarning o'lchamlari farq qilishi mumkin, ammo shakllanish prinsipi bir xil qoladi.

Hozirda ko'plab signallarda tez moslashuvchan satrli tuzilmadan foydalaniladi. Bu tuzilmada navigatsion xabar har xil turlardagi satrlarning o'zgaruvchan oqimi ko'rinishida shakllantiriladi. Har bir satr turi o'ziga xos tuzilmaga ega va ma'lum bir ma'lumot turini o'z ichiga oladi (yuqorida sanab o'tilgan).

Nazorat savollari

1. RRL elementlarining vazifasi va ishlash prinsipini tushuntiring.
2. RRL qaysi radioto'lqinlar va chastotalarda ishlaydi? Bu diapazonlarning xususiyatlari qanday?
3. RRLdagi stansiyalar turlarini, bu stansiyalarning asosiy funksiyalarini ayting.
4. Uch stvolli RRL ORC elementlarining vazifasi va ishlash prinsipini tushuntiring.
5. OCh bo'yicha kuchaytirishli va alohida geterodinli O'RS elementlarining vazifasi va ishlash prinsipini tushuntiring.
6. Oraliq bo'yicha zaxiralashli uch stvolli ORC elementlarining vazifasi va ishlash prinsipini tushuntiring.

7. Ichki zonaviy va mahalliy RRLlar uchun O'RSlar turlari, ularning qo'llanish sohalari ayting.

8. Ichki zonaviy va mahalliy RRLlar signallarni demodulyatsiyalashli O'RS elementlarining vazifasi va ishlash prinsipini tushuntiring.

9. Ichki zonaviy va mahalliy RRLlar chastota bir marta o'zgartiriladigan O'RS elementlarining vazifasi va ishlash prinsipini tushuntiring.

10. Raqamli radioreleli aloqa liniyalarining asosiy vazifasi.

11. Raqamli RRLlar komponentlarining asosiy vazifalari.

12. Radioreleli aloqa liniyalarining simli aloqa liniyalariga nisbatan afzalliklari nimada?

13. Raqamli stvol elementlarining vazifalarini tushuntiring.

14. Raqamli stvolda skremblerning vazifasini tushuntiring.

15. Orbitalar turlari va ularning parametrlarini ayting.

16. SYAning ko'rish zonasi, qamrab olishi va xizmat ko'rsatish zonolari qanday farqlanadi?

17. YSY orqali radioaloqani tashkil etishning umumiy prinsiplarini tushuntiring.

18. Signallar aktiv va passiv retranslyatsiyalanadigan bir necha yo'ldoshlarga ega bo'lgan aloqa tizimini tashkil etish prinsipi nimadan iborat? Ularning afzalliklari va kamchiliklarini tushuntiring.

19. Alohida liniyalar yordamida stansiyalarning to'g'ridan-to'g'ri aloqasiga ega bo'lgan tarmoqning ishlash prinsipi nimadan iborat? Ularning afzalliklari va kamchiliklarini tushuntiring.

20. Kanallar guruhini ishlatadigan stansiyalarning to'g'ridan-to'g'ri aloqasiga ega bo'lgan tarmoqning ishlash prinsipi nimadan iborat? Ularning afzalliklari va kamchiliklarini tushuntiring.

21. Markaz orqali aloqali tarmoqni tashkil qilishda YSY retranslyatoridan foydalanishning o'ziga xos xususiyatlari nimada?

22. Sun'iy yo'ldoshli navigatsiya tizimining asosiy elementlari va ishlash prinsipini tushuntiring.

23. Sun'iy yo'ldoshli navigatsiyadagi koordinatlar tizimlari va vaqt tizimlariga ta'rif bering.

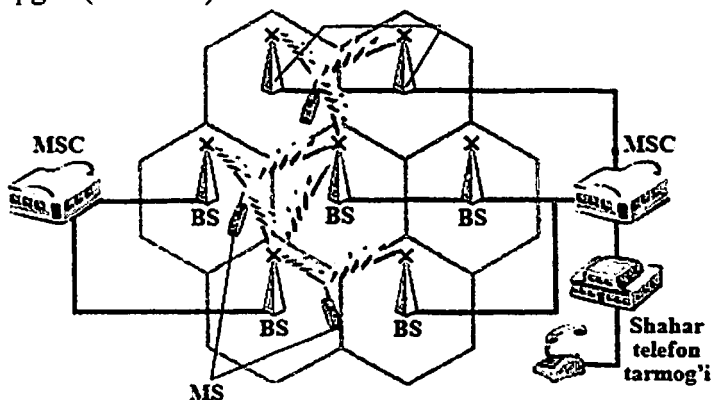
24. Sun'iy yo'ldoshli navigatsiyada qanday radiosignalni modulyatsiyalash turlari va navigatsion xabarlar turlari ishlatiladi?

8. SOTALI ALOQA TIZIMLARINING 1GDAN 5GGACHA RIVOJLANISHI

8.1. Mobil radiotelefon aloqasining rivojlanish tarixi

Sotali aloqa, harakatdagi aloqa tarmog'i sotali aloqa tarmog'iga asoslangan mobil radioaloqa turlaridan biri hisoblanadi. Asosiy o'ziga xos xususiyat shundan iboratki, umumiy qamrab olish zonasi alohida bazaviy stansiyalarning (BS) qamrab olish zonolari orqali aniqlanadigan yacheykalarga (sotalarga) bo'linadi. Sotalar qisman ustma-ust qoplanadi va birgalikda tarmoq hosil qiladi. Ideal (tekis va binolarsiz) sirtida bitta BSning qamrab olish zonasi aylana hisoblanadi, shuning uchun ulardan tuzilgan tarmoq olti burchakli yacheykalar (sotalar) ko'rinishiga ega [16].

Tarmoq o'sha bir chastotalar diapazonida ishlaydigan fazoviy ajratilgan qabul qilgichlar/uzatkichlar va mobil abonentlarning joriy joylashish o'rmini aniqlashga va abonent bitta qabul qilgich/uzatkichning ishlash zonasidan boshqa qabul qilgich/uzatkichning ishlash zonasiga o'tishida aloqaning uzluksizligini ta'minlashga imkon beradigan kommutatsiyalash qurilmasidan (MSC) tashkil topgan (8.1-rasm).

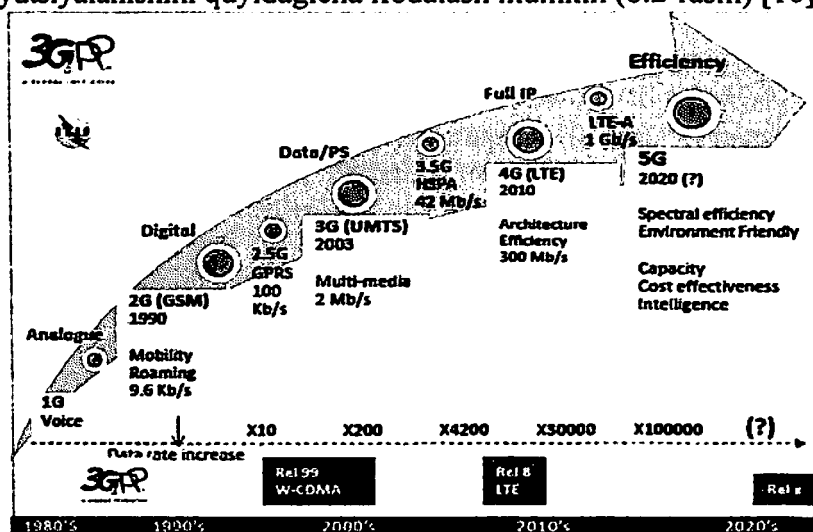


8.1-rasm. Mobil aloqa sotali tarmog'i

Sotali aloqa tarmoqlarini tashkil qilishning sotali prinsipi Bell Laboratories xodimi D. Ring tomonidan 1947 yilda taklif etilgan. Bu sxema chastotalar bo'yicha yaqin bo'lgan kanallar muammosini echdi va ulardan takroran foydalanishga imkon berdi.

1973 yilda Nyuyu-Yorkda, Motorola kompaniyasi tomonidan 50 qavatli Alliance Capital Building tepasida, dunyodagi birinchi sotali aloqa bazaviy stansiyasi o'rnatildi. U 30 dan ortiq abonentlarga xizmat ko'rsata olishi va ularni yer usti liniyalari bilan bog'lashi mumkin edi. Birinchi mobil telefon Dina-TAC nomini oldi, uning vazni 1,15 kilogramm, o'lchamlari esa 22,5x12,5x3,75 santimetrni tashkil etgan.

Birinchi tijorat sotali aloqa tarmog'i 1978 yil may oyida Bahraynda ishga tushirilgan. 400 MGs diapazonidagi 20 ta kanalli ikkita sotalar 250 abonentlarga xizmat ko'rsatdi. Keyin mobil aloqaning keskin rivojlanishi boshlandi. Mobil aloqa standartlari evolyutsiyalanishini quyidagicha ifodalash mumkin (8.2-rasm) [16]:



8.2-rasm. Mobil aloqa standartlarining evolyutsiyalanishi

8.2. Sotali aloqa tizimlarida ishlash prinsiplari

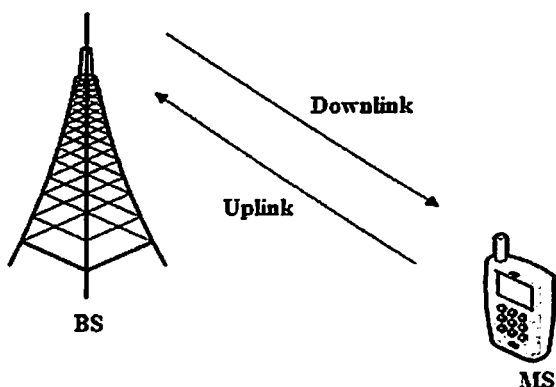
Har qanday sotali aloqa tizimida eng muhim va amalga oshirish qiyin bo'lgan interfeys bazaviy stansiya (BS) va mobil stansiya (MS) o'rtasidagi interfeys hisoblanadi. Eng katta qiyinchilikni halaqitlar ta'sirida cheklangan chastotalar diapazonida imkon qadar ko'proq abonentlardan iloji boricha ko'proq ma'lumotlarni uzatish zarurati keltirib chiqaradi [16].

Bir sotali aloqa standart boshqa standartdan birinchi navbatda radiointerfeysni tashkil qilish prinsiplari bilan farq qiladi. Yuqorida ko'rsatilgan muammoning qanchalik samarali yechilishiga u yoki bu sotali aloqa tizimining muvaffaqiyati bog'liq bo'ladi.

Atrof-muhitdagi barcha chastotalar diapazoni nazariy jihatdan har istalganga mumkin bo'lgan ommaviy resurs hisoblanadi. Lekin o'sha bir chastotalar diapazonida bir vaqtda uzatishda bir necha abonentlar bir vaqtning o'zida bitta telefon orqali gaplashishga harakat qilganidek, bo'lib o'tadi, ya'ni signallarning bir-birlari bilan qoplanishi yoki interferensiya paydo bo'ladi.

Radiobo'shliqdagi interferensiya bog'lanish sifatini pasaytiradi, xatoliklar va qayta so'rovlar doimiy yuz beradi va yakuniy hisobda bu bog'lanishning uzilishiga olib keladi. Interferensiya paydo bo'lishining oldini olish uchun butun chastotalar diapazoni kichik diapazonlarga (polosalarga) bo'linadi. Masalan, sotali aloqada standart va mamlakatga bog'liq ravishda 800 MGs, 900 MGs, 1800 MGs, 1900 MGs, 2100 MGs va boshqalar ishlatiladi. Diapazon nomidagi raqam chastotalar polosasining boshi, oxiri yoki kengligini bildirmaydi. Bu faqat shartli nom, chastotalarning o'zi esa bu chastotaning atrofida joylashgan.

Barcha chastotalar diapazonlari bir xil o'ziga tortmaydi. Masalan, sotali aloqa uchun 900 MGs diapazon 1800 MGs dan eng qimmat hisoblanadi. Buning sababi shundaki, 900 diapazondagi chastotalar devorlar, uylarning tomlari va boshqa to'siqlardan o'tishda kamroq kuchsizlanadi, shuningdek uzoq masofalarga tarqaladi. Shunday xususiyatlarga erishish uchun 1800 MGs diapazonli bazaviy stansiyalarda qo'shimcha kuchaytirgichlarni (KShK - kam shovqinli kuchaytirgichlarni) o'rnatilishi yoki bazaviy stansiyaning qabul qilgich-uzatkichlarida katta nurlanish quvvati qo'llanilishi kerak. Sotali aloqa tizimlarida taqdim etiladigan deyarli barcha xizmatlar ikki tomonlama, ya'ni nafaqat uzatishni, balki ma'lumotlarni qabul qilishni ham nazarda tutadi. Bu xizmatlarga telefoniya, ma'lumotlarni qabul qilish/uzatish, fakslar, SMS (Short Message Service), MMS (Multimedia Messaging Service) va boshqalar kiradi. Ularning normal va barqaror ishlashi uchun BSdan MSga va aksincha, ikkita uzatish kanallarini tashkil etish kerak. Bazaviy stansiyadan mobil stansiyaga aloqa kanali Downlink (DL), mobil stansiyadan bazaviy stansiyaga Uplink (UL) deyiladi (8.3-rasm). Odatda, barcha aloqa tizimlarida bu kanallar ma'lumotlarning maksimal tezligi va chastotalalar kanalining kengligi bo'yicha bir xil bo'ladi.



8.3-rasm. Radiointerfeysdagi Uplink va Downlink bog‘lanish

Chastotalar diapazoni olinganidan va u Uplink va Downlink bog‘lanishlarga bo‘lingandan keyin navbatdagi muhim masala abonentlar orasida tarmoqqa ulanishni cheklash hisoblanadi. Buning uchun bir necha ko‘p tomonlama ulanish texnologiyalari - FDMA (Frequency Division Multiple Access), TDMA (Time Division Multiple Access), CDMA (Code Division Multiple Access), shuningdek ularning turlari va kombinatsiyalaridan foydalaniladi. GSM (Global System for Mobile Communications) standartida, masalan, FDMA va TDMA kombinatsiyasidan foydalaniladi. Dastlab butun chastotalar diapazoni teng kenglikdagi 200 kGs polosalarga bo‘linadi. Bundan keyin polosalardan har biri 8 ta siklli takrorlanadigan taymslotlarga (TS) bo‘linadi. Shunday qilib, abonentlardan har biri uchun sotada ma‘lum chastotalar diapazonidagi o‘z taymsloti taqdim etiladi.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) standartida FDMA va CDMA texnologiyalari ishlatiladi (so‘nggi relizlarda ularga TDMA qo‘shiladi). Bu aloqa standarti uchun ajratilgan butun chastotalar diapazoni 5 MGsdan polosalarga bo‘lingan. Sotadagi har bir abonentga bu sotadagi o‘z noyob kodi beriladi. Keyin manba (UE (User Equipment) yoki NodeB) bu kod yordamida uzatilgan ma‘lumotlarni kodlaydi va ma‘lumotlarni bu sotada ishlatiladigan chastotalar polosasida uzatadi. Qabul qilgich manba kodini biladi va umumiy ma‘lumotlar oqimidan aynan u uchun mo‘ljallangan ma‘lumotlarni ajratib olishi mumkin.

Yuqorida ta‘kidlanganidek, 2 ta qabul qilgich-uzatkichlar bitta chastotada nurlantiradigan va bir-birlariga yaqin nuqtalarda bo‘ladigan

hollarga yo'l qo'yish mumkin emas, bu interferensiyalarga olib keladi. Shunga ko'ra, sotali aloqa tizimlarida interferensiyalarga yo'l qo'yib bo'lmaydi, ya'ni o'sha bir BSlardagi sektorlar turli chastotalarda ishlashi kerak. Bundan tashqari, qo'shni va yaqin joylashgan BSlar (ayniqsa, ular o'rtasida xendover mumkin bo'lsa) ham bir xil chastotalarda uzatmasligi kerak. Eng oddiy yechim tarmoqdagi har bir sotada butun tarmoqdagi o'z chastotasidan foydalanish bo'lar edi. Biroq, yuqorida ta'kidlanganidek, chastotalar diapazonlari soni cheklangan va butun tarmoq uchun yetarli emas. Interferensiyadan himoya qilish uchun chastotalarni rejalashtirish qo'llaniladi. U tarmoqni qurish va ishga tushirishdan oldin amalga oshiriladi.

CDMA usuli uchun qo'shni sektorlar o'sha chastotada uzatishi mumkin, ammo qo'shni sotalar uchun kodlar turlicha bo'lishi kerak. Shunday qilib, BS va MS o'rtasidagi radiointerfeys istalgan sotali aloqa tizimlaridagi eng murakkab interfeys hisoblanadi. Aynan u abonentning mobil bo'lishiga imkon beradi. Ko'p tomonlama ulanish usulini tanlash masalalarini o'rganish sifati, ishlatiladigan chastotalar diapazoni, kodlash usullari va modulyatsiyalash turlariga sotali aloqa tizimi qanday xizmatlarni taqdim eta olishi, bitta sotada bir vaqtning o'zida qancha abonentlarga va qanday sifatda xizmat ko'rsatilishi mumkinligi va qanday ma'lumotlarni maksimal uzatish tezligi bog'liq bo'ladi.

1G sotali aloqa tarmog'i simsiz mobil texnologiyalar, telefon kommunikatsiyalarining birinchi avlodiga kiradi va 1980-yillarda joriy qilingan va 2G tarmog'i paydo bo'lguncha davom etgan analog telekommunikatsion standartlari to'plami hisoblanadi. Bu ikkita mobil telefon tizimlarining asosiy farqi shundan iboratki, birinchi tizimning radiosignallari analog, ikkinchi birinchi tizimning radiosignallari esa raqamli hisoblanadi.

Bu standartlardan biri NMT (Nordic Mobile Telephone) bo'lib, u Shimoliy Yevropa, Sharqiy Yevropa mamlakatlar, Gollandiya, Shvetsariya va O'zbekistonda ishlatilgan. Boshqalariga Avstraliya va Shimoliy Amerikada ishlatilgan AMPS (Advanced Mobile Phone System,) Buyuk Britaniyada ishlatilgan TACS (Total Access Communications System), G'arbiy Germaniya, Janubiy Afrika, Portugaliyada ishlatilgan C-450, Fransiyadagi Radiocom 2000 va Italiyada ishlatilgan RtMI kiradi. Yaponiyada bir nechta tizim mavjud bo'lgan. Uchta TZ-801, TZ-802 va TZ-803 standartlar NTT (Nippon Telegraph and Telephone) tomonidan yaratilgan, shu bilan bir vaqtda raqabatdagi DDI (Daini Denden Inc) boshqaradigan JTACS

(Japan Total Access Communications System) standartidan foydalanilgan.

1G tarmoqlarida haqiqiy yuklab olish tezligi 2,9 Kbayt/s dan 5,6 Kbayt/sgachani tashkil etgan. Texnologiyasining oldingi avlodi (yoki "nolinchi avlod" standarti, ya'ni - 0G) harakatdagi radiotelefon aloqasi bo'lgan.

NMT standarti

NMT (Nordic Mobile Telephony) tarixdagi birinchi to'liq avtomatik sotali aloqa standarti hisoblanadi. Uning spetsifikatsiyasi 1970-yillarda Shvetsiya, Norvegiya, Daniya, Finlyandiya va boshqa ba'zi yevropa davlatlarini o'z ichiga olgan Nordic telecommunications administrations qo'mitasi tomonidan boshlangan. 1981 yilda birinchi NMT tarmog'i joriy etildi [16].

NMT tarmog'i analog tarmoq hisoblanadi. Bu standart uchun ikkita tarmoq opsiyalari - NMT-450 va NMT-900 mavjud. Raqam ishlatilgan chastotalar diapazonini bildiradi, mos ravishda 450 MGs va 900 MGs ishlatilgan. NMT-900 standarti 1986 yilda taqdim etilgan. U NMT-450ga qaraganda radioulanish uchun ko'proq kanallarni taqdim etadi.

NMTning muvaffaqiyati va keng tatbiq etilishiga asosan Nokia va Ericsson Nokia kompaniyalari tufayli erishildi. NMT tarmog'idagi birinchi qo'ng'iroq 1978 yilda Finlyandiyada amalga oshirilgan. NMT standartini ishlab chiqishda faqat Shimoliy Yevropa davlatlari ishtirok etgan bo'lsa-da, bu hatto standart nomida ham aks etgan bo'lsa-da, birinchi tijorat tarmog'i Saudiya Arabistonida 1 sentyabr kuni, Shvetsiyadan bir oy oldin ochilgan. Keyin NMT tarmoqlari 1981 yilda Shvetsiya va Norvegiyada joriy qilindi. Daniya va Finlyandiya ularga 1982 yilda qo'shilgan. NMT tarmoqlari asosan shimoliy, markaziy va sharqiy Yevropa mamlakatlari - Shveysariya, Gollandiya, Vengriya, Ruminiya, Chexiya, Slovakiya, Sloveniya, Serbiya, shu jumladan Rossiya, shuningdek Osiyoda keng tarqalgan.

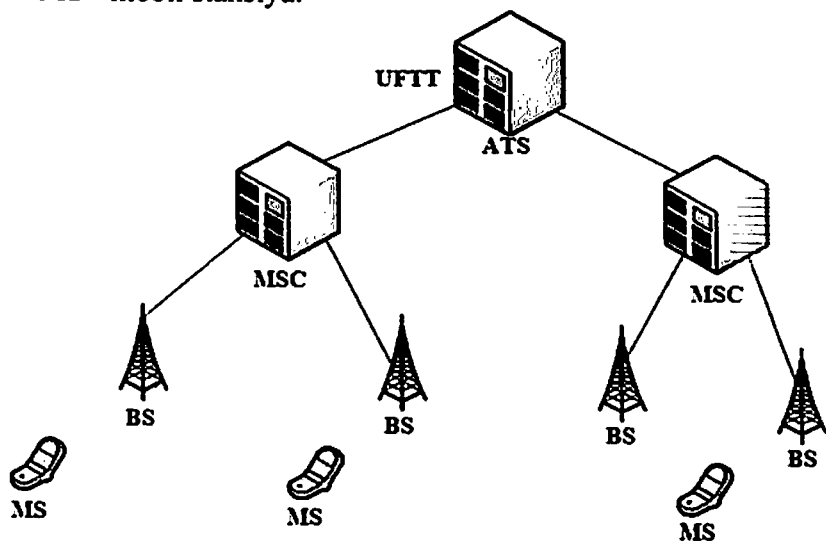
NMT standarti abonentlar uchun faqat bitta asosiy xizmat - telefoniyaning taqdim etilishini ko'zda tutgan. Keyinchalik, past tezlikda foydalanuvchi ma'lumotlarini uzatish imkoniyati paydo bo'ldi. Ammo past tezlik (1,2 kbit/s) tufayli bu xizmat keng qo'llanilmadi.

NMTning asosiy kamchiligi tarmoq orqali uzatiladigan ma'lumotlarni shifrlashning yo'qligi hisoblanadi. Shuning uchun eng oddiy chastotalar skaneriga ega bo'lgan istalgan kishi radiointerfeys orqali uzatiladigan ma'lumotlarni osongina yashirin eshitishi mumkin

edi. Bundan tashqari, NMT tarmog'ida roumingni tashkil qilish uchun sezilarli texnik resurslari talab qilingan va boshqa operatorlarning tarmoqlariga (ayniqsa, boshqa standartlardagi) ulanish jarayoni ko'pincha katta qiyinchiliklarga duch kelgan.

8.4-rasmda NMT standarti tarmog'ining tuzilmasi keltirilgan. NMT sotali aloqa tarmog'ining asosiy elementlari quyidagilar hisoblanadi:

- MSC - kommutatsiyalash markazi;
- BS - bazaviy stansiya;
- MS - mobil stansiya.



8.4-rasm. NMT standartidagi sotali aloqa tarmog'ining tuzilmasi

Butun tizimni boshqarishni ta'minlaydigan tarmoqning asosiy elementi MSC - NMT standartidagi sotali aloqa tarmog'ining mobil aloqa kommutatsiyalash markazi hisoblanadi. Uning vazifalariga tarmoq abonentlari, shuning umumiy foydalanishdagi telefon tarmog'i (UFTT) abonentlari orasida bog'lanishni o'rnatish kiradi. Operator tarmog'ida bir nechta MSClar bo'lishi mumkin. Abonent o'z tarmog'ining istalgan joyida xizmat ko'satilishi uchun uning ma'lumotlari kommutatorlar orasida uzatilishi kerak. Abonentlar ma'lumotlarini saqlash uchun kommutatsiyalash markazida abonentlarning holati registri ko'zda tutilgan. Shunday qilib, abonentlar harakatlanayotganda ma'lumotlar avtomatik ravishda bir registrdan ikkinchi registrga uzatiladi. Bazaviy stansiya (BS) unga tutash sotalarda

radioqamrab olishni hosil qilish uchun mo'ljallangan. Odatda, har bir BS uchta qo'shni sotalarga xizmat qiladi.

Mobil stansiya (Mobile Station yoki MS) abonentning telefoni hisoblanadi. Dastlabki telefonlar ko'chma aloqa qurilmalariga qaraganda javonlarga o'xshardi (8.5-rasm).



8.5-rasm. Analog telefonlar

Ularning doimiy o'rnatish joyi, odatda, avtomobillar edi. Keyinchalik, bir qo'lda ushlab turish mumkin bo'lgan qurilmalar paydo bo'ldi. Biroq, ularning vazni ko'pincha bir kilogrammdan oshar edi, ammo baribir ularni birga olib yurish mumkin edi. Haqiqatan ham odatdagi o'lchamdagi mobil telefonlar faqat 80-yillarning oxirlarida paydo bo'ldi.

AMPS oilasi standartlari

AMPS (Advanced Mobile Phone Service) birinchi avlod (1G) tarmoqlariga kiradigan analog sotali aloqa standarti hisoblanadi. AMPS Shimoliy Amerikada, asosan u ishlab chiqilgan AQShda keng qo'llaniladi. AMPS uchun spetsifikatsiyalar ANSI (American National Standards Institute) Amerika Milliy Standartlar Instituti tomonidan EIA/TIA/IS-3 qisqartmasi ostida chiqarilgan. Keyingi versiyalar TIA (Telecommunications Industry Association) Telekomunikatsiya Sanoat Assotsiatsiyasi tomonidan IS-91 qisqartmasi ostida chiqarildi [16].

1978 yilda birinchi AMPS sinov tarmog'i qurildi va 1980 yilda Chikagoda birinchi tijorat AMPS tarmog'i ishga tushirildi. AMPS birinchi sotali aloqa tarmog'i emasligiga qaramay, u qator afzalliklarga ega: yuqori spektral samaradorlik, past ishlatish xarajatlari va boshqalar, bu standartni nafaqat Shimoliy Amerikada, balki boshqa qit'alarda ham keng qo'llanilishiga sabab bo'ldi.

AMPS birinchi avlod sotali aloqa standartlariga kiradi va FDMA (Frequency division multiple access) – kanallarni chastota bo'yicha

ajratish texnologiyasidan foydalanadi. Bunda har bir bog'lanish uchun kengligi 30 kGs bo'lgan alohida chastotalar kanali ajratiladi. Demak, sig'imni qanchalik yuqori bo'lishi zarur bo'lsa, tizimda ishlatiladigan chastotalar polosasi shunchalik keng bo'lishi kerak. AMPS tizimi dastlab 800 MGs diapazonda ishlashga mo'ljallangan edi. Biroq, vaqt o'tishi bilan AMPS tarmoqlarini boshqa mamlakatlarda ishlatish va mavjud tarmoqlarning imkoniyatlarini kengaytirish uchun boshqa mumkin bo'lgan chastotalar diapazonlari, masalan 1900 MGs paydo bo'ldi.

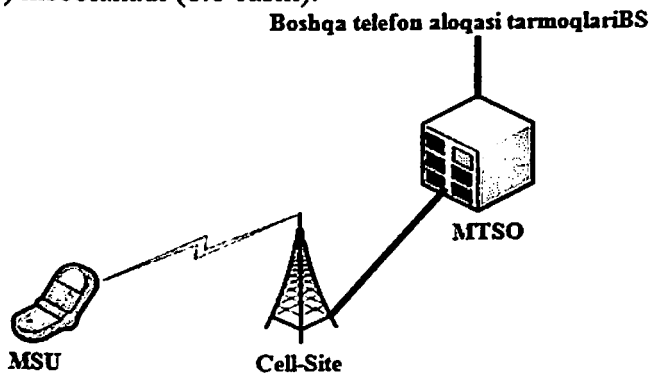
AMPSdan oldingi sotali aloqa tizimlari zamonaviy sotali tizimlarga qaraganda teleuzatish yoki radioeshittirish tarmoqlariga o'xshash edi. Ulardagi bazaviy stansiyalar (BS) katta quvvatli signalni keng maydon bo'ylab (radiusi 50 kmgacha) nurlantirgan. Bu sxema qator kamchiliklarga ega bo'lgan, ularning asosiylari tarmoqning kichik sig'imi va past spektral samaradorlik hisoblangan. Ko'p sonli abonentlarga ega bo'lgan katta tarmoqni boshqarish uchun juda keng chastotalar polosalari ishlatilgan. Yirik shaharlarda sotali aloqa tizimlari tezda o'ta yuklangan va chastotalar diapazonining cheklanganligi tufayli ularni kengaytirish mumkin emas edi.

AMPS standartida bu muammo chastotalardan takroran foydalanish usuli bilan yechildi, bu keyingi barcha sotali aloqa tizimlarida asosiy usul bo'lib qoldi. Bu usulning prinsipi shundan iboratki, operatorga ajratilgan har bir chastota ko'plab qo'shni bo'lmagan sotalarda ishlatilishi mumkin. Bu AMPS baza stansiyalari ancha past nurlanish quvvatiga ega ekanligi tufayli mumkin bo'ldi. Ma'lum chastotadagi signal kichikroq hududga tarqaladi va qaytarilgan to'lqinlar tezda so'nadi va o'xshash chastotali yaqin atrofdagi sotalarning ishlashiga sezilarli ta'sir ko'rsata olmaydi. Shunday qilib, operator nisbatan kichik chastotalar diapazonida o'sha bir chastotalar kanallaridan foydalanish bilan butun tarmoqni qurishi mumkin bo'ldi. Quvvat va ishlatiladigan chastotalar sonini sozlash bilan tarmoqni dashtdan megapolisgacha turli abonentlar zichligidagi sohalarga sozlash mumkin bo'ldi.

Chastotalardan takroran foydalanish usuli bilan bir qatorda AMPS standartidagi eng muhim o'zgarishlardan biri mobil qurilmalarning juda past nurlantirish quvvati bo'ldi. Birinchi analog sotali tizimlarda abonentlar terminallari katta hajmli, noportativ qurilmalar bo'lgan. Ularni faqat turli xil transport vositalariga o'rnatilishi tufayli mobil deyish mumkin. AMPS tizimida telefon haqiqatan ham mobilga aylandi.

Bunga telefonning nisbatan ixcham o'lchamlari va nisbatan past nurlantirish quvvati olib keldi, demak, batareyaning sig'imini, shuningdek uning o'lchamlari va vaznini bir qo'lda tutish mumkin bo'lgan kichik korpusga joylashtirish uchun kamaytirish mumkin edi.

AMPS standartidagi tarmoqni qurish prinsiplari boshqa 1G sotali aloqa tarmoqlarini, masalan, NMT tarmoqlarini qurish prinsiplariga o'xshaydi. Tarmoqning asosiy elementlari Mobile Telecommunications Switching Office (MTSO), Cell-Site/Base station, Mobile Subscriber Unit (MSU) hisoblanadi (8.6-rasm).



8.6. rasm. AMPS standarti tarmoq arxitekturasi

MTSO sotali aloqa tarmog'ining markaziy obyekti hisoblanadi. Uning tarkibiga Mobile Switching Centre (MSC), tarmoq monitoringi qurilmalari, tashqi telefon tarmoqlari, masalan UFTT bilan aloqa qilish uchun transport qurilmalari kiradi. MSCning asosiy vazifasi tarmoq abonentlari orasida va boshqa telefon tarmoqlari abonentlari orasida bog'lanishlarni kommutatsiyalash hisoblanadi. Bundan tashqari, MSC radioresurslarni nazort qilish, ko'rsatilgan aloqa xizmatlari uchun to'lovlarni amalga oshirishga hisoblarni tuzish (billing), abonentlarning joylashish o'rnini aniqlash va boshqa funksiyalarni bajaradi.

Cell Site tarmoq elementi bazaviy stansiyaga o'xshash va deyarli bir xil funksiyalarni bajaradi. Darhaqiqat, Cell Site bu sotalar chegaralarida radioqamrab olishni ta'minlaydigan qurilmalar - antenna-fider qurilmalari va radiouzatkichlarning ma'lum bir fizik joylashishi hisoblanadi. Shu bilan birga, Cell Site odatda transport qurilmalari, energiya ta'minoti, havoni almashtirish qurilmalari va boshqalarni o'z ichiga oladi. Cell Sitening asosiy vazifasi MSU va MTSO orasidagi aloqani tashkil etish hisoblanadi.

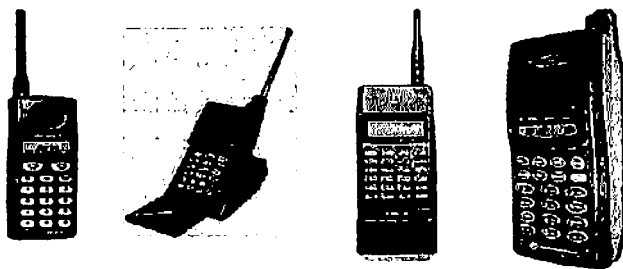
MSU mobil abonentlar qurilmasi hisoblanadi. Aslida, bu abonentlar tarmoq xizmatlarini oladigan oxirgi foydalanuvchi qurilmasi hisoblanadi. Barcha MSUlar AMPS standarti bo'yicha 3 guruhga bo'lingan:

1. Mobil telefon (mobile phone);
2. Ko'chma (transportable) qurilma;
3. Portativ (portable) qurilma.

Binobarin, faqat oxirgi portativ qurilma odatdagi shakldagi sotali telefonga mos keladi. Mobil telefonlar transport vositalariga o'rnatilishi ko'zda, ko'chma qurilmalar esa juda katta bo'lgan (8.7-rasm). Tabiiyki, eng ixcham qurilmalar zaryadlashlar orasidagi yoqilgan rejimda eng qisqa ishlash vaqtini anglatar edi.

Har bir MSU Numeric Assignment Module (NAM) - raqamli tayinlash modulini o'z ichiga olgan, u abonentlarni tarmoqqa xavfsiz ulanishini ta'minlash ishlatilgan. MTSO tarmoqqa kirish taqiqlangan NAM "qora" ro'yxatga ega bo'lgan. Tarmoqda MSUni ro'yxatdan o'tkazishda MSC uning NAM "qora" ro'yxatda mavjudligini tekshiradi va tekshirish natijalariga bog'liq ravishda ro'yxatdan o'tishga ruxsat berishi yoki rad etishi mumkin edi.

AMPS standarti o'z vaqtida juda muvaffaqiyatli bo'lib chiqdi. Bu standartning asosiy prinsiplari bir nechta boshqa standartlarga asoslanadi, bu yakunda butun dunyoda qo'llaniladigan standartlarning butun oilasini shakllantirishga olib keldi. Quyida ularning asosiylari ko'rib chiqiladi.



8.7-rasm. AMPS sotali telefonlariga misollar

TACS (Total Access Communications System) to'liq ulanish aloqa tizimi bo'lib, 1983 yilda Motorola kompaniyasi tomonidan AMPS asosida ishlab chiqarilgan sotali aloqa standarti hisoblanadi. Bu standart 25 kGs qadamli chastotalar kanallariga bo'lingan 900 MGs chastotalar diapazonida ishlashni ko'zda tutgan. TACS standarti,

ayniqsa shahar atrofi va shaharlarda aloqa tarmoqlarini amalga oshirish uchun juda mos edi. 1985 yilda bu standartning birinchi tarmog'i Buyuk Britaniyada amalga oshirildi. Keyinchalik TACS yevropaning boshqa mamlakatlarida, Yangi Zelandiyada va ba'zi Osiyo mamlakatlarida keng joriy etildi.

1987 yilda operatorlar uchun chastotalar kanallari soniga bo'lgan talabning ortishi tufayli TACS standarti E-TACS (Enhanced Total Access Communications System) standartiga modernizatsiyalangan. Bu kanallarning soni ikki barobar ortishini, ya'ni 600 o'rniga 1320 ta kanallar bo'lishi ko'zda tutdi.

Yaponiyada JTACS yoki NTACS (Japanese/Narrowband Total Access Communications System) nomini olgan TACS asosida biroz o'zgartirilgan standart ishlatilgan.

Narrowband Advanced Mobile Phone Service (NAMPS) AMPS standartining takomillashtirilgan versiyasi hisoblanadi. Uning AMPS standartidan asosiy farqlari signalizatsiyani raqamli shaklda uzatishdan foydalanish, shuningdek AMPS standartidagi 30 kGs o'rniga 10 kGs kenglikdagi chastotalar kanallaridan foydalanishdan iborat bo'ldi. Mos ravishda, tarmoqning sig'imi ham uch baravarga oshdi.

AMPS tizimlarini ishlatadigan operatorlar duch keladigan eng katta muammolardan biri bu tarmoqning chegaraviy sig'imiga tez yetish edi. O'ta yuklanishlar asosan MSU va Cell Site orasidagi radio interfeysda yuzaga keldi. E-TACS va NAMPS kabi AMPS standartining takomillashtirilgan versiyalari bir muncha vaqtgacha abonent sig'imlarining yetishmasligi muammosini yengishga imkon berdi. Shuningdek, tarmoq xavfsizligining yetarli bo'lmagan darajasi muammosi mavjud edi. Radiobog'lanishlar ko'p qiyinchiliksiz yashirin eshutilishi mumkin edi. Bundan tashqari, analog tizimlar tashqi ta'sirlarga zaif va xizmat ko'rsatish sifati (QoS) past edi.

Yuqorida ta'kidlanganidek, AMPS 1G standartlariga, ya'ni foydalanuvchilar ma'lumotlari analog dastlabki shaklida uzatiladigan analog standartlarga kiradi. Statsionar telefon tizimlarida yuqorida ta'kidlangan muammolar signallarni analog uzatish usulidan raqamli uzatish usuliga o'tish yo'li bilan yechildi. Bu holda aynan shu amalga oshirilgan. 1980-nchi yillarning oxirida D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System) standarti ishlab chiqildi. Binobarin, yangi standart AMPS standartidagi kabi bazaviy stansiyalar va abonentlar terminali orasida ma'lumotlarni uzatish uchun o'sha bir 30 kGs chastotalar diapazonidan foydalangan. Bu muhim shart operatorlarning

1Gdan 2Gga o'tishini osonlashtirishga imkon berdi, chunki yangi chastotalarga litsenziyalarni olish talab qilinmadi, o'tish jarayonining o'zi esa xizmatlarni ko'rsatishda minimal uzilishlar bilan amalga oshirilishi mumkin bo'ldi.

1990 yilda birinchi DAMPS tarmog'i ishga tushirildi. Bu standartning asosiy afzalliklari, avvalo, sig'imni oshirilishini kiritish mumkin. DAMPSning birinchi chiqarilishi uchun radiointerfeysdagi tarmoq sig'imi 3 baravar oshirildi. Keyingi versiyalarda yangi chastotalar diapazoni va yangi ovoz kodeklarning kiritilishi tufayli sig'im 15 baravargacha oshirilishi mumkin edi. Tarmoq sig'imini oshirilishidan tashqari, DAMPS takomillashtirilgan xavfsizlik tizimiga ega, shuningdek, halaqitbardosh kodlashni joriy qilish hisobiga tashqi buzilishlar ta'siriga barqaror edi.

Raqamli sotali aloqa tizimlarining analoglar tizimlardan afzalliklariga qaramay, AMPS hali ham birinchi avlod standartlarining eng yaxshi vakillaridan biri bo'lib qoladi. AMPS standarti analog tarmoqlarning mavjud kamchiliklarini ko'rsatdi va yangi sotali tizimlarning rivojlanishi uchun mustahkam asos yaratdi.

8.3. Sotali aloqada chastotaviy rejalashtirish

Radioelektron vositalar (REV) sonining sezilarli darajada ortishi optimal chastotaviy-hududiy rejalashtirish vazifasini o'ta dolzarb qiladi. Sotali aloqa tarmoqlarini chastotaviy-hududiy rejalashtirish tarmoqning tuzilmasi, bazaviy stansiyalarining o'rnatish joylari, antennalarning turi, balandligi va yo'nalishini tanlashni, shuningdek, bazaviy stansiyalar o'rtasida chastotalarni taqsimlanishini ko'zda tutadi.

Sotali aloqa tarmog'ini rejalashtirishda hal qiluvchi omil bu quyidagi bosqichlarni bajarilishi bilan iterativ jarayon bo'lgan radiotarmoqni rejalashtirish hisoblanadi [17]:

1. Tarmoqning tuzilmasini sintezlash, u foydalaniladigan minimal miqdordagi resurslarda (birinchi navbatda apparatlar va chastotalar resurslarida) radiotarmoqni rejalashtirishda qo'yiladigan barcha dastlabki talablarni hisobga olishga imkon beradigan eng optimal variantni qidirib topishni nazarda tutadi.

2. Har bir bazaviy stansiya hosil qiladigan maydon kuchlanganligini bashoratlash.

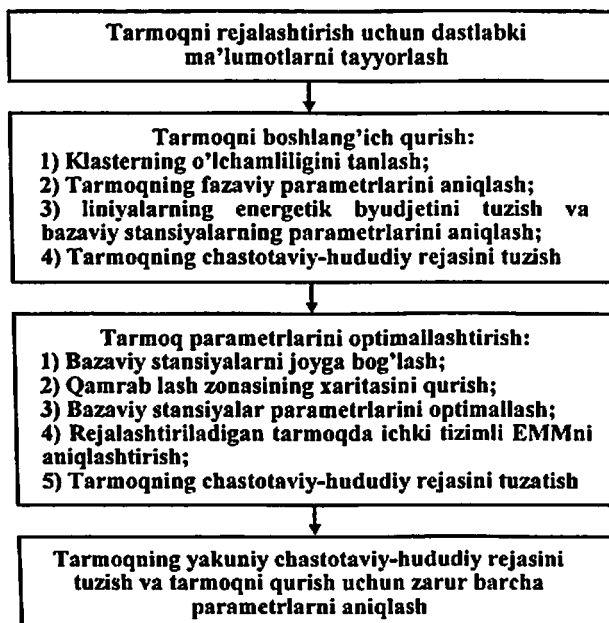
3. Har bir yacheyka va umuman tarmoq uchun qamrab olish zonasini va soya maydonlarini aniqlash.

4. Chastotalarni alohida yacheykalar bo'yicha taqsimlash.

5. O'zaro halaqitlarni hisobga olgan holda tarmoqning ishlashini tahlil qilish.

Chastotaviy-hududiy rejalashtirishda tarmoq tuzilmasi, bazaviy stansiyalarning (BS) joylashuvi tanlanadi, talab qilinadigan xizmat ko'rsatish zonasini ma'lum aloqa sifati bilan ta'minlash imkoniyati aniqlanadi, BS uchun radiokanallarni taqsimlash chastotaviy rejasi ishlab chiqiladi, rejalarni rejalashtiriladigan xizmat ko'rsatish zonasining hududiy va chastotaviy cheklovlari sharoitlariga moslashtirish bajariladi, rejalashtiriladigan tizimning boshqa tizimlar REVar bilan tashqi elektromagnit moslashuvchanligi (EMM) va abonent yuklamasiga burilgan chaqiruvlarni bloklanishi ehtimolligi bilan xizmat ko'rsatish uchun tarmoqning talab qilinadigan sig'imini ta'minlash imkoniyati tekshiriladi.

Sotali aloqa tarmoqlarini chastotaviy-hududiy rejalashtirish algoritmining blok-sxemasi 8.8-rasmda keltirilgan.



8.8-rasm. Sotali aloqa tarmog'ini rejalashtirish algoritmi

Rejalashtirish uchun dastlabki ma'lumotlar sotali aloqa tarmog'ining umumiy xarakteristikalari - ruxsat etiladigan radiokanallarning soni va chastotalari, umumiy foydalanishdagi avtomat telefon stansiyalari (ATS) bilan aloqa liniyalarining mavjudligi, elektr ta'minot, qurilmalar, antennalar va boshqalarni joylashtirish bo'yicha talablarga javob beradigan BSlarni kerakli joylashtirish o'rinlari ko'rsatiladigan tarmoq rejasini o'z ichiga oladi

Rejalashtirish uchun texnik asos sifatida foydalanish uchun ko'zda tutiladigan standartlar, qabul qiish/uzatish qurilmalari va antennalarning xarakteristikalari, radioto'lqinlarning tarqalish shartlari, foydali signalning talab qilinadigan maydon kuchlanganligi, bitta abonentga yuklama va boshqalar ishlatiladi.

Sotali aloqa va abonentlar ulanish tarmoqlarini rejalashtirishda hisobga olinishi zarur bo'ladigan parametrlar ro'yxati 8.1-jadvalda keltirilgan.

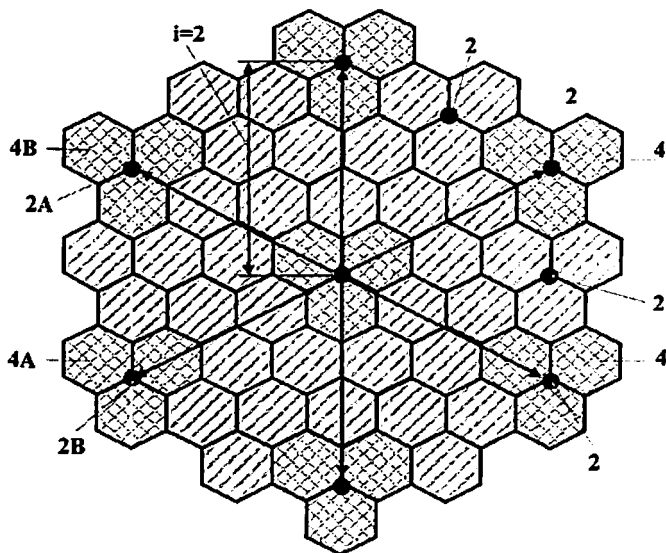
8.1-jadval

Sotali aloqa tarmoqlarni rejalashtirishda hisobga olinadigan parametrlar

Ma'lumotlar	Parametrlari
Rejalashtirilgan hudud	Tanlangan tuman/shahar/viloyat uchun qamrab olish maydoni, aholi soni;
Yuklama parametrlari	Har bir abonentga yuklama; Rejalashtirilgan hududdagi abonentlarning zichligi; Yuklamaning o'sishiga talablar;
Qurilmalar	Rejalashtirishda ishlatiladigan texnik parametrlarning qisqa ro'yxati; Qurilmalar narxi;
Tarmoq loyihasining	Bitli xatoliklar ehtimolligi; Halaqitlar tufayli yacheykani qamrab olish zonasini
Reglamentlash masalalari	Chastotalar resurslarining mavjudligi va radiochastotalar resursidan foydalanishga litsenziya olishda bo'lishi mumkin cheklovlar; <u>Antenna-fider inshootlarini iovlashtirish va haimiga</u>
Radioto'lqinlarni tarqalishiga	Radio to'lqinlarining tarqalishi modellari variantlari; Vaqt bo'yicha so'nishlarga zahira;

1993 yilda Pol Xartman sotali aloqa tarmoqlari uchun chastotalardan takroran foydalanish rejasini taqdim etdi. U 4 ta bazaviy stansiyalar guruhi uchun 12 ta chastotalar guruhini ajratdi. Bu

chastotalarning o'zi boshqa BSlar guruhlari tomonidan takroran ishlatilgan. Har bir BS bir-birlaridan 120 graduslar masofalarda joylashgan 3 ta antennalar guruhidan foydalanish bilan 3 ta olti burchakli sotalarga xizmat ko'rsatadi (8.9-rasm).

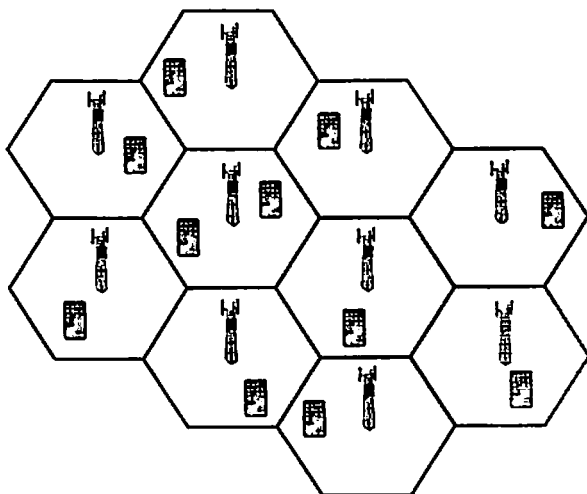


8.9-rasm. BS sotalariga xizmat ko'rsatish

Sotali aloqa tarmoqlarini rejalashtirishda butun xizmat ko'rsatiladigan hudud nisbatan kichik zonalarga (yacheykalarga) bo'linadi, ular eng zich joylashtirish va BS antenasining doiraviy yo'naltirilganlik diagrammasiga yaqinroq bo'lishi nuqtai nazaridan muntazam olti burchak shaklida taqdim etiladi. Bu holda aloqa tizimini tashkil etilishi asalarilar uyasidagi sotalarga o'xshaydi va bunday tizimlar sotali tizimlari deb ataladi (8.10-rasm). Har bir sotinga markaziga BS o'rnatiladi.

Muayyan hududga xizmat ko'rsatadigan sotali aloqa tizimini (SAT) tashkil etishning asosiy g'oyasi cheklangan chastotalar resurslarida ko'plab foydalanuvchilarga tizimga ulanishni ta'minlashdan iborat. Shu sababli, hududiy tarmoqlarni rejalashtirish va qurishga yondashuvlar ko'p tomonlama ulanish texnologiyalarga bog'liq bo'lib, bu sotali aloqa avlodlarida aks etadi. Bunda tarmoqning (sotinga) minimal hududiy tuzilmaviy birligining o'lchamini tanlashda bir nechta

omillar - sotaga abonentlar yuklamasi, o'zaro halaqitlar darajasi, tizimning bog'langanligi va boshqalar hisobga olinadi.



8.10-rasm. Xizmat ko'rsatish zonasini sotalarga bo'linishi

8.2-jadvalda GSM, W-CDMA, LTE tarmoqlarini rejalashtirishdagi farqlar ko'rsatilgan.

8.2-jadvalda ko'rsatilganidek, GSM tarmoqlari muntazam tuzilmaning mavjudligi va BSLar o'rtasida kanallarni chastotaviy taqsimlash o'ziga xos. Bunday tarmoqlarda soting o'lchami (sota perimetri atrofida tasvirlangan aylananing radiusi) quyidagi nisbatdan aniqlanadi:

$$R = k \cdot \sqrt{\frac{S_0}{\pi \cdot K_{BS}}}$$

bu yerda S_0 - tarmoq maydoni;

K_{BS} - sotali aloqa tarmog'idagi bazaviy stansiyalar soni;

k - xendoverni ta'minlash uchun sotalarning o'zaro qoplanishini hisobga oladigan koeffitsient.

GSM, WCDMA, LTE tarmoqlarini rejalashtirish parametrlari

Parametr	GSM	W-CDMA	LTE
Chastotalar resurslarni rejalashtirish	BSlar o'rtasida chastotalar kanallarini	Talab qilinmaydi	BS foydalanuvchilari o'rtasida tizimning
Muntazam rejalashtirish uslubining	Mavjud	Yuqori va past tezlikli uzatish uchun mavjud	Yo'q
Kommutatsiyalash	Kanallar, paketlar	Kanallar, paketlar	Paketlar (barcha IP oqimlari)
Ma'lumotlarni uzatish	Tor polosali signal	Keng polosali signal	OFDM signal
Trafik profili	Nutq, mobil Internet, fon trafigi	Nutq, video oqim, mobil Internet, fon trafigi	VoIP, video oqim, mobil Internet, fon trafigi
Xizmat ko'rsatish turi	Nutq – rad etishli OXKT, mobil Internet – navbatli va va ustuvorlikli	Nutq – rad etishli OXKT, mobil Internet – navbatli va ustuvorlikli OXKT, video oqim	VoIP - rad etishli OXKT, mobil Internet – navbatli va va ustuvorlikli OXKT, video oqim

Izoh. OXKT – ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi.

K_{BS} quyidagi nisbatidan aniqlanadi:

$$K_{BS} = \text{int} \left(\frac{N_a}{N_{BS}} \right)$$

bu yerda N_a - tarmoqdagi abonentlar soni;

N_{BS} - bitta BS xizmat ko'rsatadigan abonentlar soni. U quyidagi nisbatdan aniqlanadi:

$$N_{BS} = M \cdot \text{int} \left(\frac{A}{A_{ab}} \right)$$

bu yerda M - sotaning sektorliligi;

A - berilgan bloklanish ehtimolligida bitta sotadagi ruxsat etiladigan yuklama;

A_{ab} - bu abonentlarning o'rtacha aktivligi.

Sotadagi ruxsat etiladigan yuklama talab qilinadigan P_E

bog'lanishini bloklanishi ehtimolligini ta'minlashdagi aloqa kanallarining soniga bog'liq.

Zonadagi ruxsat etiladigan yuklamani aniqlash uchun P_E qiymatga bog'liq ravishda quyidagi ifoda ishlatiladi:

$$A = n_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2} + 2 \cdot n_0 \cdot \ln(P_B \cdot \sqrt{\pi \cdot \frac{n_0}{2}})} - \sqrt{\frac{\pi}{2}}$$

bu yerda n_0 - aloqa kanallarining soni.

Turli xil chastotalar to'plamlariga ega bo'lgan qo'shni sotalar guruhi bu aloqa operatoriga ajratilgan barcha ishchi chastotalar berilgan *klaster*ni hosil qiladi. Sotalar soni klasterning o'lchamliligini aniqlaydi. Klasterlar va tarmoqni qurishda sotalardagi chastotalar kanallarining taqsimlanishi qo'shni kanallar halaqitlarini minimallashtirishni hisobga olish bilan amalga oshiriladi. Qo'shni kanallar halaqitlari boshqa sotalarda bo'lgan BSlardan signallar MS orqali qabul qilish natijasida kelib chiqadigan halaqitlar hisoblanadi.

Halaqitlar darajasi klasterning C o'lchamliligi, sotalarning R radiusi va D takrorlanadigan chastotalarga ega bo'lgan sotalar orasidagi masofaga bog'liq. Chastotalardan takroran foydalanish rejasining zichligini tavsiflash uchun k_{foy} chastotalardan takroran foydalanish koeffitsienti va R sota radiuslarida baholanadigan bir xil nomdagi chastotalar orasidagi q_s masofa ishlatiladi. U quyidagicha aniqlanadi:

$$q_s = \frac{D}{R} \approx \sqrt{3 \cdot k_{foy}}$$

bu yerda D - asosiy kanal bo'yicha berilgan C/I (signal/halaqit) interferensiya talabini qondiradigan bir xil chastotalarga ega bo'lgan BSlar orasidagi minimal masofa.

GSM standarti uchun ETSI tavsiyalarida C/I qiymati kamida 9 dB bo'lishi tavsiya etiladi. Bir xil chastotalarga ega bo'lgan sotalar kamida $3R$ masofalarda joylashgan bo'lishi kerak. GSM tizimida q_s minimal qiymati 3 ga teng deb qabul qilinadi. Chastotalardan takroran foydalanish rejasini yordamida sotali aloqa tizimlarini rejalashtirishda $k_{foy} > 3$ takroran foydalanish koeffitsientli klasterli tuzilmani asosga olish mumkin.

WCDMA tarmoqlari. Efir interfeysidagi barcha aloqa kanallari bir xil chastotada ishlaydigan sotali tizimlarda (WCDMA) bir vaqtda

xizmat ko'rsatiladigan foydalanuvchilar soni tizimdagi shovqinlar darajasiga ta'sir qiladi. Binobarin, bunday radiotarmoqlarning (UMTS, CDMAOne, CDMA2000 va boshqalarning) qamrab olish zonasi va sig'implarini rejalashtirish GSM radiotarmog'ini rejalashtirishdan farqli ravishda ikki bosqichlarni aniq chegaralash mumkin bo'ladigan alohida rejalashtirish bosqichlari bo'lishi mumkin emas [17].

UMTS tarmoqlarini rejalashtirishda har bir aniq xizmat turi uchun xizmat sifatiga (QoS) talablarni aniqlash va mos ravishda bajarish zarur. Amalda, bu shuni anglatadiki, eng qat'iy talablar bazaviy stansiyalarning joylashish zichligini aniqlashi kerak.

Bitta BS xizmat ko'rsatadigan abonentlar sonini hisoblashda interferension halaqitlar darajasini hisobga olish kerak, chunki WCDMA tizimida barcha bir xil chastotalardan foydalanadi. Shuning uchun sotaning abonentlar sig'imi va mos ravishda uning o'lchamlari interferensiya darajasi bilan cheklanadi.

Tizimning normal ishlashi uchun zarur bo'lgan minimal C/I qiymatga bog'liq ravishda CDMA tizim sotasidagi maksimal abonentlar soni quyidagi nisbat orqali baholanishi mumkin:

$$N_{ab} = \left(\text{int} \left\lfloor \frac{SF}{E_b/(N_0 + I_{tr})} \cdot \frac{f_r}{A_{ab}} \right\rfloor + 1 \right) \cdot M$$

bu yerda SF - signal spektrining kengaytirish koeffitsienti;

$E_b/(N_0+I_{tr})$ - trafik kanalidagi signal/(shovqin+interferensiya) nisbati;

f_r - chastotalardan takroran foydalanish koeffitsienti.

LTE tarmoqlari. GSM texnologiyasidan farqli ravishda LTE texnologiyasi tarmoqning har bir BSlariga foydalanuvchilarga sotadagi joylashishiga bog'liq ravishda tanlab chastotalar diapazonlari va quvvatni ajratish imkoniyatini beradi. Bunda chastotalar polosalaridan takroran foydalanishning turli xil modellarini qo'llash mumkin va shunga muvofiq cheklangan BS resurslari sharoitlarida radioaloqa sifatiga talablarni bajarilishi bilan sotaning o'tkazish qobiliyatini maksimalashtirish imkoniyati paydo bo'ladi [17].

Chastotalar polosalaridan takroran foydalanishning quyidagi modellari mavjud:

- kanallar chastotalar polosalaridan to'liq takroran foydalanish;
- kanallar chastotalar polosalaridan qat'iy takroran foydalanish;
- kanallar chastotalar polosalaridan yumshoq takroran foydalanish;

- kanallar chastotalar polosalaridan kasrli takroran foydalanish.

Kanallar chastotalar polosalaridan to'liq takroran foydalanish deb abonentlarning sotadagi joylashuvidan qat'i nazar, har bir sota orqali butun chastotalar polosasidan to'liq foydalaniladigan variantga aytiladi. Bu holda resurslar bloklarini taqsimlashni BS rejalashtirgichi amalga oshiradi. BS resurslarini taqsimlash jadvali MSga maxsus boshqarish kanali orqali xabar qilinadi. Bunda sotalararo interferensiyaga bog'liq muammolar vujudga keladi. LTE texnologiyasida sotalar orasidagi interferensiyani aloqani kamaytirish uchun chastotalar polosasini tayinlanishini dinamik muvofiqlashtirish qo'llanadi. Chastotalar polosalaridan to'liq takroran foydalanishning qo'llanishi abonentlar sig'imi nuqtai nazaridan maqsadga muvofiq emas, chunki dinamik rejalashtirish uchun zarur bo'ladigan xizmat ma'lumotlari hajmi ortadi.

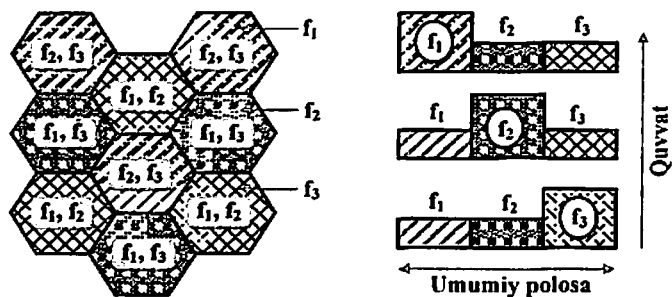
Kanallar chastotalar polosalaridan qat'iy takroran foydalanish deb butun chastotalar polosasi sotalarga ma'lum bir takroran foydalanish modeliga (GSMdagiga o'xshash) muvofiq ajratiladigan qayd etiladigan polosalar soniga bo'linadigan variantga aytiladi. Sotalarning har biriga past quvvatli va cheklangan aloqa kanallari soniga ega bo'lgan o'z uzatkichi xizmat ko'rsatadi. Bu uzatkichning kanallari chastotalaridan boshqa olisdagi sotada halaqitlarsiz foydalanishga imkon beradi. Nazariy jihatdan bunday uzatkichlardan qo'shni sotalarda ham foydalanish mumkin. Ammo amalda sotalarning xizmat ko'rsatish zonalarini turli xil omillar ta'sirida, masalan radioto'lqinlarning tarqalish sharoitlarining o'zgarishi tufayli bir-birlari qoplanishi mumkin. Shuning uchun qo'shni sotalarda turli xil chastotalar qo'llaniladi.

Kanallar chastotalar polosalaridan yumshoq takroran foydalanish deb butun chastotalar polosasi qayd etiladigan polosalar soniga bo'linadigan variantga aytiladi. Har bir sota uchun bu polosalardan bittasi sotaning chegarasida bo'lgan abonentlarga ajratiladi, qolgan polosalardan esa bazaviy stansiya yaqinida joylashgan abonentlar foydalanadi. Chastotalar polosalaridan yumshoq takroran foydalanishga misol 8.11-rasmda keltirilgan.

Kanallar chastotalar polosalaridan kasrli takroran foydalanishda BS yaqinida joylashgan abonentlarga xizmat ko'rsatish uchun umumiy chastotalar polosasi ishlatiladi. Boshqa bo'lishi mumkin polosalardan BSdan olisda bo'lgan (sotaning chetida joylashgan) abonentlar foydalanadi.

LTE tarmoqlarida faqat kanallar chastotalar polosalaridan kasrli va yumshoq takroran foydalanish ishlatiladi, chunki bu texnologiyalar

to'g'ri rejalashtirishda tarmoqning sig'imini oshirishga imkon beradi.



8.11-rasm. Kanallar chastotalar polosalaridan yumshoq takroran foydalanish

5G tarmoqlari. 5G tarmog'ini rejalashtirish oldingi standartlarni rejalashtirish jarayonlaridan farq qiladi. Bu shundan iboratki, 5G uchun qurilmalar, shuningdek tarmoq arxitekturasining o'zi sezilarli darajada o'zgaradi. 5G apparatidan ko'ra virtuallashib bormoqda. Ya'ni, hatto ma'lumotlar markazida ma'lumotlarga ishlov berish jarayoni ham o'zgarimoqda [6].

Bunda tarmoqning talab qilinadigan sig'imini ta'minlash bilan maksimal bo'lishi mumkin qamrab olish zonasini yaratish keyingi avlod tarmog'ini eng oldingi bosqichlarda loyihalashga asosiy yondashish hisoblanadi. Bu qo'yilgan masalalar ko'pincha bir-biriga zid hisoblanadi. Masalan, zich qurilgan shaharda tarmoqning qamrab olishi kerak bo'lganidan ancha kam, ammo shu bilan birga, yaxshi o'tkazish qobiliyati saqlanib qoladi. Shahar atrofidagi hududda esa, aksincha, qamrab olishk zonasini attaroq va katta maydonlarni qamrab oladi, ammo o'tkazish qobiliyati ancha past bo'ladi.

Bugungi kunda 5G tarmog'ini rejalashtirishda bir nechta yondashuvlar mavjud:

1. *Tarmoqni "noldan" rejalashtirish:* tarmoq mavjud tarmoqlarga (4G) tayanmasdan, yangi sohalarda quriladi. Bunday tarmoqlar avtonom tarmoqlar deyiladi.

2. *5G tarmog'i mavjud 4G tarmoqlaridan maksimal darajada foydalanish (modernizatsiyalash) bilan bosqichma-bosqich quriladi.* Bunday holda, birinchi 5G bazaviy stansiyalarini 4G tarmog'i trafikka xizmat ko'rsata olmaydigan joylarda o'rnatish va qamrab olish muammosini emas, balki birinchi navbatda tarmoq sig'imini oshirish

masalasini yechish maqsadga muvofiq. Bu yondashuvdan foydalanish kamroq sarmoyalarni talab qilishini hisobga olsak, bu bozor uchun optimal tanlov hisoblanadi.

3. *5G tarmog'i 3G/HSPA bazaviy stansiyalarini (ulardagi dasturiy ta'minotni) 5G bilan almashtirish va shunga muvofiq transport infratuzilmasini mustahkamlash (modernizatsiyalash) yordamida mavjud 3G tarmog'ining infratuzilmasidan foydalanish bilan quriladi.* Bu sezilarli bir martalik sarmoyalarni talab qiladigan qimmat yechim hisoblanadi. Bu variant ham ko'rib chiqilmoqda, chunki 3G tarmolarining ahamiyati yildan-yilga pasayib bormoqda va ko'plab mamlakatlar uchinchi avlod tarmoqlaridan voz kechishni e'lon qildi.

4. *Butun mamlakatda yagona 5G operatorini yaratish.* Agar imkoniyatlar va mablag'lar mavjud bo'lsa, uni birinchi yoki ikkinchi yondashishlar yordamida yaratish mumkin. Barcha amaldagi operatorlarga bu "tashuvchi"ning xizmatlarini sotish imkoniyati beriladi. Buning qator kamchiliklari mavjud:

- qonunchilik tayyor emas;
- raqobat mexanizmi ishlatilmaydi, demak, loyihaning qiymati va uning xizmatlari narxlari o'ta yuqori bo'lib chiqishi mumkin;
- rivojlantirish uchun rag'bat yo'q.

5. *Bir nechta operatorlar tomonidan 5G tarmoqlarini birgalikda qurish.* Bu yondashuv shuni anglatadiki, davlat litsenziyalar va chastotalarni har bir yoki bir nechta bunday litsenziyalardan ikki yoki undan ortiq operatorlar birgalikda foydalanishi uchun mo'ljallanishi sharti bilan beradi. Shunga o'xshash misollar chet ellarda mavjud. Bu usul katta ehtimol bilan amalga oshiriladi, chunki bu loyihaga sarmoyalar juda katta va bu usul operatorlarga xarajatlarni uch baravar kamaytirishga yordam beradi.

5G tarmog'ini rejalashtirish quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi:

- *tayyorgarlik bosqichi*, unda rejalashtiriladigan tarmoq, ya'ni bo'lajak tarmoqning sig'imi, qamrab olish zonasi haqida ma'lumotlar to'planadi, zarur resurslar tayyorlanadi va modellashtirish amalga oshiriladi.

- *nominal va batafsil rejalashtirish*, u turli rejalashtirish usullarini tanlash va ulardan foydalanishni o'z ichiga oladi. Bunga taqsimlash modelini sozlash, rejalashtirilgan resurslaridan bo'sag'aviy qiymatlarni aniqlash, bo'sag'aviy qiymatlar asosida radiotarmoqning batafsil rejasini tuzish, gNBning trafigini batafsilroq baholash bilan uzatish tezligi, rejalashtirish sozlanmalari, rejalashtirish parametrlarini

tekshirish kiradi;

- *gNB parametrlari va hisoblagichlaridan foydalanishni rejalashtirish parametrlari va asosiy samaradorlik ko'rsatkichlarini aniqlash*, ular qurilmalarni yetkazib beruvchi asosida asosiy ko'rsatkichlar va maqsadlarning samaradorligi, rejalashtirish orqali samaradorlik ko'rsatkichlari va maqsadlarini nazorat qilish, sShuningdek tarmoqni ishga tushirishgacha va undan keyin optimallashtirishni aniqlaydi.

8.4. 2G standartlari

O'tgan asrning oxirgi o'n yilligida analog tizimlar fonida yutuqlarga erishgan bir raqamli tarmoqlarning ko'tarilishi ravshanlashdi. Asosiy afzalliklar sifatida sifatliroq ovoz, yaxshilangan himoyalanganlik, yuqori unumdorlikni aytish mumkin. AQShda D-AMPS va Qualcomm kompaniyasining oldingi CDMA standartlari ishlay boshladi, Yevropada esa GSM standartining aktiv rivojlanishi boshlandi. Tarixan shunday bo'ldiki, sotali aloqa uchta geografik hududlar - Shimoliy Amerika, Yevropa va Yaponiyada parallel rivojlandi.

D-AMPS standarti

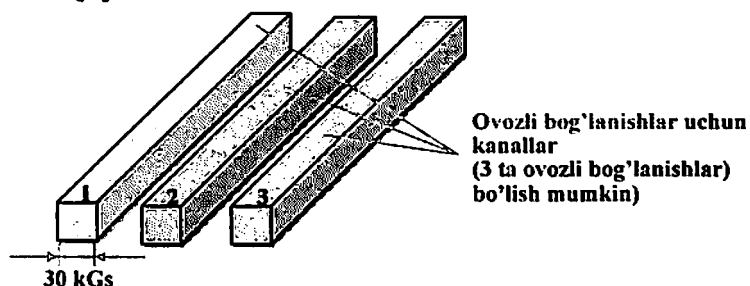
D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System – raqamli yaxshilangan mobil aloqa tizim) standarti IS-54 qisqartmasi bilan ma'lum ikkinchi avlod (2G) raqamli sotali aloqa tizimi hisoblanadi. Bu standart Shimoliy Amerika, asosan AQSh va Kanadada eng ko'p qo'llaniladi.

IS-54 standartini belgilashda harflar qisqartmasi Interim Standard ma'nosini anglatadi. U EIA (Electronic Industries Alliance – elektron sanoat sohalari uyushmasi), shuningdek TIA (Telecommunications Industry Association – telekommunikatsion industriya uyushmasi) tomonidan ishlab chiqilgan. Keyinchalik u Standartlashtirish bo'yicha Shimoliy Amerika tashkiloti (ANSI - American National Standards Institute) tomonidan yakunlangach, American National Standard nomiga o'zgartirildi. Interim Standard American National Standardga o'zgargandan keyin uning nomi ANSI/TIA/EIA-627 nomiga o'zgartirildi. Biroq, haligacha D-AMPS standarti ko'pincha IS-54 qisqartmasi ostida yuritiladi.

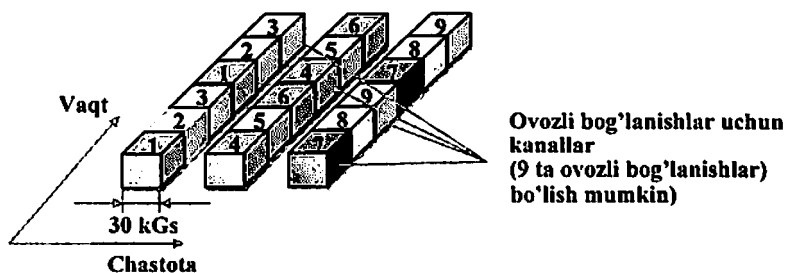
Oldingi D-AMPS standartining AMPS standartidan asosiy farqi abonentlarning tarmoqqa ulanish usuli bo'ldi, FDMA (8.12-rasm)

o‘miga TDMA (Time Division Multiple Access), ya’ni vaqt bo‘yicha ajratiladigan ko‘p tomonlama ulanish (8.13-rasm) ishlatildi. Bu usul har bir bog‘lanishning qismlarini bitta chastotada birin-ketin joylashtirish bilan bog‘lanishlarni vaqt bo‘yicha ajratadi. Bu yangilikning o‘zi tufayli tarmoqning sig‘imi 3 baravar oshirildi.

D-AMPS standarti ovozi oqimni analog-raqamli o‘zgartirishni (ARO‘) ko‘zda tutadi, bu tufayli ulanish xavfsizligi algoritmlari, qo‘shimcha xizmatlar va eng muhimi, ajratilgan chastota spektridan yanada samarali foydalanish imkoniyati paydo bo‘ladi. Bunda yangi standart AMPS standarti ishlaydigan o‘sha bir chastotalar diapazonidagi (824-849 va 869-894 MGs) 30 kGsli chastotalar kanallaridan foydalanadi [4].



8.12-rasm. AMPS standarti tizimining radiointerfeysini qurish prinsipi



8.13-rasm. D-AMPS standarti tizimining radiointerfeysini qurish prinsipi

IS-54 standartida AMPS standartiga nisbatan ikki baravar ko‘p xizmat kanallari ko‘zda tutilgan. Biroq, ularning yarmi oldingi analog standartdagi kanallar to‘plamiga o‘xshash, ya’ni o‘sha bir protokollar va modulyatsiyalash sxemalaridan foydalaniladi. Bu yangi tizimga asosiy talab sifatida qo‘yilgan “teskari moslashuvchanlik” prinsipini

qondirishga imkon beradi. Uning asosiy maqsadi mavjud AMPS tarmog'idagi o'zgarishlarni minimallashtirish va bu bilan xizmatlarni ko'rsatilishidagi uzilishini kamaytirish va modernizatsiyalashga xarajatlarni kamaytirishdan iborat.

D-AMPS standartida, yuqorida ta'kidlanganidek, TDMA vaqt bo'yicha ko'p tomonlama ulanish usulidan foydalaniladi. U TIA tomonidan 1992 yilda qabul qilingan. TDMA har bir FDMA-chastotaviy kanalni (30 kGs) har biri bitta ovozli bog'lanishni uzata oladigan 3 ta TDMAkanallariga ajratadi. Keyin paydo bo'lgan yangi nutq kodeki tufayli TDMA-kanallarning har biri 2 ta nimkanallarga bo'linishi mumkin, ularning har biri ovozni, lekin yuqori siqish darajasi bilan uzatishi mumkin edi. Shunday qilib, yangi ko'p tomonlama ulanish usuli tufayli tarmoq sig'imini 3-6 baravar oshirish mumkin bo'ldi.

D-AMPS standartida yana boshqa modulyatsiyalash usuli - DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying) ishlatiladi, bu fazaviy modulyatsiyalashning (FM) bir turi hisoblanadi. Bu tufayli spektral samaradorlik 1,62 bit/sGsga oshirildi, bu GSM standartiga nisbatan 20 foizga yaxshi bo'ldi. Bu chastotalar spektridan yanada samarali foydalanishga imkon beradi. Lekin D-AMPS standartining energetik samaradorligi GSM standartiga qaraganda pastroq, bu esa bazaviy stansiyalarning elektr energiyasi sarfini ortishiga va mobil telefonlar (MS) akkumulyatorlarini tez zaryadsizlanishiga olib keladi.

Ovoz oqimining ortiqchaliklarini yo'qotish uchun D-AMPS standartida CELP (Code-Excited Linear Prediction) – chiziqli bashoratlashli nutq kodeklari oilasiga kiradigan VSELP (Vector Sum Excited Linear Prediction) nomli ovoz kodeki ishlatiladi. Siqilganidan keyin ovozli oqim tezligi deyarli AMPS standartidagiga teng bo'lgan sifatda 7,95 kbit/sga (13 kbit/sga) etadi. Yarim tezlikli (Half Rate) kodek uchun sifati biroz yomonlashganda tezlik 6,5 kbit/sni tashkil qiladi.

D-AMPS standartidagi yangiliklarga yangi CAVE (Cellular Authentication, Voice Privacy and Encryption) autentifikatsiyalash va CMEA (Cellular Message Encryption Algorithm) shifrlash algoritmlari ham kiradi. AMPS standartidan farqli ravishda bu standartda tez so'nishlar bilan kurashish uchun interleaving (Interleaving - oralatish) qo'llanadi.

D-AMPS standartidagi birinchi tijorat tarmog'i 1990 yilda paydo bo'ldi va tezda Shimoliy Amerika mamlakatlarida keng tarqaldi. Shu

bilan brga, Digital AMPS dunyo bo'ylab yana 80 mamlakatlarda tarqaldi.

Bu standartning katta afzalliklari ro'yxatiga qaramay, D-AMPS juda katta kamchiliklarga ega: abonent (operator) raqamini faqat SIM-kartani almashtirish yetarli bo'ladigan GSM tarmoqlaridagidek osonlikcha o'zgartirish mumkin emas. Bu D-AMPS standartini bosqichma-bosqich GSM standarti tomonidan surib chiqarilishiga olib keldi.

Bu standartning tugatilishi sifatidabuton dunyoda tugatish to'liqini sodir bo'lgan 2007-2008 yillarni belgilash mumkin. Biroq, GSM standartiga yutqazishlarga, D-AMPS standarti sotali aloqa tarmoqlariga yangi funksionalni taqdim etdi, bu keyingi standartlar uchun yangi rivojlanish yo'nalishlarini va yangi sotali aloqa tizimlarida hisobga olingan mumkin bo'lgan kamchiliklarni ko'rsatdi.

8.4.1. GSM standarti sotali raqamli tizimlari

Ikkinchi avlod sotali aloqa standartlari ko'plab mamlakatlarda ham keng tarqalgan. Eng mashhur 2G standarti - GSM (Global System for Mobile Communications - Mobil aloqa global tizimi) hisoblanadi. Dunyo bo'ylab sotali aloqa tarmoqlarining taxminan 80% bu standartga muvofiq qurilgan. GSM tarmoqlaridan dunyoning 212 dan ortiq mamlakatlaridagi 3 milliard kishi foydalanadi. Bunday keng tarqalish sotali aloqa operatorlari o'rtasida xalqaro roumingdan foydalanishga imkon beradi, bu esa abonentlarga dunyoning deyarli har qanday burchagida o'z telefonidan foydalanishga imkon beradi. Binobarin, aynan rouming (shu jumladan xalqaro rouming) imkoniyati GSM standartining birinchi avlod standartlaridan ajratib turadigan asosiy xususiyati hisoblanadi [18].

GSM standartini ishlab chiqish 1982 yilda CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) standartlashtirish bo'yicha tashkilot tomonidan boshlangan. 1991 yilda Finlyandiyada dunyodagi birinchi GSM tarmog'i ishga tushirildi. 1993 yilning oxiriga kelib bu standartdan foydalanadigan abonentlar soni milliondan oshdi. Bu vaqtga kelib GSM tarmoqlari dunyoning 73 mamlakatlarida qurilgan.

GSM tarmoqlari quyidagi keng turdagi xizmatlarni taqdim etishga imkon beradi:

- Ovozli bog'lanishlar.

- Ma'lumotlarni uzatish xizmatlari (EDGE texnologiyasi tufayli 384 kbit/sgacha).

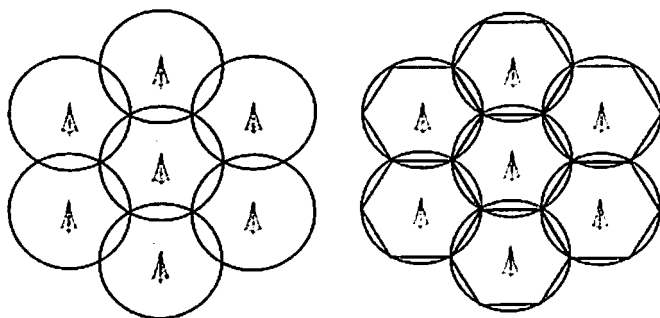
- Qisqa matnli xabarlarni (SMS) uzatish.

- Fakslarni uzatish.

- Ovozli pochta.

- Konferensaloqa va boshqalar.

Shu tufayli GSM sotali aloqa bozorida kuchli mavqega ega bo'ldi. Binbarin, ishonch bilan aytish mumkinki, bu standart yaqin bir necha yil ichida yyetakchi bo'ladi. Shunday qilib, GSM tizimini tashkil etuvchi asosiy elementlarni ko'rib chiqamiz. Ideal tarmoq modeliga misolni ko'rib chiqamiz. 8.14-rasmda har biri BSda 6 tadan qo'shnilari bo'lgan model tasvirlangan. Masalan, bu stansiyalar tepaliklar, daraxtlar, binolar va notekisliklarsiz tekis sirtida joylashgan.

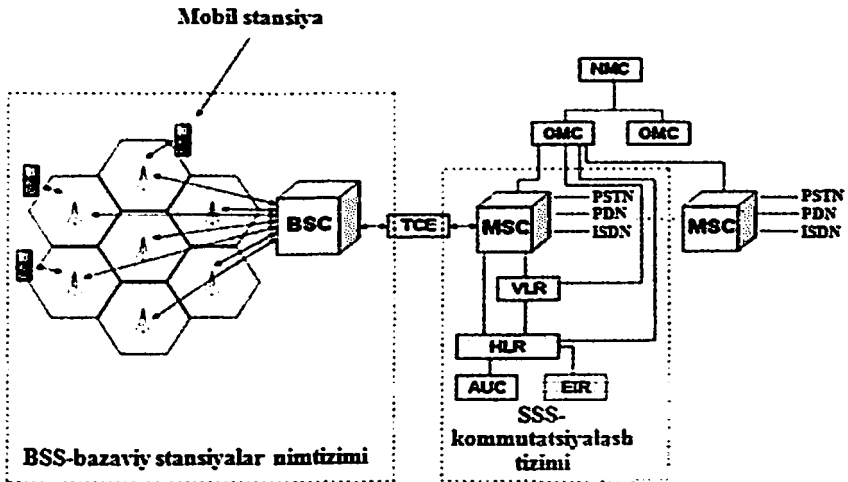


8.14-rasm. Sotali aloqani tashkil etish

Bunday sharoitlarda BSning qamrab olish zonasi bir-birlari bilan kesishadigan aylana hisoblanadi. Agar aylanalarning kesishish nuqtalarini birlashtirsak, olti burchak – asalari uylarini olamiz.

8.4.2. GSM tarmog'ining tuzilmasi va komponentlarining tavsifi

8.15-rasmda GSM tizimi tarkibiga kiradigan asosiy elementlar tasvirlangan. Tarmoq ikkita asosiy tizimlar - BSS (Base Station System) - bazaviy stansiyalar nimitizimi va SSS - kommutatsiyalash tizimlariga bo'linadi [18].

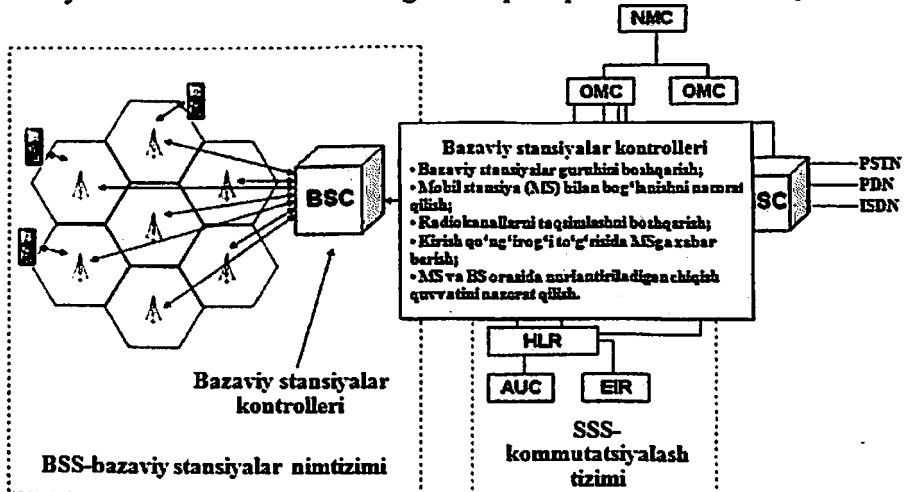


8.15-rasm. GSM tarmoqning arxitekturasi

BSC – bazaviy stansiya kontrolleri.

Uning vazifalariga quyidagilar kiradi (8.16-rasm) [18]:

- bazaviy stansiya va mobil stansiya orasida radiokanallarni taqsimlash;
- mobil stansiya (MS) bilan bog'lanishni nazorat qilish;
- kirish qo'ng'irog'i to'g'risida MSga xabar berish;
- abonentlarning so'zlashuvlari davomida mobil va bazaviy stansiyalar orasida nurlantiriladigan chiqish quvvatini nazorat qilish.



8.16-rasm. Bazaviy stansiya kontrollerining vazifalari

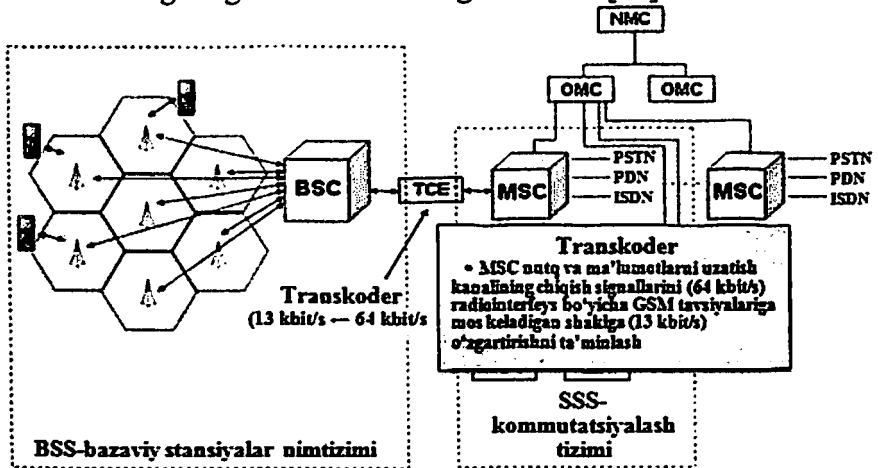
Transkoder

BS va kommutatsiyalash tizimi o'rtasidagi oraliq bo'g'in transkoder (TCE) - kommutatsion markazdan ovoz va ma'lumotlarni uzatish kanalining kirish signallarini radiointerfeys bo'yicha GSM tavsiyalariga mos keladigan shaklga o'zgartiradigan qurilma hisoblanadi (8.17-rasm).

Oddiyroq aytganda, simli liniyalar orqali raqamli ovoz $V=64$ Kbit/s tezlikda uzatiladi. Signal bir xil tezlikda kommutatsiyalash markazining chiqishidan uzatiladi. Mobil stansiya va BS orasida nutq $V=13$ Kbit/s tezlikda uzatiladi. Transkoder 64 kbit/sni 13 kbit/sga o'zgartiradi [18].

Mobil kommutatsiyalash markazi

Mobile Switching Center (MSC) inglizchadan mobil kommutatsiyalash markazi sifatida tarjima qilinadi. Kommutator, masalan, ma'lum bir shahardagi hudud bo'yicha cheklangan sotalar guruhiga xizmat qiladi va MSning ishlashi uchun zarur bo'ladigan barcha turlardagi bog'lanishlarni amalga oshiradi [18].



8.17-rasm. Transkoderning vazifalari

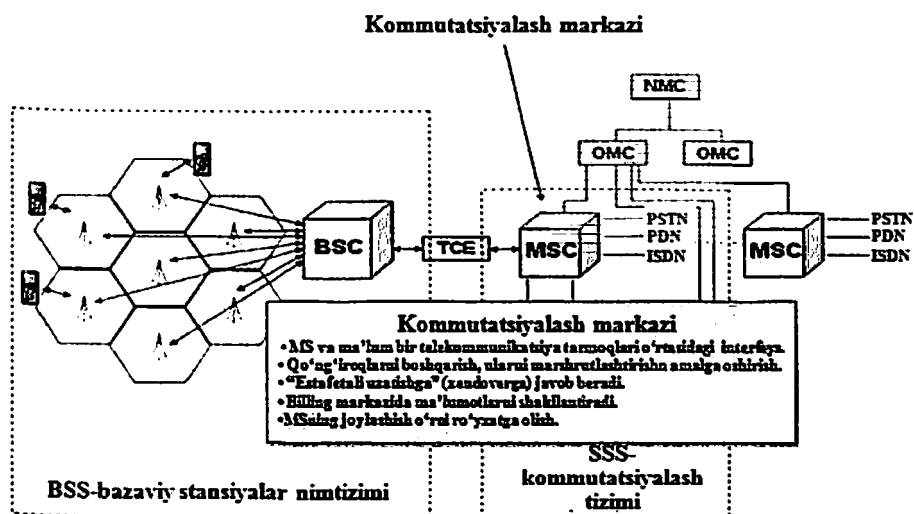
Kommutatorning funksiyalari quyidagilardan iborat (8.18-rasm):

- MS va ma'lum bir telekommunikatsiya tarmoqlari o'rtasidagi bog'lanish (sotali telefon va kommutator orqali shahar tarmog'ining istalgan abonentiga qo'ng'iroq qilish mumkin).
- Qo'ng'iroqlarni boshqarish, ularni marshrutlashtirishni amalga oshirish.

- “Estafetali uzatishga” (xendoverga) javob beradi. Bu funksiya jarayonida MS bir sotadan boshqa sotaga oʻtganda aloqaning uzluksizligi taʼminlanadi.

- Billing markazida koʻrsatilgan aloqa xizmatlari uchun hisoblarni berish uchun zarur boʻladigan dastlabki maʼlumotlarni shakllantiradi.

- MSning joylashish oʻrni roʻyxatga olish. Masalan, Toshkent shahridan Toshkent viloyatiga harakatlanishda bu harakatlarning barchasi maʼlumotlar bazasida qayd etiladi.



8.18-rasm. Mobil kommunikatsiyalash markazining vazifalari

“Uy” joylashish oʻrni registri

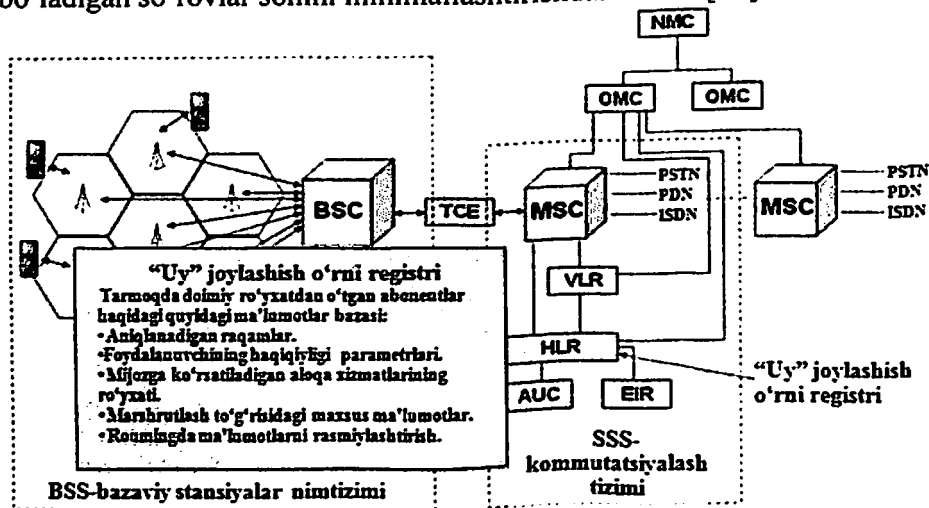
Home Location Register (HLR) – “uy” joylashish oʻrni registri hisoblanadi. Bu qurilma istalgan mobil stansiyalarning joylashish oʻrni haqidagi maʼlumotlarga ega boʻladi, bu kommunikatsiyalash markaziga bu stansiyaga qoʻngʻiroqlarni yoʻnaltirishga imkon beradi [18].

HLR tarmoqda doimiy roʻyxatdan oʻtgan abonentlar haqidagi quyidagi maʼlumotlar bazasi (MB) hisoblanadi (8.19-rasm):

- Foydalanuvchining haqiqiyliqi parametrlari.
- Aniqlangan raqamlar.
- Mijozga koʻrsatiladigan aloqa xizmatlarining roʻyxati.
- Marshrutlash toʻgʻrisidagi maxsus maʼlumotlar.
- Roumingda maʼlumotlarni rasmiylashtirish.

Mehmonlarning joylashish o'ri registri

Bu ma'lum bir kommutatsiyalash markazining qamrab olish zonasida bo'lgan abonentlarning vaqtinchalik ma'lumotlar bazasi hisoblanadi. Visitor Location Register (VLR) registrining asosiy roli - sotali aloqa abonentlariga taalluqli bo'lgan doimiy ma'lumotlarga ega bo'lgan uy joylashish o'ri registriga (HLR) MSC bajarishi kerak bo'ladigan so'rovlar sonini minimallashtirishdan iborat [18].



8.19-rasm. “Uy” joylashish o'ri registrining vazifalari

Ideal holda, har bir MSCda bitta mehmonlarning joylashish o'ri registri bo'lishi kerak, lekin bitta VLR bir nechta MSClarga xizmat ko'rsatish mumkin (8.20-rasm).

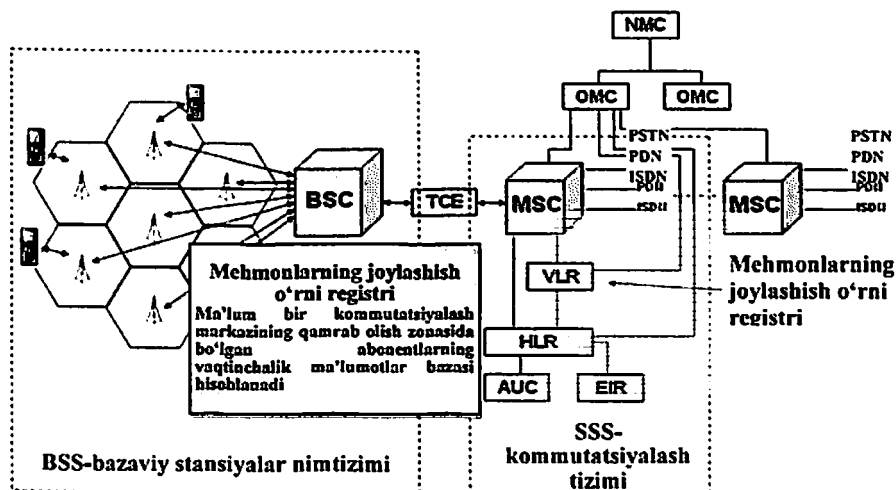
Tizimning afzalligi shundan iboratki, u “uy” joylashish o'ri registridagi asosiy ma'lumotlar bazasiga yuklamanni kamaytiradi. Unda “uy” joylashish o'ri registridagi kabi abonent ma'lum bir kommutatsiyalash markazining qamrab olish zonasida bo'lganida ma'lumotlar saqlanadi.

Authentication Center (AUC) - autentifikatsiyalash markazi

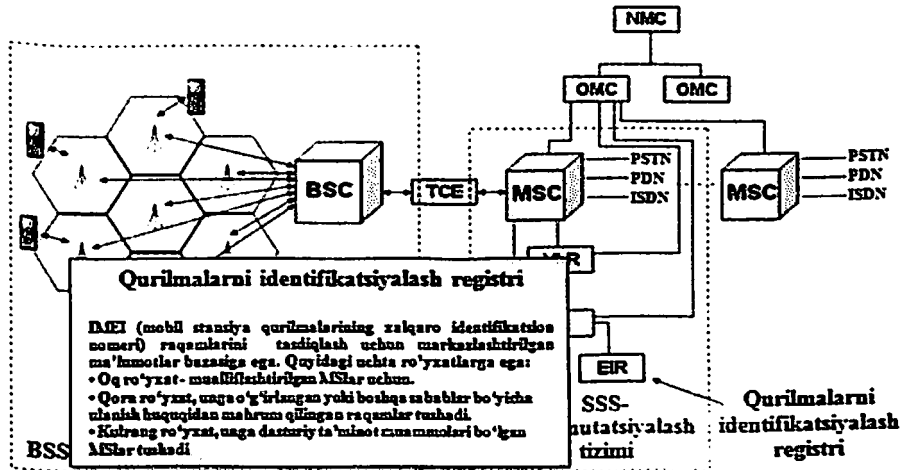
Bu tarmoqqa ulanishni istaydigan mobil abonentning haqiqiyligini tekshirish uchun ishlatiladigan GSM tarmog'idagi funktsiya hisoblanadi. Autentifikatsiyalash SIM-kartaning haqiqiyligini identifikatsiyalash va tekshirish orqali amalga oshiriladi [18]:

- Abonent autentifikatsiyalanganidan keyin, AUC konfidensiallik uchun ishlatiladigan parametrlarni generatsiyalash va radioliniyani shifrlash uchun javob beradi. Mobil abonentning konfidensialligini

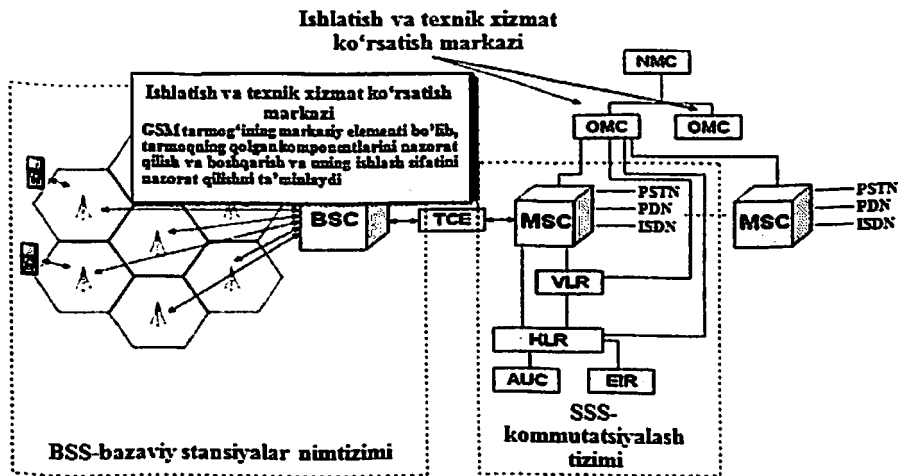
ta'minlash uchun mobil abonentni vaqtinchalik identifikatsiyalash (TMSI) tayinlanadi, bu vaqt davomida abonent AUCga bog'langan ma'lum bir mobil kommutatsiyalash markazi (MSC) orqali nazorat qilinadi.



- Bir nechta bloklarni o'z ichiga oladi va autentifikatsiya kalitlari va algoritmlarini generatsiyalaydi;
- Abonentning huquqlari tekshiriladi va aloqa tarmog'iga ulanishi amalga oshiriladi;
- Markaz bir nechta noyob raqamlar, individual kalit va mijozni autentifikatsiyalash algoritmiga ega bo'lib, ular keyinchalik kommutatsiyalash markaziga uzatiladi (8.21-rasm).



8.22-rasm. Qurilmalarni identifikatsiyalash registrining vazifalari



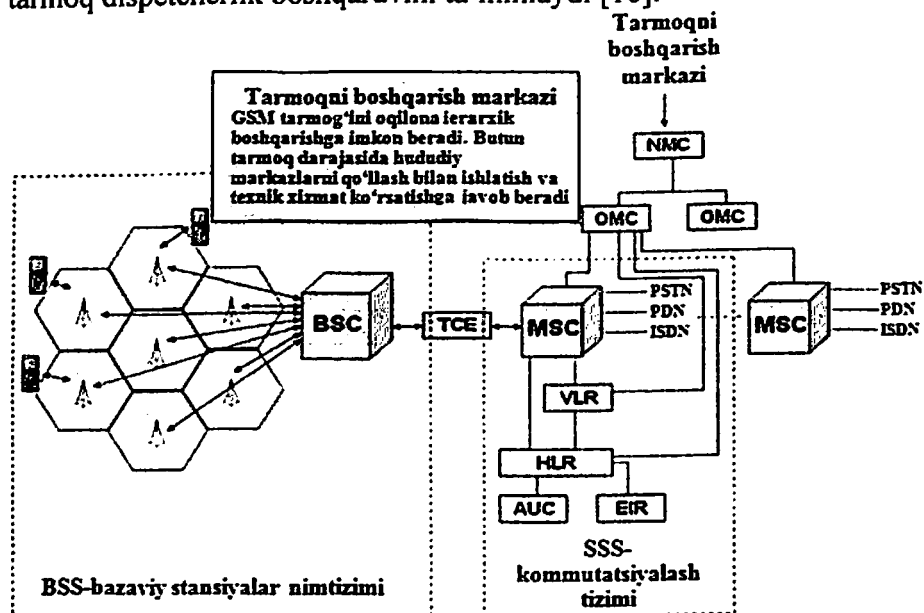
8.23-rasm. Ishlatish va texnik xizmat ko'rsatish markazining vazifalari

Tarmoqni boshqarish markazi

GSM tarmog'ining oqilona ierarxik boshqarishni yaratish uchun Network Management Center (NMC) – tarmoq operatsion markazi mos keladi, u quyidagilarga javob beradi (8.24-rasm):

- Butun tarmoq darajasida hududiy markazlarni qo'llash bilan ishlatish va texnik xizmat ko'rsatish.

- Favqulodda vaziyatlarda, masalan, mexanizmning buzilishi yoki tugunlarning o'ta yuklanishida NMC tarmoqdagi trafikni boshqarish va tarmoq dispatcherlik boshqaruvini ta'minlaydi [18].



8.24-rasm. Boshqarish markazining vazifalari

• Tarmoq qurilmalarida ishlatiladigan boshqarish tugunlarining texnik holatini nazorat qiladi va tarmoqni boshqarish markazi operatorlari uchun monitorlarda tarmoq holatini aks ettiradi. Bu xodimlarga jarayonni kuzatib borish va ishlatish markazlariga yordam berish imkonini beradi.

• Xodimlar xizmat ko'rsatishning yomonlashishini oldini olish uchun alohida e'tibor talab etilishi mumkin bo'lgan ba'zi bir sharoitlar bo'yicha bir yoki bir nechta tarmoqlarni monitoring qilishga javobgar.

• Tashkilotlar turli tarmoqlarni boshqarish yoki bitta BS mumkin bo'lmaganda geografik ortiqchalikni ta'minlash uchun bittadan ortiq NMClarni boshqarishi mumkin.

8.4.3. CDMA One standartining o'ziga xos xususiyatlari

CDMA One sotali aloqadan hamma joylarda foydalanishga turki bo'lgan va Shimoliy Amerikada keng tarqalgan birinchi mobil aloqa standarti hisoblanadi. CDMA One ko'pincha IS-95 deyiladigan

standartning brend nomi hisoblanadi. IS-95 standartining birinchi spetsifikatsiyalari IS-95A qisqartmasi ostida chiqarilgan va keyinchalik takomillashtirilgan relizlar IS-95V sifatida nashr etilgan. IS-95V odatda CDMA One bilan bog‘lanadi. Ovoz bilan bir qatorda bu standartdagi sotali aloqa tizimlari ma‘lumotlarni IS-95A uchun 14,4 kbit/s va IS-95V uchun 115 kbit/s tezliklarda uzatishi mumkin edi [4].

CDMA One kodi bo‘yicha ko‘p tomonlama ulanish (CDMA - code division multiple access) ishlatiladigan birinchi sotali tizim edi. Oldingi tizimlarda chastota bo‘yicha (FDMA - frequency division multiple access) va vaqt bo‘yicha (TDMA - time division multiple access) ulanish usullari ishlatilgan. IS-95 standartidan keyingi barcha sotali aloqa standartlari, shu jumladan 3G uchinchi avlod standartlari radiointerfeysni qurishda CDMA usulidan foydalangan. Shunday qilib, CDMA One bu sohada kashshof ekanligini isbotladi.

CDMA usuli ishlatiladigan tizimlarda har bir ovoz oqimi o‘z noyob kodi bilan belgilangan va bir vaqtda bitta kanalda boshqa ko‘plab ovoz oqimlari bilan birga uzatiladi. Qabul qiluvchi tomon shovqindan signalni ajratib olish uchun o‘sha bir kodni ishlatadi. Ko‘plab ovoz oqilari orasidagi yagon farq noyob kod hisoblanadi. Kanal juda keng va har bir ovoz ofimi butun diapazonning kengligini egallaydi. Bu tizim 1,23 MGs kenglikdagi kanallar to‘plamini ishlatadi. Ovoz 8,55 kbit/s tezlikda kodlanadi, lekin ovoz aktivligini va turli kodlash tezliklarini aniqlash ma‘lumotlar oqimini 1200 bit/sgacha qisqartirishi mumkin. CDMA tizimlarida signal quvvatining juda past qiymatiga qaramasdan, nazariy jihatdan signal shovqin sathiga qaraganda kuchsiz bo‘lishiga qramasdan juda mustahkam va himoyalangan bog‘lanishlar o‘rnatilishi mumkin.

CDMA prinsipi polosasi oddiy xabarlarni uzatish uchun zarur bo‘ladigan chastotalar polosalaridan sezilarli ortiq bo‘lgan keng polosali signallarni (KPS) ishlatilishiga asoslangan. Keng polosali (shovqinsifat) signalning bazasi bilan tavsiflanadi, u F spektr kengligini uning T davomiyligiga ko‘paytmasi sifatida aniqlanadi.

$$B = F \cdot T$$

Xabarlarni ikkilik simvollar ko‘rinishida raqamli uzatishda KPSning T davomiyligi va S uzatish tezligi:

$$T = 1/S$$

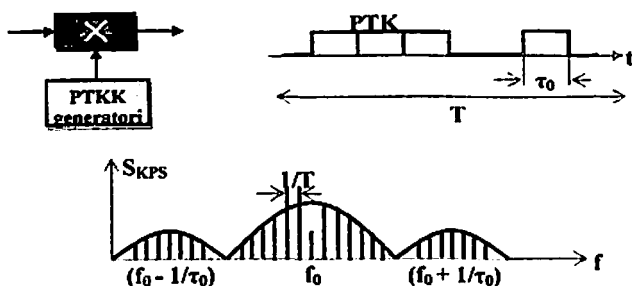
nisbat orqali bog'langan.

Natijada $V=F/S$ signalning bazasi KPS spektrini xabar spektriga nisbatan kengayishini tavsiflaydi, u esa o'z navbatida ikkita usul yoki ularning kombinatsiyalari orqali amalga oshirilishi mumkin:

- 1) chastotalar spektrini to'g'ri kengaytirish;
- 2) tashuvchi chastotani sakrashsimon o'zgartirish.

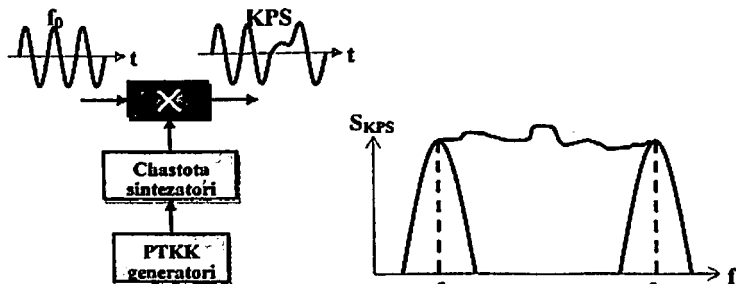
Birinchi usul bo'yicha tor polosali signal T davomiylikli psevdotasodifiy ketma-ketlikka (PTKK) ko'paytiriladi, u o'z navbatida har biri davomiylikga ega bo'lgan N ta bitlardan tashkil topgan. U holda, KPS bazasi (8.25-rasm.) miqdor jihatidan PTKK elementlari soniga teng bo'ladi.

$$B = T / \tau_0 = N$$



8.25-rasm. Chastotalar spektrini to'g'ri kengaytirish usuli orqali KPSni shakllantirish

Tashuvchi chastotani sakrashsimon o'zgarishida, sintezatorning chiqish chastotasi PTKKni shakllantirish qonuniga muvofiq tez qayta sozlanishi amalga oshiriladi (8.26-rasm).



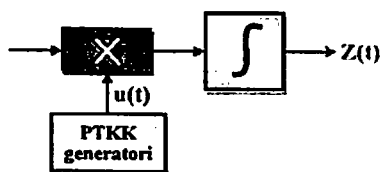
8.26-rasm. Tashuvchi chastotani sakrashsimon o'zgartirish usuli orqali KPSni shakllantirish

KPSni qabul qilish uchun optimal qabullagich ishlatiladi, u ma'lum parametrli signal uchun quyidagi korrelyatsion integralni hisoblaydi:

$$Z = \int_0^T X(t)u(t)dt,$$

bu yerda $X(t) - u_s(t)$ dastlabki signal va $u_{sh}(t)$ shovqin yig'indisidan iborat kirish signali.

Keyin Z qiymat Z_0 bo'sag'a bilan taqqoslanadi. Korrelyatsion integralni hisoblash korrelyator yoki moslashtirilgan filtr yordamida amalga oshiriladi (8.27-rasm).



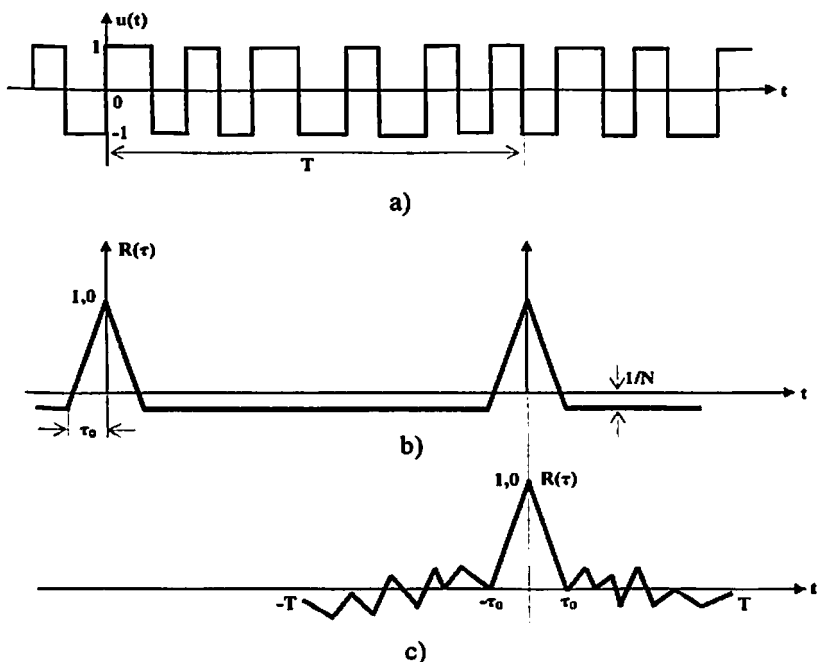
8.27-rasm. KPS korrelyatsion qabullagichi

Korrelyatorning funksiyasi keng polosali kirish signalini $1/T$ polosadan keyingi filtrlashli $u(t)$ etalon nusxaga ko'paytirish yo'li bilan "siqishdan" iborat. Bu korrelyatorning chiqishida signal/shovqin nisbatini kirishga nisbatan \sqrt{N} marta oshirishga imkon beradi.

Korrelyatorga $x(t)$ kirish signali va $u(t)$ tayanch signali kelganida chiqish signalining amplitudasi kamayadi va PTKK elementining davomiyligiga teng surilishda "0" ga teng bo'lib qoladi. Korrelyator chiqish signali amplitudasini o'zgarishi korrelyatsion funksiya turi orqali aniqlanadi. Kirish va tayanch PTKK orasidagi surilish bo'lmaganida u AKF avtokorrelyatsion funksiya, surilish bo'lganida esa O'KF o'zaro korrelyatsion funksiya deyiladi. $N=15$ li M-ketma-ketlikning tuzilmasi (a), uning davriy AKFning ko'rinishi (b) va aperiodik, ya'ni vaqt bo'yicha davriy takrorlanmaydigan AKF ko'rinishi (v) 8.28-rasmda keltirilgan.

Keltirilgandan kelib chiqadiki, "yaxshi" avtokorrelyatsion" va o'zar korrelyatsion funksiyalarli signallarni tanlash, korrelyatsion qayta ishlash (KPS o'ramalari) yo'li bilan signallarni ajratilishini ta'minlash

mumkin, bu aloqa kanallarini kodli ajratishli tizimlarni qurishning asosiy prinsipi hisoblanadi.



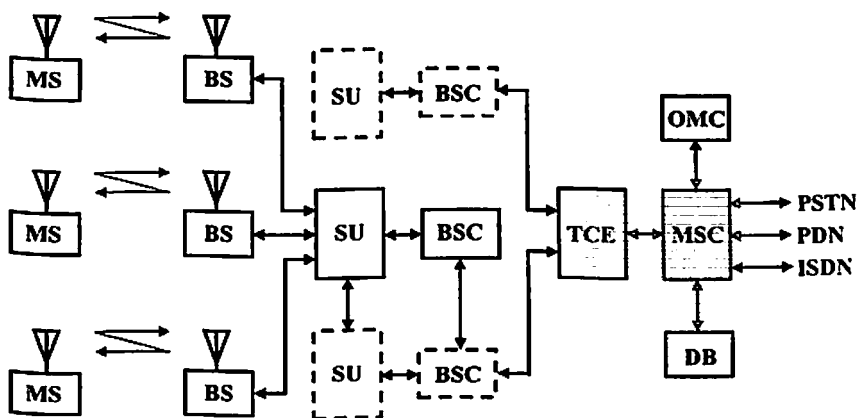
8.28-rasm. $N = 15$ li M -ketma-ketlikning tuzilmasi (a), davriy AKF (b) va aperiodik AKF v)

Amalda sotali aloqa tizimlarida asosan spektrni to'g'ri kengaytirish yo'li bilan olinadigan KPS ishlatiladi, kanallarni farqlash esa chastotalar spektri polosasini kengaytirish uchun ishlatiladigan psevdoto'soddiy ketma-ketlik shakli orqali aniqlanadi. Bunday tarzda shakllantirilgan radiosignal fazaviy manipulyatsiyalangan KPS deyiladi.

PTKK turini tanlash signallar anisamblining o'zaro va avtokorrelyatsion xarakteristiklariga. Uning hajmiga, qabullagichda signallarni shakllantirish va "siqish" (o'rash) qurilmalarini bajarilishining oddiylikiga bog'liq bo'ladi. Sanab o'tilgan shartlarni chiziqli M -ketma-ketliklar va ularning segmentlari qanoatlantiradi, signallar ansamblini kengaytirish uchun esa ko'pincha Uolsh ketma-ketligi qo'shiladigan tarkibiy PTKKlar ishlatiladi. CDMA standartidagi tizimlarni yaratishning asosiy muammosi kichik o'lchamli, kam

iste'mol qiladigan va ko'p funksiyali KPSlarni "siqish" qurilmalarini bajarilishi hisoblanadi. Bu muammo turli firmalar tomonidan muvaffaqiyatli hal etilgan, xususan, Qualcomm Amerika firmasining taklifi bo'yicha AQShda CDMAli MSAT tizimlari uchun IS-95 standarti qabul qilingan. Yevropada RACE turli dasturlarida CODI T (code Division testbed) loyihasi ishlab chiqilgan bo'lib, uning asosiy maqsadi CDMA standartida uchinchi avlod sotali tizimlar uchun IMTS/FPLMTSni ishlatilishi imkoniyatidan iborat.

8.29-rasmda CDMA One sotali aloqa tarmog'ining umumlashtirilgan tuzilish sxemasi keltirilgan.



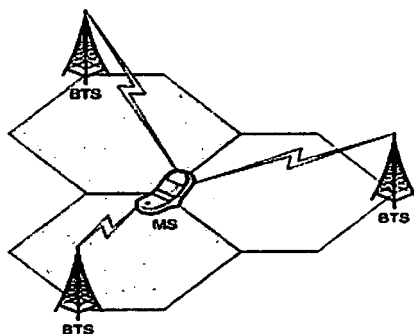
8.29-rasm. CDMA One tarmog'ining arxitekturasi

Bu tarmoqning asosiy elementlari (BS, BSC, MSC, OMS) tarkibi bo'yicha kanallar vaqt bo'yicha ajratiladigan sotali tarmoqlarda ishlatiladigan elementlar bilan mos tushadi. Asosiy farq shundan iboratki, CDMA One tarmog'i tarkibiga *sifatni baholash va bloklarni tanlash qurilmasi (SU - Selector Unit)* kiritilgan. Bundan tashqari, turli kontrollerlar (BSC) boshqaradigan bazaviy stansiyalar orasida yumshoq qayta ulash protsedurasini amalga oshirish uchun SU va BSC orasiga uzatish liniyasi (Inter BSC Soft handover) kiritilgan.

Harakatdagi obyektlarni kommutatsiyalash markaziga (MSC) o'zgartirgich – Transkoder (TCE – *Transcoder Equipment*) qo'shilgan, u nutq signali tanlanmalari, ma'lumotlar formatlarini bitta raqamli formatdan boshqasiga o'zgartiradi [4].

CDMA One standartining boshqa standartlar tizimlariga nisbatan afzalliklarini ta'minlovchi asosiy xususiyatlarini ko'rib chiqamiz:

1. **Yumshoq uzatish (Soft handoff).** Har bir sotada bir xil chastotalardan foydalanish tufayli foydalanuvchilar kanallari orasidagi yagona farq ishlatiladigan kengaytiruvchi ketma-ketlikdan iborat bo'ladi. Shuning uchun, abonent bir sotadan ikkinchisiga o'tishida chastotalar bo'yicha ajratiladigan standartlarida bo'lganidek chastotalar orasida o'tishlar bo'lmaydi (8.30-rasm). Mobil terminal (MS) ham manba sotasida, ham yangi sotada o'xshash signalni oladi, shuning uchun qabul qilgichni boshqa chastotaga qayta sozlanishiga zarurat yo'q. Bunda mobil terminal ikki, uch yoki undan ortiq sotalardan signallarni qabul qilishi mumkin. Shuning uchun bitta sotadan signal sifatining keskin pasayishi uzilishga olib kelmaydi. O'z navbatida, birdaniga bir nechta bazaviy stansiyalar (BS) MSdan signalni qabul qilishi mumkin va bazaviy stansiya kontrolleri (BSC) ikki yoki undan ortiq signallarni taqqoslashi va eng yaxshisini tanlashi mumkin. Bu ikkala omillar xendover vaqtida bog'lanishni uzilishi ehtimolini pasaytiradi [4].



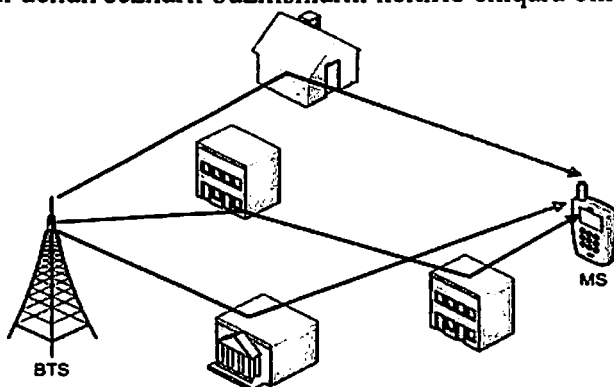
8.30-rasm. 3 ta bazaviy stansiyalar Soft handoffga misol

2. **Moslashuvchan tarmoq sig'imi.** Kanallar vaqt va chastota bo'yicha ajratiladigan tizimlarda abonentlar uchun mumkin bo'lgan kanallar soni qat'iy aniqlangan. Bunda, agar tizim mos sozlangan bo'lsa va qurilmaning ishlashi bilan muammolar bo'lmasa, kanallar bir-birlariga ta'sir qilmaydi. Agar sozlangan kanallar sonidan ortiqcha sotaga ulanishga urinishlar bo'lsa, u holda bunday abonentlarga xizmat ko'rsatishga rad etiladi [4].

Nazariy jihatdan, bu muhim emas spektr chastotalarga, taymslotlarga yoki kodlarga bo'linishi bilan tarmoqning sig'imi bir xil bo'ladi. Biroq, CDMA uchun barcha abonentlar kodlar yordamida ajratilgan. Shu sababli, bog'lanishlar sifatining biroz pasayishi evaziga

qo'shimcha foydalanuvchilar qo'shilishi mumkin. Shunday qilib, CDMA tizimlarining sig'imi kerak bo'lganda o'zgarishi mumkin.

3. **Ko'p nurli tarqalishga barqarorlik (8.31-rasm).** Spekrtning kengaytirilishi signallarni ko'p nurli tarqalishida vujudga kelishi mumkin bo'lgan chastotaviy-selektiv so'nishlarga qarshi kurashda samarali bo'ladi. CDMA usuldan foydalanishda foydali signalning energiyasi keng chastotalar polosasi bo'yicha taqsimlanadi. Shuning uchun tor chastotalar kanalda jamlangan chastotaviy-selektiv so'nishlar butun signal uchun sezilarli buzilishlarni keltirib chiqara olmaydi.



8.31-rasm. Signallarni ko'p nurli tarqalishiga misol

Foydali signalning energiyasi tor mintaqada to'plangan tizimlar uchun chastotani selektiv pasayish uzatish sifatining sezilarli pasayishiga yoki hatto tizim kanallarining vaqtincha bloklanishiga olib kelishi mumkin [4].

Bundan tashqari, CDMA One standartida signallarni ko'p nurli tarqalishi Rake-qabul qilgichdan foydalanishda xabarni oluvchiga foydali bo'lishi mumkin. U signalning barcha qaytgan nurlarini qabul qiladi va ularni tahlil qilish bilan xatoliklarni aniqlashi va ularni bartaraf etishi mumkin va bu bilan aloqaning sifatini yaxshilaydi.

4. **Ekvalayzerdan foydalanishning zarurati yo'q.** FDMA va TDMA tizimlarida uzatish tezligi 10 kbit/sdan ancha yuqori bo'lganda simvollararo interferensiyani kamaytirish uchun Ekvalayzerdan foydalanish zarur. Bu Shunga bog'liqki, tezlik ortganda Intervalning davomiyligi va mos ravishda simvollararo Intervallar kamayadi. Shuning uchun keyingi simvollarning energiyasi bir-birlariga qoplanishi mumkin. CDMA One standartida har bir simvolning energiyasi keng polosada uzatilishi hisobiga simvollararo interferensiya xavfli emas.

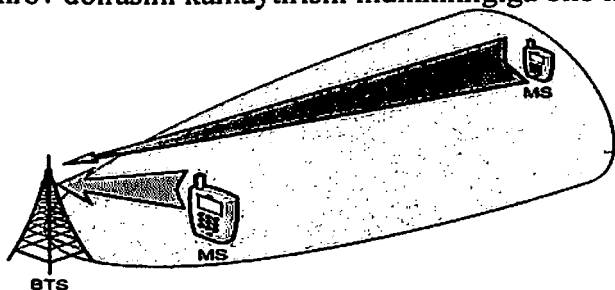
Bundan tashqari, Rake-qabul qilgich bu salbiy hodisaga qarshi kurashishda katta yordam beradi [4].

5. **Yuqori maxfiylik va tashqi ta'sirlarga barqarorlik.** Kengaytirilgan signallarning muhim xususiyati shundan iboratki, ular shovqinsifat yoki psevdotasodifiy bo'lib qoladi. Bu ikkita atamalar signalning spektri ham shakli, ham quvvati bo'yicha oq shovqin spektriga o'xshash bo'lib qolishiga bog'liq. Shuning uchun, efirda bunday signal uni qoplaydigan tashqi halaqitlarga niqoblangan bo'lib qoladi va signalning borligini aniqlash, hattoki unga ta'sir o'tkazish, yashirin eshitish yoki almashtirishga urinish juda qiyin bo'ladi [4].

Afzalliklarga qo'shimcha ravishda CDMA usulidagi tizimlarining ba'zi kamchiliklari mavjud:

1. **CDMA tizimlari o'zaro interferensiya hosil qiladi.** Bu shuni anglatadiki, efirda ishlaydigan qurilmalar halaqitlar hosil qilish bilan boshqa qurilmalarning ishlashiga ta'sir qiladi. Bu shunga bog'liqlik, tizim butunlay ortogonal (bog'liq bo'lmagan) kodlardan foydalanilmaydi. Shuning uchun har xil abonentlarning MSlari bir-birlariga ta'sir qilishi mumkin. Binobarin, tarmoqda mobil terminallar qancha ko'p ishlatilsa, ular bir-birlariga shunchalik katta ta'sir qiladi. Aynan kodlarni to'liq ortogonal emasligi tizimning o'tkazish qobiliyati va sig'imi uchun asosiy cheklaydigan omil hisoblanadi [4].

2. **"Yaqin-uzoq" zonalar muammosi.** Bu bazaning stansiyasiga yaqinroq bo'lgan MS signali sotaning chekkasida joylashgan mobil telefonga qaraganda kamroq so'nishga uchrashi tufayli vujudga keladi (8.32-rasm). Bu holat barcha signallarning energiyasi umumiy chastotalar diapazonida uzatilishi tufayli vujudga keladi. Bu esa, mobil terminallar yaqinida uzoqda bo'lganlarni tiqib qo'yishi va shu bilan sotaning qamrov doirasini kamaytirishi mumkinligiga olib keladi [4].



8.32-rasm. "Yaqin-uzoq" zonalar muammosi

Bu muammoni yechishning asosiy usuli quvvatni boshqarish hisoblanadi. Odatda, kanallar kod bo'yicha ajratiladigan tizimlarida bir

necha xil quvvatni rostdash mexanizmlari qo'llaniladi, bu bunday hodisaning oqibatlarini minimumgacha kamaytirishga imkon beradi.

GPRS (General Packet Radio Service) texnologiyasi

GPRS (General Packet Radio Service) GSM standarti tarmoqlarida taqdim etiladigan paketli ma'lumotlar xizmati hisoblanadi. Dastlab GSM standarti kommutatsiyalanadigan bog'lanishlar bo'yicha ma'lumotlarning paketli uzatilishini ko'zda tutdi. Bu xizmat CSD (Circuit Switched Data) deyilgan. CSD uchun ma'lumotlarni maksimal uzatish tezligi 9,6 kbit/sgachani tashkil etdi. Bu tezlik fakslarni (past ruxsat etishli) va kichik hajmdagi ma'lumotlarni uzatish xizmatlarini amalga oshirish uchun yetarli edi. Bunda ma'lumotlar butun bazaviy stansiyalar tarmog'i (BSS) orqali uzatildi, keyin markaziy kommutator (MSC) orqali tashqi ma'lumotlarni uzatish tarmoqlariga yo'naltirildi [22].

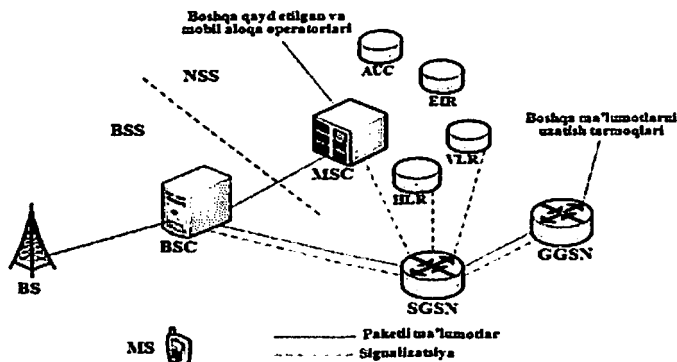
Ma'lumotlarni sotali aloqa tizimlari orqali uzatish xizmatiga qiziqishning ortishi bilan CSD texnologiyasi takomillashtirildi va sotali aloqa tarmoqlarida HSCSD (High Speed Circuit Switch Data – kommutatsiyalanadigan bog'lanishlar bo'yicha ma'lumotlarni yuqori tezlikda uzatish) texnologiyasidan foydalanish boshlandi. Ma'lumotlarni maksimal uzatish tezligi 57,6 kbit/sgacha oshirildi. Bu katta o'lchamlardagi fayllarni (yuzlab kilobaytlar) va yuqori aniqlikdagi fakslarni uzatish imkoniyatini berdi. Maksimal tezlikni ortishiga, birinchi navbatda, mobil stansiya (MS) va bazaviy stansiya (BS) orasidagi radiointerfeysda bir vaqtda bir nechta taymslotlardan (TS) foydalanish orqali erishildi. CSD va HSCSD xizmatlarida tariflashtirish ma'lumotlarni uzatish uchun sarflangan vaqt bo'yicha amalga oshiriladi. O'tgan asrning 90-nci yillarida bunday imkoniyatlar yetarli edi.

Biroq, Internetning keng qo'llanilishi bilan, kommutatsiyalanadigan bog'lanishlar orqali ta'minlanadigan ma'lumotlar uzatish tezligi sezilarli yetarli bo'lmay qoldi. Bir sahifani HSCSD texnologiyasidan foydalanish bilan yuklash uchun bir necha minut vaqt ketishi mumkin edi, bu esa abonentlarni qoniqtirmadi. O'z navbatida, kommutatsiyalanadigan bog'lanishlar bo'yicha ma'lumotlarni uzatish texnologiyasi sezilarli kamchiliklarga ega - butun abonent sessiyasi vaqtida bog'lanishni o'rnatish zaruratiga ega, bu esa amaliyot ko'rsatdiki, bu kanalni egallash ba'zan 50% dan kamni tashkil etdi. Shunday qilib, CSD va HSCSD xizmatlari qimmatli radioresurslaridan samarali foydalanishga imkon bermaydi.

Bu muammoning yechimi ma'lumotlarni paketli uzatish usuli bo'lishi mumkin. Bunda ma'lumotlarni uzatish xizmati zarur bo'ladigan barcha abonentlar uchun sotadagi umumiy resurs taqdim etiladi, u abonentlar orqali kerakli darajada va ular ma'lumotlarni uzatishida foydalaniladi, turib qolish vaqtlarida esa bu resurs boshqa abonentlar orqali ishlatiladi. Bunday holda, o'ta yuklanish ehtimoli oshadi, ammo boshqa tomondan, bu resurslarni taqsimlash usuli ancha tejamkor bo'ladi.

Paketlar kommutatsiyalanadigan sotali tizimlarda ma'lumotlarni birinchi paketli uzatish texnologiyasi GPRS bo'ldi. Bu texnologiya ma'lumotlarni uzatish tezligini 171 kbit/sgacha oshirishga imkon beradi, bu endi Internetdagi o'rtacha sahifalarni ko'rish va tarmoqdagi kichik fayllarni (yuzlab kilobayt - megabayt) almashlash uchun yetarli bo'ldi. GPRS kommutatsiyalanadigan bog'lanishlar bo'yicha ma'lumotlarni uzatishdan farqli ravishda bir nechta yangi qurilmalarni o'rnatilishi va GSM tarmog'ining mavjud ayrim elementlarini (dasturiy ta'minot va texnik vositalarni) modernizatsiyalashni ko'zda tutadi.

Birinchi navbatda, GPRS tarmog'i uchun ikkita yangi elementlar - SGSN (Serving GPRS Support Node - GPRS abonentlarga xizmat ko'rsatish tuguni) va GGSN (GPRS Gateway Service Node - GPRS shlyuz tuguni) tugunlarini o'rnatish zarur bo'ldi (8.33-rasm). Ular GSM standarti tarmog'ining paketli domeni yoki paketli tarmog'ini tashkil qiladi. SGSN ovozi tarmoq uchun MSC bilan bir xil rol ni o'ynaydi. Uning vazifalariga paketlarni marshrutlashtirish, Internet-sessiyalarni o'rnatish va o'chirish, taqdim etilgan aloqa xizmatlariga hisoblarni berish kiradi.



8.33-rasm. GPRS texnologiyasining ishlashi uchun zarur bo'ladigan yangi elementlar va interfeyslar

O‘z navbatida, GGSN ovozli tarmoqning G-MSC tuguniga mos keladi. Uning asosiy vazifasi ichki tarmoq va tashqi ma‘lumotlarni uzatish tarmoqlari (boshqa sotali aloqa operatorlari tarmoqlari, Internet va boshqalar) orasidagi paketlarni marshrutlashtirish hisoblanadi.

Shuningdek, GPRS xizmatlarini joriy etish uchun bazaviy stansiyalar kontrollerini (BSC) modernizatsiyalash zarur bo‘ldi. Xususan, signalizatsiyaga ishlov berish va paketlarni marshrutlashtirish uchun javob beradigan yangi funksional blokni o‘rnatish zarur bo‘ldi. Bundan tashqari, BSCning boshqa bloklari uchun dasturiy ta‘minotni modernizatsiyalash zarur bo‘ldi. Bazaviy stansiyalari tizimi (BSS) va MSC kamroq o‘zgartirishlarni talab qiladi, ammo Shunga qaramay dasturiy ta‘minotni modernizatsiyalashni talab qildi. Bulardan tashqari, yangi tarmoq elementlari - SGSN va GGSN, mavjud elementlari - BSC, MSC, VLR, HLR orasida interfeyslarni yaratish zarur bo‘ldi.

GPRS xizmatlaridan foydalanish uchun mobil stansiyada o‘zgartirishlar zarur bo‘ladi. GPRS texnologiyasidan foydalanishi mumkin bo‘lgan barcha MSlar 3 sinflarga bo‘lingan. A sinfdagi apparatlar bir vaqtning o‘zida GSM tarmog‘ida ishlashi va GPRS texnologiyasidan foydalanish bilan ishlashi mumkin. B sinfdagi MSlar GSM yoki GPRS tarmog‘ida ishlaydi, ammo ikkinchi texnologiyadagi ulanish buzilmaydi, balki saqlanadi. C sinfidagi terminallar faqat bitta texnologiyada ishlashi mumkin.

GPRS texnologiyasi sotali aloqa tarmoqlarida ma‘lumotlarni uzatish texnologiyalarini rivojlantirishga kuchli asos yaratdi va katta turtki berdi. GPRS uchun paydo bo‘lgan elementlar ham EDGE texnologiyasi, ham 3G tarmoqlari uchun ishlatishida davom etmoqda va umumiy prinsiplari esa to‘rtinchi avlod tarmoqlariga ham o‘tkazilgan. Shunday qilib, GPRS texnologiyasi ma‘lumotlar paketli uzatish texnologiyalarining uzun zanjirining boshida turadi [22].

8.5. 3G sotali aloqa tarmoqlari

3G tarmog‘i har biri o‘ziga xos funksiyalarni bajaradigan qator mobil aloqa standartlari hisoblanadi. Umuman olganda, uchinchi avlod texnologiyasi nafaqat radioaloqadan, balki Internetdan 2 Mbit/s tezlikda foydalanishga, shuningdek turli xil videofayllarni uzatishga imkon beradi. Har bir abonentga alohida IP-manzil beriladi, to‘lov esa foydalanilgan trafikka olinadi. Shuning uchun moddiy xarajatlar haqida qayg‘urmasdan doimiy ravishda Internetda bo‘lish mumkin [22].

3G texnologiyasi asosida yotadigan IMT-2000 standarti 2000 yilda Xalqaro elektr aloqa ittifoqi tomonidan yakuniy ishlab chiqilgan. Bu qisqartmada umuman tarmoqning ishonchli ishlashini ta'minlaydigan 5 ta standartlar yashiringan.

Birinchi 3G tarmog'i 2001 yil 1 oktyabrda Yaponiyada ishga tushirildi. Texnologiya Yevropaga birozdan keyin keldi. 2003 yil 3 martda Buyuk Britaniyada Hutchison operatori W-CDMA asosida ishlaydigan va qisqa "3" nomini olgan birinchi 3G tarmog'ini ishga tushirdi.

Rasman uchinchi avlod sotali aloqa tarmog'i Xalqaro elektraloqa ittifoqi tomonidan taklif qilingan IMT-2000 hujjatida batafsil bayon etilgan 5 standartlardan biriga asoslangan tizim hisoblanadi. U UMTS/WCDMA, CDMA2000/IMT-MC, TD-CDMA/TD-SCDMA (Xitoyning o'z standarti), DECT va UWC-136 texnologiyalarni o'z ichiga oladi. Eng mashhurlari faqat ikkita standartlar - UMTS va CDMA2000 standartlari bo'ldi.

3,5G sotali aloqa tarmog'i

3,5G HSDPA standarti bilan ifodalanadigan o'tish avlodi hisoblanadi.

HSDPA protokoli radiochastotalarni samaraliroq ishlatadi, buning hisobiga unumdorlik oshishi kerak. HSDPA prinsipial jihatdan yangilikni anglatmaydi, ammo foydalanuvchilarning uchinchi avlod (3G) mobil tarmoqlari haqidagi tasavvurlarini o'zgartirdi.

HSDPA (inglizcha High-Speed Downlink Packet Access) 4G avlodga o'tish bo'yicha oldingi bosqichlaridan biri hisoblanadi. Bunday tarmoq ko'proq ma'lumotlarni olib yurishi va ko'proq foydalanuvchilarni ushlab turishi mumkin [22].

HSDPA birinchi marta 3GPP standartlarining beshinchi versiyasida tavsiflangan. U o'tkazish qobiliyati oshirishga qaratilgan.

Shuningdek, HSDPA texnologiyasi multimediali ma'lumotlar xizmatlarini ancha yuqori sifatda taqdim etadi, yuqori tezlik hisobiga kechikish umuman sezilmaydi, uzatilayotgan ma'lumotlar hajmi ancha kattalashadi.

Keyingi bo'lgan takomillashtirishlarda HSPA+, dual-carrier HSPA+, HSPA+ Evolution texnologiyalaridan foydalaniladi. Ular nazariy jihatdan 600 Mbit/sgacha o'tkazish qobiliyatini ta'minlaydi.

8.6. 4G sotali aloqa tarmoqlari

To'rtinchi avlod sotali aloqa tarmoqlari mobil abonentlarga 100 Mbit/sdan yuqori va statsionar abonentlarga 1 Gbit/s tezlikda ma'lumotlarni uzatishni amalga oshiradi [20].

4G LTE-A (LTE Advanced) va IMT-Advanced sifatida belgilash qabul qilingan WMAN-Advanced, IEEE 802.16m (WiMAX 2) ishlanmalarini o'z ichiga oladi.

Har bir avlodning o'ziga xosligi abonentlarga xizmat ko'rsatish xususiyatlarining o'zgarishi, uzatish texnologiyalarining moslashuvchan emasligi, yuqori maksimal bitreyt, yangi chastotalar polosalari, ma'lumotlarni ko'p karrali uzatish uchun katta sig'im, shuningdek, o'tkazish polosasi kanalining kengayishi orqali aniqlanadi.

4G tarmoqlariga asosiy talablar quyidagilar hisoblanadi:

- asos paketlarni kommutatsiyalash - IP protokollari;
- maksimal uzatish tezligi: mobil abonentlar uchun 100 Mbit/sdan yuqori va statsionar abonentlar uchun 1 Gbit/s;
- bitta sotada ko'p sonli bir vaqtdagi ulanishlar uchun dinamik ajratiladigan tarmoq resurslaridan foydalanish;
- 40 MGs – kanalning masshtablanadigan chastotalar polosasi;
- mobil xizmatlarning yuqori sifati;
- abonent sessiyasini bitta bazaviy stansiyadan boshqasiga ravon o'tkazish;
- ma'lum maksimal spektral samaradorlik, aynan: pastga kanalda 15 bit/s/Gs va yuqoriga kanalda 6,75 bit/s/Gs;
- har bir sektorga ma'lum o'rtacha spektral samaradorlik: pastga yo'nalishda 1,1 dan 3 bit/s/Gs/sektorgacha va yuqori yo'nalishda 0,7 dan 2,25 bit/s/Gs/sektorgacha.

8.7. 5G sotali aloqa tarmoqlari

Barcha yirik shaharlarda ham hali LTE-tarmoqlarining qamrab olish zonolari mavjud emas, shu bilan birga telekommunikatsiya kompaniyalari esa mobil tarmoqlarning yangi 5G avlodini qurmoqda. 4G avlod bilan taqqoslaganda, 5G qator afzalliklarga ega. Bu tezlikni 100 barobar, o'tkazish qobiliyatini ming baravar ortishidan iborat [22].

5G standartlariga qo'yiladigan asosiy talablar:

- ma'lumotlar uzatish tezligi 1 dan 10 Gbit/s gacha;
- bir foydalanuvchiga oyiga ajratilgan 500 Gbit gacha trafik;
- ulangan qurilmalar sonining 100 barobar ortishi;
- tarmoqda ishlashda energiya iste'molini o'n baravar kamayishi;

- minimal kechikish vaqti (5 msdan ortiq emas);
- foydalanish narxini saqlanishi.

Bularning barchasini amalga oshirish uchun uylarga, ko'cha chiroqlariga va hattoki avtomobillarga ko'plab past quvvatli bazaviy stansiyalarni o'rnatish taklif etiladi. Bu yondashish abonentlar orasidagi masofani maksimal qisqartirish va buning natijasida ma'lumotlar uzatish tezligini oshirishga imkon beradi. Bazaviy stansiyalarda signalning quvvati kamayishi tufayli zararli nurlanish minimal bo'ladi.

Aytish mumkinki, beshinchi avlod tarmoqlari insonlar va qurilmalar istalgan vaqtda va istalgan joyda ulanadigan kelajakdagi intellektual jamiyat uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

5G mobil aloqa texnologiyasi quyidagi xarakteristikalariga ega:

- maksimal tezlikni pastga yo'nalishda 20 Gbit/sgacha (ya'ni bazaviy stansiyadan mobil telefongacha) va teskari yo'nalishda 10 Gbit/sgacha oshirish;

- har bir abonent uchun 100 Mbit/sgacha va undan yuqori tezlikda amaldagi tezlikning ortishi;

- 5G tarmoqlarida spektr samaradorlikni 2-5 marta oshirish (pastga liniyada 30 bit/s/Gs, yuqoriga liniyada 15 bit/s/Gs).

- energiya samaradorligini 2 tartibga oshirish, bu IoT qurilmalariga akkumulyatorlarni zaryadlamasdan 10 yil davomida ishlashga imkon beradi;

- radiointerfeysida vaqt bo'yicha kechikishlarni URLLC o'ta ishonchli mashinalararo aloqa servislari uchun 0,5 msgacha va eMBB o'ta keng polosali mobil aloqa uchun 4 msgacha) kamaytirish;

- abonentlarning harakatlanish tezligini 500 km/soatgacha oshirish.

- ulangan qurilmalarning umumiy sonining 1 million/km²gacha oshirish.

Nazorat savollari

1. Mobil aloqa sotali tarmog'ining sxemsini keltiring va tushuntiring.

2. Mobil aloqa standartlarining evolyutsiyalanish haqida so'zlab bering.

3. Radiointerfeysdagi Uplink va Downlink nima?

4. 1G sotali aloqa avlodiga qaysi standartlar kiradi?

5. NMT standarti tarmog'ining tuzilmasini keltiring va tushuntiring.

6. AMPS standarti tarmog'ining tuzilmasini keltiring va tushuntiring.

7. 2G sotali aloqa avlodiga qaysi standartlar kiradi?

8. AMPS va DAMPS standartlar radiointerfeyslarini qurish prinsiplarini qurishdagi farq nimada?

9. GSM standarti tarmog'ining arxitekturasini keltiring va tushuntiring.

10. GSM standarti bazoviy stansiyalar kontrolleri qanday funksiyalarni bajaradi?

11. GSM standartida Transkoder va mobil kommutatsiyalash markazi nima uchun xizmat qiladi?

12. GSM standartida joylashish o'rni uy registri va joylashish o'rni mehmon registri qanday funksiyalarni bajaradi?

13. GSM standartida autentifikatsiyalash markazi va qurilmalarni identifikatsiyalash registri qanday funksiyalarni bajaradi?

14. GSM standartida boshqarish markazi qanday funksiyani bajaradi?

15. CDMA ni tashkil etish asosiy prinsipi nimalardan iborat?

16. CDMA One standarti tarmog'ining arxitekturasini keltiring va tushuntiring.

17. GPRS tarmog'ining arxitekturasini keltiring va tushuntiring.

18. GPRS tarmog'ining vazifasi.

19. 4G standartlariga qanday asosiy talablar qo'yiladi?

20. 5G standartlariga qo'yiladigan talablarni sanab o'ting.

9. 3G UCHINCHI AVLOD SOTALI ALOQA TIZIMLARI

9.1. 3G tarmog'i konsepsiyasi

3G (inglizcha *third generation* - uchinchi avlod) 3-avlod mobil aloqa texnologiyalari bo'lib, uning xizmatlar to'plami ham Internet xizmatlariga ega bo'lgan yuqori tezlikli mobil ulanish, ham ma'lumotlar uzatish kanalini yaratadigan radioaloqa texnologiyalarini birlashtiradi [4].

3G standarti Xalqaro Elektr Aloqa Ittifoqi (ITU) tomonidan ishlab chiqilgan va IMT-2000 deyiladi. Standartni yaratishdan maqsad global roumingni ta'minlash uchun uchinchi avlod tizimlarini o'zaro moslashtirish va sinxronlashtirish hisoblanadi.

3G avlod mobil aloqasi ma'lumotlarni paketli uzatish va 4 va 6-versiyalardagi IP-protokollari stekiga asoslangan. Uchinchi avlod tizimlarini amalga oshirish uchun global mobil aloqa standartlari bo'yicha quyidagi tavsiyalar ishlab chiqilgan:

- UFTT tarmoqlaridagiga o'xshash nutqni uzatish sifatini ta'minlash;
- xavfsizlik va konfidensiallik, foydalanuvchilarni autentifikatsiyalashni ta'minlash;
- roumingning barcha turlarini, shu jumladan uzluksiz roumingni ta'minlash;
- mahalliy va xalqaro operatorlarni qo'llab-quvvatlash;
- chastotalar spektridan samarali foydalanish;
- paketlarni va kanallarni kommutatsiyalashni to'liq qo'llab-quvvatlash;
- ierarxik arxitekturaga ega bo'lgan sotali tuzilmalarni qo'llab-quvvatlash;
- kosmik aloqa tizimlari bilan o'zaro ta'sirlashish;
- ma'lumotlar uzatish tezligini bosqichma-bosqich 14 Mbit/sgacha oshirish.

2G tarmoqlarga qaraganda 3G tarmoqlarining afzalligi radiokanal orqali paketli ma'lumotlarni katta uzatish tezligi hisoblanadi. 2G standartiga kiradigan EDGE (inglizcha Enhanced Data Rates for GSM Evolution) tarmoqlarida 473,6 kbit/sgacha uzatish tezligi ta'minlanadi. 3G uchinchi avlod tarmoqlarida ma'lumotlarni uzatish uchun HSDPA texnologiyasidan foydalaniladi, ularning uzatish tezligi megabitlarda o'lchanadi.

IMT-2000 standarti 3G avlod tarmoqlarini qurish arxitekturasi va prinsiplarini aniqlaydigan xususiyatlarga asoslangan. 3G tarmoqlari qamrab olish zonasining o'lchamiga bog'liq ravishda abonentlarning turli mobilliklari uchun yuqori uzatish tezliklarini ta'minlashi kerak:

- past mobillikda (3 km/soatgacha) va lokal zonada 2,048 Mbit/s gacha;

- yuqori mobillikda (120 km/soatgacha) va keng zonada 144 kbit/sgacha;

- global qamrab olishda (sun'iy yo'ldoshli aloqa) 64 (144) kbit/sgacha.

3G tarmog'ida taqdim etiladigan xizmatlar 9.1-jadvalda keltirilgan [4].

9.1-jadval

3G avlod tizimlari xizmatlari

Xizmatlar turlari	Uzatish tezligi,	Xabarning o'rtacha	Ishlash rejimi	Xizmatla
Ovozli aloqa	4-32	60	Kanallarni kommutatsiy	Nutq, ovozli pochta
Past tezlikli ma'lumotlarni	9.6-14.4	30	Kanallarni kommutatsiy	SMS, joylashish
Ma'lumotlarni uzatish (ISDN)	64 gacha	156	Kanallarni kommutatsiy	ISDN tarmoqlari
Multimedia ma'lumotlarini interaktiv	128-134	144	Kanallarni kommutatsiy alash	Videoaloqa, tasvirlar va videooqimlar
Multimedia ma'lumotlarini asimmetrik	384-2048	14-53	Paketlarni kommutatsiy alash	Internet va intranet tarmoqlari

IMT-2000 standarti doirasida 3G avlodlar tarmoqlariga o'tishning 2 ta strategiyasiga ruxsat berilgan: bosqichma-bosqich (evolyutsion) va bir martalik (inqilobiy), ularning omillari 9.2-jadvalda keltirilgan [4].

3G sotali aloqa xizmatlarini tarqatish strategiyalari

Aniqlovchi omil	Evolyutsion yondashish	Inqilobiy yondashish
Chastotalar resurslaridan	Eski diapazonlarda ishlash	Yangi diapazonlarni o'zlashtirish
Xizmatlarni taqdim etish prinsipi	Bosqichma-bosqich kengaytiriladigan	Qurilishidan boshlab yangi xizmatlar
O'tkazish qobiliyati	Bosqichma-bosqich kengaytiriladigan	Dastlab yuqori
Tarmoq infratuzilmasini yaratish strategiyasi	Xizmatlarga talabni paydo bo'lishi bilan 2Gdan 3Gga sekin va	To'liq xizmatlar to'plamiga ega bo'lgan sinov
Texnologik daraja	Alohida elementlardagi yangi texnologiyalar	Barcha texnologiyalar
Tarmoq arxitekturasini	Mavjud infratuzilmadan maksimal foydalanish	Yangi
Tijorat xavfi	Past	Yuqori
Operatorlarning tarkibi	2G operatorlari bilan bir va	3G xizmatlarga litatsioniyalarni aloqa
Global rouming	Cheklangan	Cheklanmagan
Kapital xarajatlar	Sezilsiz	Sezilarli

Inqilobiy yondashuvda mavjud mobil aloqa tizimlari qurilmalari va dasturiy ta'minot to'liq almashtirilishi bilan barcha eng yangi texnologiyalar va interfeyslarni joriy etishni nazarda tutiladi, bu juda katta tijorat xavfi bilan katta investitsiyalarni talab qiladi.

Evolyutsion joriy etish kamroq mablag' sarflanishni talab qiladi va muayyan xizmatlar turlariga bo'lgan talabga bog'liq ravishda qurilmalarni asta-sekin almashtirilishini nazarda tutadi. Bu yondashuv izchil modernizatsiyalash jarayonida yangi tarmoq elementlarini joriy etish bilan mavjud aloqa tarmog'i infratuzilmasidan maksimal darajada foydalanishga imkon beradi.

3G tizimlari ajratilgan chastota diapazoni doiralarida o'tkazish qobiliyati va xizmat turlarini oshirish bo'yicha cheklangan imkoniyatlarga ega. 3G sotali aloqa tarmoqlari sig'imini oshirish radiochastotalar diapazonini qo'shimcha kengaytirmasdan faqat yarim tezlikli kanallarga (GSM) o'tishda, ko'p sektorli antennalarni joriy qilishda va spektral samarali modulyatsiyalash usullaridan foydalanishda mumkin bo'ladi.

Radioulaniş tarmoqlarining samaradorligi asosan ularda qoʻllaniladigan texnologiyalarning yangiligiga bogʻliq. Avlodlarning almashishi ham bu tarmoqlarni qurish arxitekturasining oʻzgarishini anglatadi. Magistral tarmoqlar har doim koʻproq “inertsion” boʻlgan. Ularga sarmoyalar sarflangan, ularni operatorlar 3G avlodga oʻtishda saqlashni istaydi. Shuningdek, aniqlashtirish kerakki, mavjud bazaviy tarmoqlar 3G-xizmatlarini joriy etish uchun toʻsiq emas. Shuning uchun ularning infratuzilmasi IMT-2000 standartida tavsiflangan mavjud GSM, TDMA, IP, IN va ISDN tarmoqlariga tayanish bilan evolyutsion rivojlandi [4].

Magistral tarmoqlar sifatida IP-texnologiyalarga asoslangan tarmoqdan, shuningdek ikkinchi avlod GSM mobil aloqa tizimlarining keng tarqalgan standartlari uchun qurilgan va modernizatsiyalangan GSM MAP va ANSI-41 tayanch tarmoqlaridan foydalanish koʻzda tutilgan.

UIM (inglizcha User Identity Module) foydalanuvchini identifikatsiyalash standart moduli radioulaniş usuli yoki istalgan geografik hududdagi transport tarmogʻining turidan qatʻiy nazar global uzluksiz roumingni taʼminlaydi.

3G avlod tarmoqlari quyidagilarni taʼminlaydi:

- ochiq joylarda va yopiq binolarda maʼlumotlarni yuqori uzatish tezligi;

- maʼlumotlarni simmetrik va assimetrik uzatish;

- IP xizmatlar va real vaqtda videoxizmatlarini taʼminlash uchun kanallar va paketlarni kommutatsiyalashni qoʻllash;

- yuqori sifatli ovoz;

- spektrning katta ixchamligi va undan samarali foydalanish;

- global uzluksiz rouming imkoniyati.

3G tarmoqlarini qurish uchun 4G/LTE tarmoqlariga uzluksiz oʻtishni taʼminlashga imkon berdigan eng moslashuvchan va zamonaviy konsepsiya sifatida UMTS konsepsiyasi qabul qilingan.

9.2. CDMA2000 texnologiyasi

CDMA2000 standarti bu uchinchi avlod (3G) sotali aloqa standartlari vakili hisoblanadi. U shuningdek IMT-CDMA Multi-Carrier yoki IS-2000 nomi bilan ham maʼlum. CDMA2000ni yaratishdan asosiy maqsad oldingi CDMA One standartiga qaraganda oʻtkazish qobiliyati va maksimal ruxsat etiladigan maʼlumotlarni uzatish tezliklarini oshirish

bo'ldi. CDMA2000ni ishlab chiqish 3GPP2 tashkiloti tomonidan 2000 yilda boshlandi. Yakunda yuqorida ko'rsatilgan talablarga erishishiga imkon bergan, yangi radiointerfeys va radioulanish tarmog'ida (Radio Access Network, RAN) va kommutatsiyalash tizimidagi (CN) sezilarli yaxshilanishlarni tavsiflaydigan qator standartlar to'plami chiqarildi. Shunday qilib, CDMA2000 bu CDMAOne/IS-95 tarmoqlariga uchinchi avlod standartlariga evolyutsiyalanishini ta'minlagan texnologiya hisoblanadi [4].

CDMA2000 bir necha bosqichlarda ko'rib chiqiladi. Birinchi bosqich CDMA2000 1x bo'lib, u o'rtacha 144 kbit/s ma'lumotlarni uzatish tezligini ta'minlaydi. Keyingi faza 1x-EV-DO (evolution data only or data optimised) qisqartmasini olgan standart hisoblanadi. U bitta tashuvchida 2 Mbit/s tezlikkacha ma'lumotlarni uzatilishiga imkon beradi. CDMA2000 turkumidagi keyingi standart 1x-EV-DV (Evolution Data/Voice) hisoblanadi. Bir necha o'nlab Mbit/seklargacha ma'lumotlarni uzatish tezliklarini ko'zda tutadi, shuningdek ma'lumotlarni uzatilishi sifatini yaxshilaydi.

CDMA One standartida ovoz uzatiladigan o'sha tizimlar bo'yicha ma'lumotlar uzatilgan. Bu ma'lumotlarni maksimal uzatish tezligi va tarmoqning umumiy sig'imini sezilarli cheklagan. CDMA2000 standartida ma'lumotlarni uzatish uchun maxsus Packet Core Network (PCN) tarmog'i joriy etilgan bo'lib, u ma'lumotlarni katta tezliklarda va xavfsiz uzatilishiga imkon beradigan paketlar kommutatsiyalanadigan tarmoq hisoblanadi.

CDMA2000 standartining o'ziga xos xususiyatlari

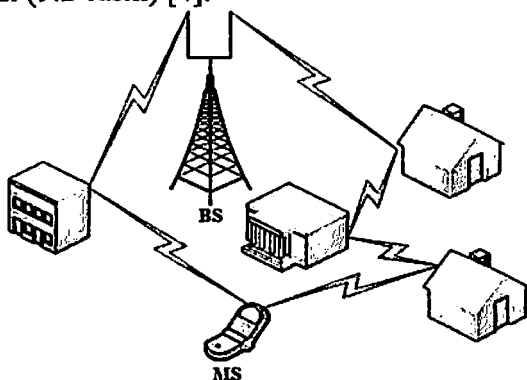
CDMA One standartidagi kabi CDMA2000 standarti ishlash uchun o'xshash 1,25 MGS chastotalar polosalariga bo'lingan o'sha chastotalar polosasini ishlatadi. Bu operatorlarning yangi standartga o'tishini sezilarli yengillashtiradi, chunki yangi chastotalar litsenziyasini olishga zarurat bo'lmaydi, bu yangi standartdagi tarmoqlarni qurishda asosiy tutib turuvchi omillardan biri hisoblanadi. Bunday izchillik tufayli operatorlar qurilmalarni bosqichma bosqich almashtirishi va bu bilan standartni yangilanishida vujudga keladigan abonentlar qurilmalarining past tarqalganligi, katta boshlang'ich harajatlar, transport kanallarini tashkil etish va boshqalar kabi muammolarni minimumgacha kamaytirishi mumkin [4].

CDMA2000 standarti quyidagi yaxshilanishlar hisobiga spektral samardorlik ko'rsatkichini, ya'ni chastotalar resurslaridan foydalanish samardorliklarini yaxshilaydi:

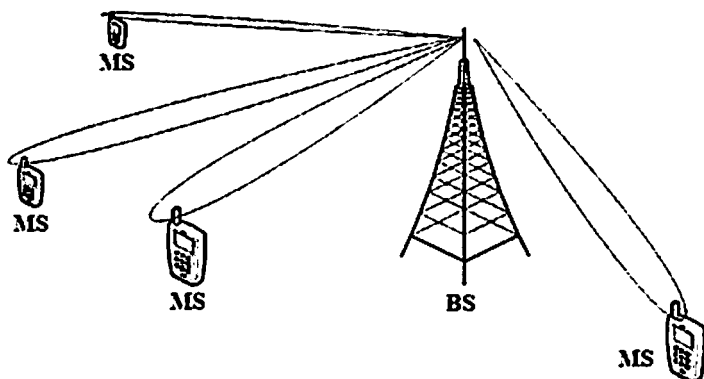
1. *Quvvatni boshqarishning takomillashtirilgan algoritmi.* CDMA2000 standarti tarmoqqa abonentlarni ulanishining kodli usuli - CDMA ni (code division multiple access) ishlatadi. Uning asosiy kamchiligi abonentlar soni ortganida interferensiyaning vujudga kelishi hisoblanadi. Lekin har bir mobil terminal (MS) uchun quvvatni boshqarish mexanizmi tufayli bu vaqt momentida optimal quvvat beriladi, bu bir tomondan, boshqa abonentlarga halaqit qilmaslikka, boshqa tomondan esa talab qilinadigan xizmat ko'rsatish sifatini (QoS) ta'minlashga imkon beradi. MS quvvatini boshqarish algoritmidagi asosiy o'zgartirish abonentlar qurilmasi ma'lumotlarni uzatish quvvatining o'zgarishiga komandalarni jo'natilishi chastotasini (16 martagacha) oshirilishi bo'ldi. Bu tufayli tarmoqning sig'imini 1,5 martaga oshirishga erishildi [4].

2. *Ajratilgan uzatish (Transmit diversity).* Bunda har bir antenna 6 tagacha turli signallarni qabullashi/uzatish mumkin (9.1-rasm). Bunda MS eng katta sathli signalli chastotani tanlaydi. Transmit diversity tufayli aloqa kanalida xatoliklar darajasini sezilarli kamaytirish va signal sifatini oshirish mumkin [4].

3. *Aqlli antennalar (Smart Antennas).* Ular har bir abonent uchun bir necha metrlar aniqlikda signalning alohida tutamlarini shakllantirishga imkon beradi. Smart antenna tufayli abonentlarning ko'p tomonlama ulanishi fazoviy usuli (CDMA – Space Division Multiple Access) ishlatilgan. Bu radioefirdagi umumiy interferensiya darajasini sezilarli kamaytirishga imkon beradi va tarmoqning sig'imini sezilarli oshiradi (9.2-rasm) [4].



9.1-rasm. Bazaviy stansiyadan ajratilgan uzatish prinsipi



9.2-rasm. Smart antennlarning ishlash prinsipi

4. CDMA2000 standarti QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) modulyatsiyalashning ishlatilishini ko'zda tutadi.

5. Yaxshilangan raqamli kodlash texnologiyasi.

6. CDMA2000 standartida yanada samarador vokoderlar va ko'p sonli keqaytiruvchi kodlar (Walsh code) ishlatiladi. CDMA One standartida bitta tashuvchida maksimal 64 ta kengaytiruvchi kodlar ishlatilsa bo'lar edi. CDMA2000 standartida 128 tagacha kengaytiruvchi kodlar ishlatilishi mumkin. Shunday qilib, har bir sotada 2 marta ko'p past tezlikli bog'lanishlarga, masalan ovozi bog'lanishlarga xizmat ko'rsatilishi mumkin [4].

Bu va boshqa afzalliklar abonentlar ma'lumotlarini radiobog'lanish orqali uzatish tezliklarini marttalarga oshirishga va tarmoqning sig'imini oshirilishiga imkon berdi.

CDMA Onedan CDMA2000ga o'tish uchun zarur o'zgartirishlar

Agar operator CDMA One standarti tarmog'ini ishlatayotgan bo'lsa, u holda unga CDMA2000 standarti uchun mutlaqo yangi tarmoqni qurish shart emas, balki qator apparatlar va dasturiy yangilashlarni bajarish yetarli bo'ladi. O'zgartirishlar tarmoqning barcha elementlariga, nafaqat ulanish tarmog'iga, balki kommutatsiyalash tizimlariga ham tegishli bo'ladi. Bundan tashqari, yangi paketli kommutatsiyalashli tarmoq qo'shilishi kerak. CDMA Onedan CDMA2000ga o'tish uchun ta'kidlangan yangi joriy etishlarga muvofiq, quyidagi o'zgartirishlarni amalga oshirish zarur [4]:

1. Kommutatsiyalash tizimining MSC, VLR, HLR elementlarida dasturiy ta'minot yangilanishi kerak. Bu CN paketli bog'lanishlarni

autentifikatsiyalash va mualliflashtirish protseduralarini ta'minlay olishi uchun zarur bo'ladi.

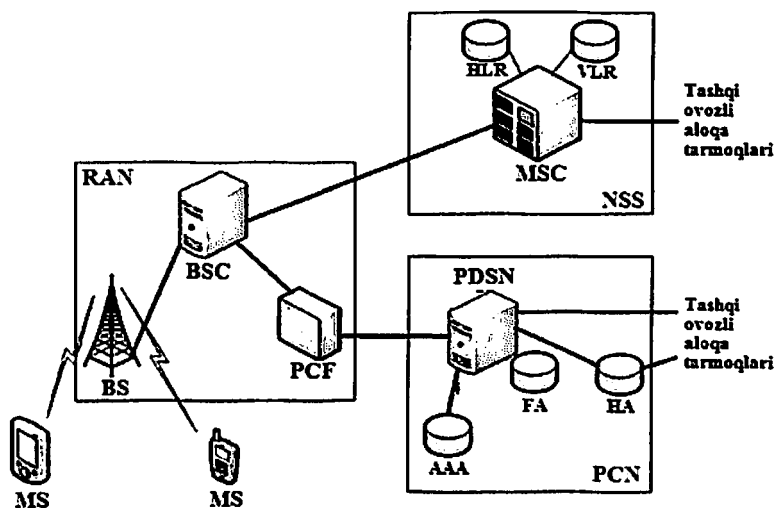
2. Apparatlar ta'minotini yangilanishi bazoviy stansiyalar (BTS) uchun o'tkazilishi kerak. Bu radiointerfeysdagi sezilarli o'zgartirishlarga bog'liq.

3. Shuningdek, shu sabablarga ko'ra, mobil terminalning qabullagich-uzatkichi almashtirilishi kerak.

4. Dasturiy ta'minotni yangilanishi bazoviy stansiyalar kontrolleri (BSC) uchun o'tkazilishi kerak. Buning natijasida BSC paketlarni, CDMA One tarmog'idan o'tgan kommutator hisoblanadigan paketlar kommutatsiyalanadigan tarmoqqa emas, balki yangi paketlar kommutatsiyalanadigan tarmoqqa marshrutlashtiradi.

5. Asosiy yangilik yangi paketlar kommutatsiyalanadigan tarmoqni (PS) kiritilishi hisoblanadi. Unga to'g'ridan-to'g'ri paketlar kommutatori, shuningdek bu tarmoqning xizmatlaridan foydalanadigan abonentlarni autentifikatsiyalanishini ta'minlaydigan element kiradi.

CDMA2000 standarti tarmog'ining tuzilmasi. CDMA2000 tarmog'i ko'rsatadigan xizmatlar spektri va sifati kengayishi hisobiga tarmoqning tuzilmasida ayrim yangi elementlar paydo bo'ldi, oldingilarining funksiyalari esa o'zgardi. 9.3-rasmda tarmoqdagi yangi elementlar keltirilgan va ularning asosiy funksiyalari ko'rib chiqilgan [4].



9.3-rasm. CDMA2000 standarti tarmog'ining tuzilmasi

Mobil stansiya (MS - Mobile Station). CDMA2000 standarti tarmog'ida mobil stansiya bu mobil telefon bo'lishi shart bo'lmagan abonentlar qurilmasi hisoblanadi. Bu sotali aloqa tarmog'iga xizmatlariga ulanish modulili, masalan, kompyuterdan Internet tarmog'iga ulanish uchun qandaydir qurilma bo'lishi mumkin.

Mobil stansiya paketli tarmoqqa ulanish maqsadida tarmoqning zarur resurslarini olish va keyin ajratilgan resurslarning holatini (band, bo'sh, kutish rejimi) kuzatib borish uchun RAN bilan o'zaro ta'sirlashishadi. MS, agar joriy momentda tarmoqning talab qilinadigan resurslari mumkin bo'lmasa, foydalanuvchilarning ma'lumotlarini buferlashtirishi mumkin.

Yoqilganidan keyin MS tarmoqda avtomatik ro'yxatdan o'tadi va HLRda uning joriy holati qayd etiladi. Bu protsedura quyidagicha bo'lib o'tadi:

1. MSni autentifikatsiyalash.
2. MSning joriy joylashish o'rni HLRga kiritiladi.
3. Keyin MSCga tarmoqning ruxsat etiladigan xizmatlari to'plami xabar qilinadi.

Ko'rsatilgan protseduralar muvaffaqiyatli o'tganidan keyin mobil stansiya ovozli chaqiruvlarni amalga oshirishi va ma'lumotlarni uzatishi mumkin. Ma'lumotlarni uzatish MS CDMA2000 standartini qo'llashiga yoki qo'llamasligiga bog'liq ravishda ikkita paketlar yoki kanallar kommutatsiyalanadigan tarmoqlardan foydalanish orqali taqdim etilishi mumkin. Agar mobil qurilma faqat IS-95 (CDMA One) standarti bilan moslashuvchan bo'lsa, ma'lumotlarni uzatish faqat paketlar kommutatsiyalanadigan tarmoq orqali mumkin bo'ladi. Bunda uzatish tezligi 19,2 kbit/sdan oshmaydi. Agar terminal IS-2000 (CDMA2000) standarti bilan moslashuvchan bo'lsa, u holda operator tarmog'i orqali ma'lumotlarni uzatishning bo'lishi mumkin ikkita usuli orasida tanlash amalga oshirilishi mumkin. CDMA2000 1x tarmog'i uchun paketli ma'lumotlarni uzatish tezligi 144 kbit/sga yetishi mumkin.

Radioulanish tarmog'i (RAN - Radio Access Network)

Radioulanish tarmog'i abonentning operatorning butun tarmog'iga ko'rsatiladigan xizmatga bog'liq bo'lmagan kirish nuqtasi hisoblanadi. Operator tarmog'iga paketlar kommutatsiyalanadigan domenning qo'shilishi tufayli, ulanish tarmog'iga yangi tarmoqdagi abonentlarni identifikatsiyalash, paketlar kommutatsiyalanadigan tarmoqqa bog'lanishlarga xizmat ko'rsatish, so'raladigan resursga abonentning ulanishi huquqlarini tekshirish funksiyalari yuklatildi [4].

Bazaviy stansiya (BS - Base Station) BS va MS orasidagi radiointerfeysga barcha ta'sirlarni nazorat qiladi, shuningdek tarmoq va mobil qurilmalar orasida interfeys bo'lib xizmat qiladi. Radio resurslarni boshqarish, masalan, chastotaviy kanallarni tayinlanishi, sotalarning bo'linishi, uzatish quvvatini boshqarish va boshqalar bazaviy stansiyaning vazifalariga kiradi. Bunga qo'shimcha ravishda BS foydalanish ma'lumotlari va signalizatsiyani uzatilishi jarayonida minimal vaqt bo'yicha kechikishlarni ta'minlash uchun MS va BSC orasidagi trafikni o'tishi uchun to'g'ri bog'lanishlarni tashkil etadi.

Bazaviy stansiyalar kontrolleri (BSC - Base Station Controller) BS va MSC (Mobile Switching Centre) orasida signalizatsiya xabarlari va ovozli ma'lumotlarni uzatadi. Bundan tashqari, BSC abonentlarning mobilligi bilan bog'liq bo'lgan ayrim protseduralarni bajaradi, masalan, zarurat bo'lganida sotalar orasidagi xendoverni nazorat qiladi.

Paketli bog'lanishlarni nazorat qilish qurilmasi (PCF - Packet Control Function) CDMA Oneda bo'lmagan CDMA2000 tarmog'idagi yangi element hisoblanadi. Uning asosiy vazifasi BTS va PDSN orasida paketlarni marshrutlashtirish hisoblanadi. Paketli sessiya jarayonida PCF abonentlarning ehtiyoji va to'langan xizmatlar hajmiga muvofiq tarmoq abonentlari uchun mumkin radioresurslarni tayinlaydi. PCFning asosiy vazifasi ulanish tarmog'i resurslarini, shu jumladan, radioresurslarni maksimal samarador ishlatilishi va bunda ko'rsatiladigan xizmatlarni sifatini pasayishiga yo'l qo'ymaslik uchun resurslarning taqsimlanishini rejalashtirishdan iborat

Kommutatsiyalash tarmog'i (NSS - Network Switching System)

CDMA One tizimiga nisbatan sezilarli o'zgartirilmagan. Unga tizimdagi ovozli bog'lanishlarni o'rnatilishiga javob beradigan MSC, shuningdek abonentlar haqidagi ma'lumotlar saqlanadigan qator registrlar (HLR, VLR va boshqalar) ham kiradi [22].

Paketlar kommutatsiyalanadigan tarmoq (PCN - Packet Core Network).

Bu sotali aloqa tarmog'idagi foydalanuvchilar paketlarini tashqi tarmoqqa (masalan, Internet) uzatish va qabul qilish, shuningdek abonentlarni autentifikatsiyalash, IP-manzillarni tayinlash va ayrim boshqa masalalarga javob beradigan mutlaqo yangi tizim hisoblanadi [4].

Tashqi agent bilan birlashtirilgan paketli tarmoq xizmat ko'rsatish tuguni (PDSN/FA - Packet Data Serving Node / Foreign Agent) bu

radiulanish tarmog'i va tashqi paketli tarmoqlar orasidagi shlyuz hisoblanadi. Bu qurilma quyidagi funksiyalarni bajaradi:

- bazaviy stansiyalar tizimi va paketli tarmoq orasidagi bog'lanishlarni, shuningdek sessiyalarni o'rnatilishi, saqlanishi va yakunlanishini boshqaradi;

- tarmoq abonentlariga IP-manzillarni taqdim etadi;

- operator tarmog'i va tashqi ma'lumotlarni uzatish tarmog'i orasidagi paketni marshrutlashtirishni bajaradi;

- billing tizimiga ko'rsatilgan xizmatlar uchun hisoblarni shakllantiradi va uzatadi;

- AAA-serverdan olingan abonentlar profillariga muvofiq abonentlar xizmatlarini boshqaradi;

- autentifikatsiyalashni mustaqil o'tkazadi. YOki autentifikatsiyalashga so'rovni AAA-serverga uzatadi.

AAA (Authentication, Authorization, and Accounting) – server abonentlarni autentifikatsiyalash va mualliflashtirish protseduralarini o'tkazilishi uchun, shuningdek billing va hisoblarni berish maqsadida abonentlar ma'lumotlarini saqlash uchun ishlatiladi.

Uy agenti (HA - Home Agent) boshqa CDMA2000 standarti tarmoqlariga choksiz roumingni taqdim etadi. NA dastlab ki tarmoq orqali istalgan foydalanuvchilar ma'lumotlarini uzatilishi uchun xizmat qiladigan MS uchun yakor IP-manzilni taqdim etadi. Bundan tashqari, uy agenti abonentlarni ro'yxatga olish, PDSNga paketlarni uzatish, shuningdek himoyalangan bog'lanishni yaratilishini (opsion) ta'minlaydi.

9.3. CDMA2000 1x-EV-DO va CDMA2000 1x-EV-DV standartlari

Birinchi bosqichdagi CDMA2000 standartining paydo bo'lishi bilan bu standartning keyingi avlodlarini ishlab chiqish boshlandi. 3GPP2 hamkorligi olib borgan ishlar natijasida 2002 yilda CDMA2000 1x-EV-DO (evolution data only) standarti chiqarildi, u 2,4 Mbit/sgacha ma'lumotlarni uzatish tezligini taklif qildi, bu avvalgi standartdagidan 20 baravar yuqori bo'ldi. Bu yutuqqa, birinchi navbatda, radiointerfeysga yangi texnologiyalarni joriy etish bilan erishildi. Xususan, kanallarni kod bo'yicha ajratish bilan bir qatorda, abonentlarning tarmoqqa vaqt bo'yicha ulanish usuli (TDMA - Time Division Multiple Access) joriy etildi. Bunda har bir abonent uchun sotada interferensiyaning oldini oladigan alohida taymslot ajratildi [16].

Keyingi ishlanmalar tufayli, CDMA2000 1x-EV-DO standartining keyinchalik variantlari bir vaqt bir nechta taymslotlar va tashuvchilarni ishlatishga imkon berdi, bu esa ma'lumotlarni maksimal uzatish tezligini 70 Mbit/sdan oshirdi (Rel. B). Rel. C variantda esa tezlik 280 Mbit/sgacha oshirildi, bu 4G avlodga kiradigan LTE standartiga mos keladi.

2003 yilda ishlab chiqilgan CDMA2000 1x-EV-DV (Evolution Data/Voice) standarti bir vaqtda bitta tashuvchida ham ovoz, ham ma'lumotlarni radioefir orqali uzatish imkoniyatini ko'zda tutadi. Biroq, bunday konsepsiya IP-kommutatsiyalanadigan tarmoqlar orqali ovozni uzatishni ko'zda tutadigan ALL-IP yo'nalishni rivojlanishiga bog'liq holda sezilarli darajada rivojlanmadi.

9.4. WCDMA texnologiyasi

WCDMA (inglizcha *Wideband Code Division Multiple Access* – kod bo'yicha ajratiladigan keng polosali ko'p tomonlama ulanish) texnologiyasi 5 MGsdan ikkita keng radiochastotalar polosasidan foydalanadigan kanallar kod bo'yicha ajratiladigan keng polosali ko'p tomonlama ulanishni ishlatadigan radiointerfeys texnologiyasi hisoblanadi. W-CDMA (3GPP Release 4) atamasi GSM ustidan sozlanish sifatida ishlab chiqilgan va 1900-2100 MGs diapazonda ishlaydigan sotali aloqa tarmog'i mustaqil standartini tavsiflash uchun ham ishlatiladi [19].

WCDMA 3G xizmatlarini ta'minlash maqsadida keng polosali radioulanishni ta'minlash uchun ko'plab sotali aloqa operatorlari orqali tanlangan.

Texnologiya video, Internetga ulanish va videokonferensiyalar kabi yuqori tezlikdagi multimedia xizmatlarini taqdim etish uchun optimallashtirilgan. To'liq mobillikda qisqa masofalar uchun 2 Mbit/sgacha va uzoq masofalarga 384 Kbit/sgacha tezliklarni ta'minlaydi. Bunday ma'lumotlarni uzatish tezliklarining qiymatlari keng chastotalar polosalarini talab qiladi, shuning uchun WCDMA texnologiyasining polosasi kengligi 5 MGsni tashkil qiladi.

Tezlikni 10 MGsgacha va keyin 20 MGsgacha oshirish mumkin.

Bu CDMA Onedan to'rt baravar va GSMdan 25 baravar katta hisoblanadi. Keng chastotalar polosasi ma'lumotlarni yuqoriroq uzatish tezligi uchun tanlangan, lekin spektrning o'ta to'lgan sohasida emas. WCDMA va CDMA One o'rtasidagi yana bir muhim farq vaqtni sinxronlashtirishga zaruratning yo'qligi hisoblanadi. WCDMA Global Pozitsiyalash tizimidan (GPS - *Global Positioning System*)

sinxronlashtirish signallarizsiz ishlashga mo'ljallangan. Kodlashda ham farqlar mavjud. WCDMA texnologiyasida kodlashda Uolsh kodlaridan emas, balki Gold kodlardan foydalaniladi. Kanalga uzatish uchun ular CDMA Onedagi kabi QPSK modulyatsiyalash yordamida birlashtiriladi.

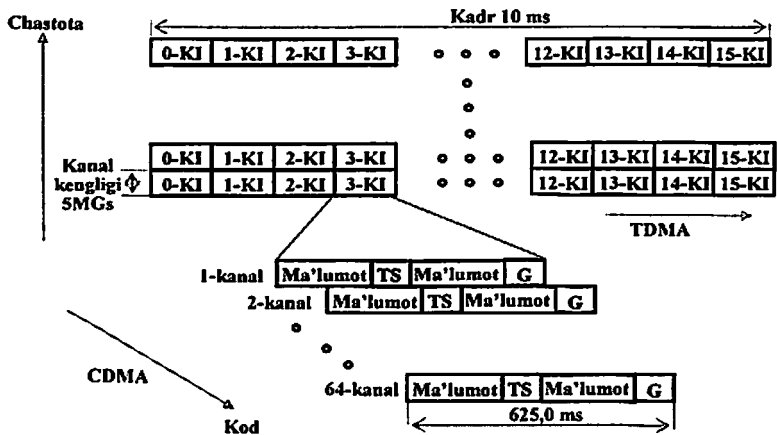
Bularning barchasi ma'lumotlarni bitta sota chegaralarida maksimal 2048 Mbit/s tezlikda uzatishga imkon beradi. Kanaldagi tezligi 3,84 Mbit/sni (7,8 va 15,6 Mbit/s larni) tashkil etadi. Bunda spektrni to'g'ridan-to'g'ri kengaytirish (DS-SS) ko'zda tutiladi.

Har bir kanal TDMA tizimlariga qaraganda spektral samaradorlikni oshirish bilan har bir sotada takroran ishlatiladi.

WCDMA texnologiyasi yumshoq xendover imkoniyatini beradi, ammo GSM bilan o'zaro ta'sirlashishda bu turdagi xendover ta'minlanmaydi.

TD-WCDMA

TD-WCDMA (*Time Division - Wideband Code-Division-Multiple-Access*) munozarali bo'lib tuyuladi va ko'pincha TDMA va CDMA o'rtasidagi gibrid deyiladi. Bu usulda, TDMA usulida bo'lganidek, tashuvchi chastota kanallar intervallariga bo'linadi, ammo har bir kanallar intervali ortogonal kodlar yordamida o'zgartirilgan bir nechta CDMA signallari bilan "zichlashtiriladi". Bu usulda CDMA multiplekslash uslubi saqlab qolingan. Bu uslubning asosiy parametrlari chastota, kanallar intervali (taymplot) va kod hisoblanadi. 9.4-rasmda TD-CDMA tizimining kadri tasvirlangan [16].



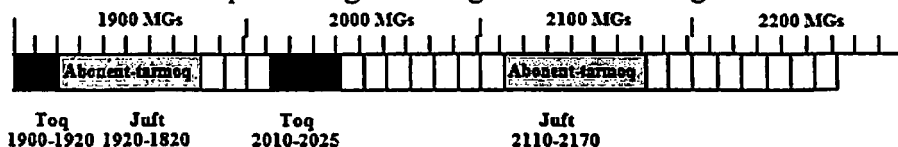
9.4-rasm. TD-CDMA tizimining kadri (UMTS parametrlari)

UMTS texnologiyasida ikki tomonlama aloqa uchun chastotaviy dupleks ajratish (FDD - Frequency Duplex Division) va vaqt bo'yicha dupleks ajratish (TDD - Time Duplex Division) qo'llanishiga ruxsat etilgan.

FDD ajratishda turli yo'nalishlarda 190 MGs polosa bilan bilan ajratilgan turli chastotalar ishlatiladi. Ravshanki, agar spektr cheklangan bo'lsa, u holda juft chastotalar polosalarini ajratish qiyin.

Vaqt bo'yicha ajratish (TDD) vaqt bo'yicha to'g'ri va teskari oqimlarni ajratadi. Mobil stansiya va bazaviy stansiya o'sha bir chastotani navbatma-navbat turli yo'nalishlarda ishlatadi. Bu holda egallanadigan polosaning qiymatini kamaytirish mumkin va spektrni juft chastotalarga bo'lish talab qilinmaydi. Bu usul kichik sotalar uchun juda mos keladi, chunki uzatish/qabul qilish oralig'i ma'lumotni tarqalishi vaqtiga bog'liq. Biroq, vaqt bo'yicha ajratish uchun yechim ko'pincha to'g'ri va teskari yo'nalishlarda assimetrik tezliklarni qo'llanishidan iborat. TDD usuli kompyuterlar (Internet) bilan simsiz ishlash uchun pikosotalarda yanada samarali bo'lishi mumkin.

WCDMA texnologiyasida tashuvchi chastotalar har bir chastota uchun oldindan belgilangan ulanish usullariga muvofiq ajratiladi. Har bir kanal uchun litsenziya berishda uni abonentdan stansiyaga yo'nalishda yoki stansiyadan abonentga yo'nalishda yoki toq rejimda ishlatish kerakligi ko'rsatiladi. 9.5-rasmda operatorlar orasida 12 ta juft kanallar va 7 ta toq kanallarga bo'lishga misol tasvirlangan.



9.5-rasm. WCDMA/UMTS texnologiyalaridan foydalanishda chastotalarni taqsimlanishiga misol

9.5. UMTS texnologiyasi

UMTS tarmoqlari GSM tarmog'ining "yadrosi"da WCDMA, TD-CDMA yoki TD-SCDMA efir interfeysi texnologiyalarini joriy etish yo'li bilan quriladi. Hozirda UMTS tarmog'ida ishlaydigan ko'plab mobil aloqa operatorlari efir interfeysi texnologiyasi sifatida W-CDMA texnologiyasini tanlashmoqda [19].

UMTS efir interfeysi 5 MGs chastotalar polosasiga ega bo'lgan

kanallar juftligidan foydalanadi. W-CDMA aloqa tarmoqlarining kamchiligi spektrdan tejamsiz foydalanish va egallangan chastotalarni boshqa xizmatlar uchun bo'shatish zarurati hisoblanadi, bu o'z navbatida tarmoqlarning qurilishini sekinlashtiradi.

Spetsifikatsiyasi bo'yicha UMTS standarti MSdan BSga rejimda ma'lumotlarni uzatish uchun 1885 - 2025 MGs, BSdan MSga rejimda ma'lumotlarni uzatish uchun 2110 - 2200 MGs chastotalar spektridan foydalanadi.

Aloqa operatorlari uchun UMTS formatiga o'tish texnik jihatdan oddiy va bir vaqtda qimmat hisoblanadi. 3G avlod tarmoqlarini yaratish jarayonida mavjud infratuzilmaning sezilarli qismi saqlanadi, lekin shu bilan birga litsenziyalarni olish va bazaviy stansiyalar uchun yangi qurilmalarni sotib olish loyihaga katta investitsiyalarni talab qiladi.

UMTS texnologiyasining GSM standartidan farqi GerAN umumiy radioulanish tarmog'i prinsiplari asosida ma'lumotlarni uzatish efir interfeysini qurish hisoblanadi. Bu UMTS texnologiyasiga Internet, GSM tarmoqlari yoki boshqa UMTS tarmoqlari bilan bog'lanishni o'rnatishga imkon beradi. GerAN umumiy radioulanish tarmog'i ochiq tizimlarning o'zaro ta'sirlashishi (OSI) modelining uchta pastki darajalarini o'z ichiga oladi, ularning yuqori darajasini (uchinchi, tarmoq darajasini) radioresurslarni boshqarish tizim darajasini hosil qiladigan protokollar (RRM protokoli) tashkil etadi. Bu darajada mobil terminallar va bazaviy stansiyalar tarmog'i orasidagi kanallarni boshqarishga (shu jumladan, bazaviy stansiyalar orasida abonentlar terminaliga xizmat ko'rsatishni uzatishga) mas'ul bo'lgan protokollar ishlaydi.

UMTS radioulanish tarmog'ining arxitekturasi

UMTS tizimi har biri ma'lum funksiyalarni bajaradigan mantiqiy tarmoq elementlaridan tashkil topgan. Tarmoq elementlari bajariladigan funksiyalarining yaqinligi asosida yoki ularga tegishli bo'lgan nimtarmoq asosida guruhlanadi [19].

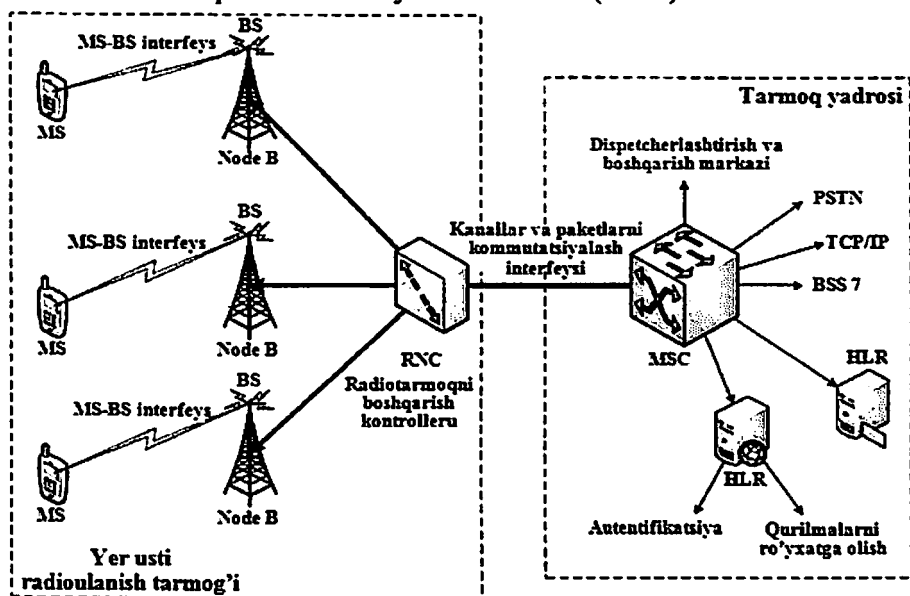
O'zlarining funksiyalariga bo'yicha tarmoq elementlari radioaloqa bilan bog'liq barcha funksiyalarni bajaradigan radioulanish tarmog'iga (RAN) va chaqiruvlarni kommutatsiyalash va marshrutlashtirishni ta'minlaydigan tayanch tarmog'iga (CN) va tashqi tarmoqlarga ma'lumotlarni uzatish kanallariga guruhlanadi. Tizimni to'ldirish uchun foydalanuvchi qurilmasi (UE) va u bilan o'zaro ta'sirlashishadigan radiointerfeys (Uu) aniqlanadi.

Standartga muvofiq UE va UTRAN tarmoqlari qurilishi WCDMA

radiotexnologiyasining ehtiyojlariga asoslangan to'liq yangi protokollarga ega. Biroq, CN tarmog'ining qurilishi SM arxitekturasiga asoslangan.

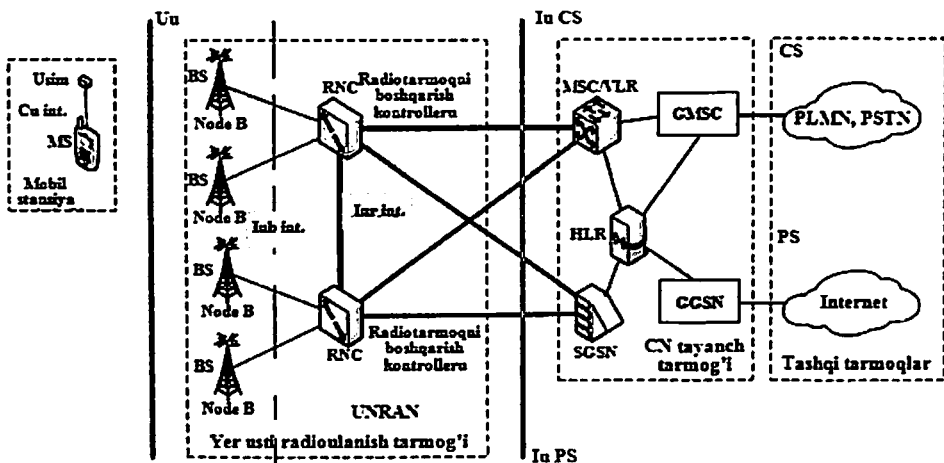
UMTS tarmoq arxitekturasi 9.6-rasmda tasvirlangan, u quyidagi komponentlardan tashkil topgan:

- UMTS texnologiyasida UE (User Equipment) deyiladigan mobil telefon stansiyasi;
- UMTS texnologiyasida Node B deyiladigan bazaviy telefon stansiyasi;
- bazaviy stansiya kontrolleri (BSC);
- mobil aloqa kommutatsiyalash markazi (MSC).



9.6-rasm. UMTS tizimining arxitekturasi

Bir xil turdagi bir nechta obyektlarga ega bo'lish mumkin, bu UMTS tizimini mustaqil ishlaydigan yoki boshqa nimtarmoqlar bilan birgalikda ishlaydigan va bir-birlariga o'xshash nimtarmoqlarga ajratishga imkon beradi. Bunday tarmoq UMTS PLMN (umumiy foydalanishdagi yer usti mobil aloqa tarmog'i) deyiladi (9.7-rasm). Odatda bitta PLMN bitta operator orqali ishlatiladi va boshqa PLMNLar bilan, shuningdek boshqa turdagi tarmoqlar, PSTN, Internet va boshqalar bilan ulanadi.



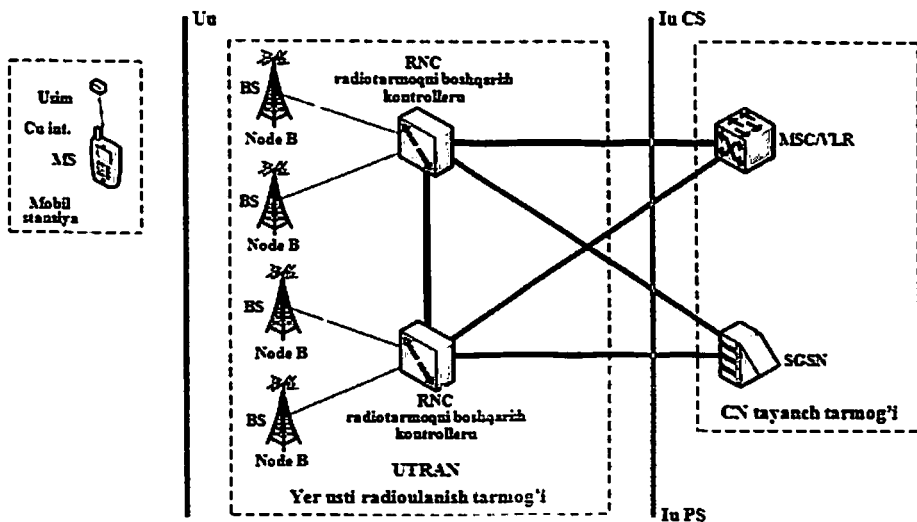
9.7-rasm. PLMNdagi tarmoq elementlari

UE qurilmalari quyidagi elementlardan iborat:

- mobil qurilmalar (ME) - Uu interfeysi orqali radioaloqa uchun ishlatiladigan radioterminal;
- UMTS abonentini identifikatsiyalash moduli (USIM), u abonentlar identifikatori bo'lib xizmat qiladigan, shuningdek autentifikatsiyalash va shifrlash algoritmini va abonent uchun mavjud bo'lgan xizmatlar haqidagi ma'lumotlarni amalga oshiradigan intellektual plata hisoblanadi.

UTRAN tarmog'i quyidagi elementlardan tashkil topgan (9.8-rasm):

- nodeB, u Iub va Uu interfeyslari orasidagi ma'lumotlar oqimini o'zgartiradi, shuningdek radioresurslarni boshqarishda ishtirok etadi;
- RNC radiotarmoq kontrolleri, u o'z sohasidagi radioresurslarga egalik qiladi va ularni boshqaradi. RNC kontrolleri yer usti radiotarmog'i tarmoq yadrosiga taqdim etadigan barcha xizmatlar va kommutatsiyalash uchun servisga ulanish nuqtasini bo'lib xizmat qiladi.



9.8-rasm. UTRAN arxitekturasi

UTRAN yer usti radioulanish tarmog'i bir nechta radiotarmoqlar nimitizimlarini (RNS) o'z ichiga oladi. RNC radiotarmoqlar nimitizim UTRAN arxitekturasidagi nimitarmoq hisoblanadi, u radiotarmoq kontrolleri (RNC) va bir yoki bir node B tugunlaridan tashkil topadi. RNC kontrollerlar Iur interfeysi orqali bir-birlari bilan ulanishi mumkin. RNC va nodeB tugunlar Iub interfeysi yordamida ulanadi.

UTRAN arxitekturasini qurish uchun asosiy talablarni, uning funksiyalari va protokollari aniqlaydigan UTRANning asosiy xususiyatlariga quyidagilar kiradi:

- UTRAN va unga aloqador barcha funksiyalarni qo'llab-quvvatlash, UTRAN qurilishiga asosiy ta'sirni xendoverni va WCDMaga yo'naltirilgan radioresurslarni boshqarish algoritmlarini ta'minlash talabi bo'ldi;

- efir interfeysi protokollarining noyob paketidan foydalanishda va UTRANni tayanch tarmog'ining PS va CS xizmat ko'rsatish sohalari bilan bog'lash uchun o'sha bir interfeysdan foydalanishda paketlar va kanallar kommutatsiyalanishi bilan ma'lumotlarga ishlov berishda unifikatsiyalashni maksimallashtirish;

- GSM bilan moslashtirishni maksimallashtirish;

- UTRANda transport sifatida ATM transport protokolidan foydalanish.

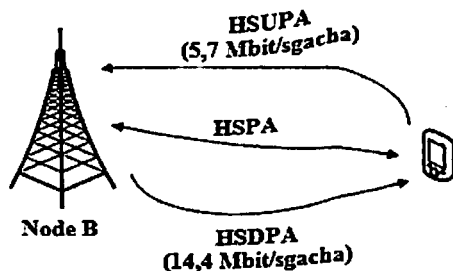
9.6. HSDPA, HSUPA, HSPA va HSPA+ texnologiyalari

HSPA (High Speed Packet Access) UMTS standartidagi sotali aloqa tarmoqlarida ma'lumotlarni yuqori tezlikda uzatish texnologiyasi hisoblanadi. Bu standart Internetga keng polosali mobil ulanishga talablarning ortishini hisobga olib ishlab chiqilgan. UMTS standartining R99 versiyasida ma'lumotlarni 2 Mbit/sgacha uzatish tezligi ko'zda tutilgan. Bunday tezlik tufayli abonent web-saytlar bo'yicha sayohat qilish, musiqa tinglash, siqilgan videoni tomosha qilish va kichik fayllarni yuklab olish imkoniyatiga ega bo'ldi [22].

Biroq, aslida, bu texnologiya bo'yicha ma'lumotlar uzatish tezligi 200-300 kbit/sdan oshmadi. Bu yuqori sifatli oqim videoni tomosha qilish va katta hajmdagi fayllarni yuklab olish uchun mutlaqo yetarli emas edi. Bu muammoni yechish uchun abonentga Internetga keng polosali statsionar ulanish imkoniyatini bera oladigan yangi texnologiya talab qilindi. Bu muammoni 2006 yilda paydo bo'lgan va UMTS standartidagi mavjud tarmoqlarni takomillashtirilishi hisoblanadigan HSPA texnologiyasi muvaffaqiyatli yechdi.

HSPA texnologiyasini ikki tarkibiy qismlarga - HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) va HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) texnologiyalari bo'linishi mumkin (9.9-rasm). HSDPA bazaviy stansiyadan (NodeB) mobil stansiyaga (UE) downlink yo'nalishda, HSUPA aksinncha mobil stansiyadan (UE) bazaviy stansiyaga (NodeB) uplink yo'nalishda yuqori tezlikli ulanishni ta'minlaydi. Bu texnologiyalarni ishlab chiqish bilan 3GPP (Third Generation Partnership Project) standartlari tashkiloti shug'ullanadi.

HSDPA texnologiyasida maksimal tezlik 14,4 Mbit/sni tashkil qiladi. Ma'lumotlarni uzatish tezligini oshirish usuli GSM standartidan olingan.



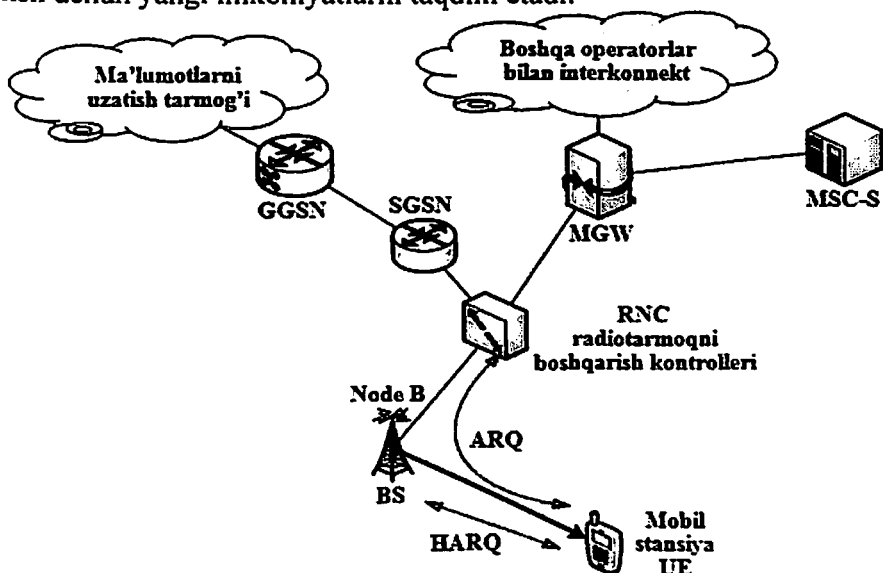
9.9-rasm. HSPA (High Speed Packet Access) texnologiyasi

EDGE (inglizcha Enhanced Data rates for GSM Evolution) texnologiyasi o'z vaqtida yangi modulyatsiyalash usuli tufayli GPRS (inglizcha GenYeral Packet Radio Service) texnologiyasiga qaraganda 2G avlod tarmoqlarida ma'lumotlarni uzatish tezligini 2 martadan ko'proq oshirishga imkon berdi. HSDPA texnologiyasida radiointerfeysda (NodeB va UE orasida) yangi modulyatsiyalash usuli - 16-QAM (Quadrature amplitude modulation) usuli qo'llanadi. Bitta signal jo'natmasida uch barobar ko'proq ma'lumotlar uzatilishi mumkin.

UMTS tarmog'iga HSDPA texnologiyasini joriy etish arxitekturasi 9.10-rasmda keltirilgan [22].

UMTS bilan taqqoslaganda, HSDPA tarmog'ida uch barobar ko'proq ma'lumotlar uzatilishi va bitta sotaga ikki baravar ko'p foydalanuvchilarni ta'minlash mumkin. Uning asosida sotalarning teng o'lchamlarida ko'p pozitsiyali modulyatsiyalashni qo'llash 10 Mbit/s tartibdagi maksimal tezliklarga erishishga imkon beradigan prinsip yotadi.

HSDPA texnologiyasi abonentga taqdim etiladigan multimedia xizmatlarining sifatini sezilarli darajada yaxshilaydi. Bu texnologiya ilovalarni qo'llab-quvvatlash, shu jumladan, tarmoq kontentini yuklab olish uchun yangi imkoniyatlarni taqdim etadi.



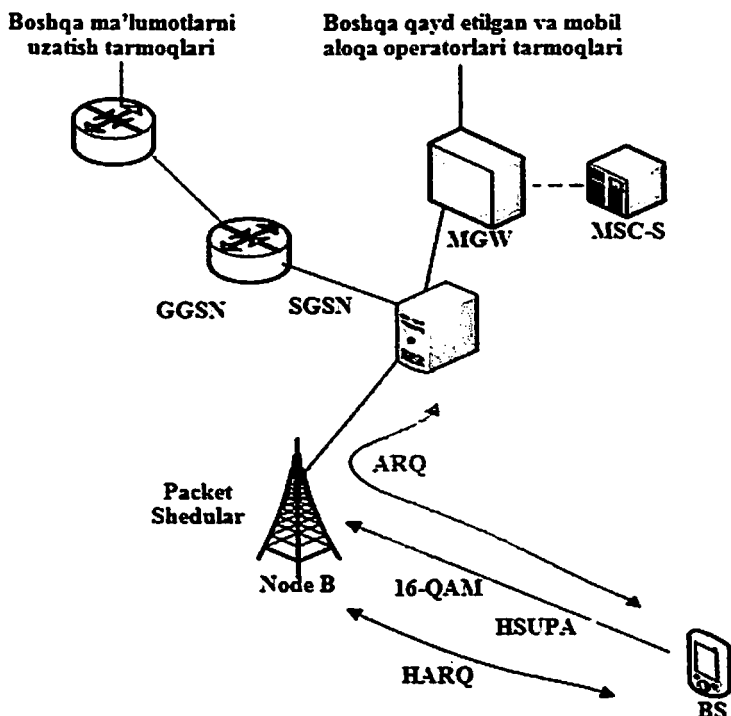
9.10-rasm. UMTS tarmog'idagi HSDPA texnologiyasi arxitekturasi

HSDPA signalni yangi modulyatsiyalash usuli bilan bir qatorda, u HARQ (Hybrid automatic repeat request) yuqori tezlikli avtomatik qayta so'rovlar tizimidan foydalanishni ham ko'zda tutdi. Bu mexanizm yo'qoltilgan yoki xatoliklar bilan buzilgan paketlarni avtomatik qayta so'rashga javob beradi.

Axborot signali UE va NodeB orasidagi interfeysdagi eng katta halaqit qiluvchi ta'sirlarga (halaqitlar, buzilishlarga) uchraydi, keyin signal RNC kontrollergacha tashqi ta'sirlarga kam uchraydigan va o'z halaqitlardan himoyalash mexanizmlariga ega bo'lgan radioreleli yoki tolali optik aloqa liniyalari orqali aloqa tizimlarida uzatiladi. U holda NodeB stansiyadan buzilgan paketlarni qayta so'rash maqsadga muvofiq bo'ldi, bu esa takroran uzatishni kutish vaqtini sezilarli qisqartiradi. Paketlarning o'zining hajmi 10 barobarga qisqartirilgan, bu kutish vaqtini qisqartirishga yordam beradi. Bundan tashqari, radiointerfeysda ma'lumotlarni uzatish tezligini oshirishga yordam beradigan o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'lgan maxsus kanallar joriy etilgan.

Barcha yangiliklar pastga downlink yo'nalish bo'yicha ma'lumotlarni uzatish tezligini 7 martadan ortiqqa oshirishga imkon berdi. Amalda ma'lumotlarni uzatish tezligi 2 Mbit/sgacha bo'lgan qiymatlarga osonlikcha yetishi mumkin, bu esa katta hajmlardagi fayllarni yuklab olish va yuqori aniqlikdagi videooqimni (HDTV) tomosha qilish uchun yetarli bo'ladi.

HSUPA texnologiyasida ma'lumotlarni maksimal uzatish tezligi 5,7 Mbit/sni tashkil qiladi. R99 versiyada (UMTS standartining birinchi versiyasida) uplink yo'nalishda ma'lumotlarni 384 kbit/sgacha uzatish tezligi ko'zda tutilgan (9.11-rasm). Bu videochaqiruvlar, kichik fayllarni yuklab olish, MMS jo'natish uchun yetarli bo'ladi.



9.11-rasm. UMTS tarmog'idi HSUPA texnologiyasining o'rni

Biroq, so'nggi yillarda ijtimoiy tarmoq resurslari tobora ommaviylashib bormoqda, unda fotosuratlarni, videofilmlarni va o'rta va katta hajmdagi boshqa fayllarni yuklash muhim ahamiyatga ega va bu holda sekundiga yuz kilobitlik ma'lumotlarni uzatish tezligi yetarli bo'lmaydi. Bu muammoning yechimini aynan HSUPA texnologiyasi taqdim etdi, u 10 baravar ortiq tezlikni ta'minlaydi. Bu texnologiyani ishlab chiqish bilan 3GPP (Third Generation Partnership Project) standartlari tashkiloti shug'ullandi va HSUPA texnologiyasining birinchi versiyasi 2004 yilda yakunlandi. HSUPA texnologiyasiga ega birinchi tarmoq 2007 yilning boshida ishga tushirilgan.

Yuqorida ko'rsatilgan afzalliklarga UE va NodeB orasidagi radio interfeysdagi qator o'zgartirishlar tufayli va birinchi navbatda, yangi modulyatsiya usuli - 16-QAM (Quadrature amplitude modulation) usulining kiritilishi tufayli erishildi. Uning R99 versiyada ishlatiladigan BPSK (Binary phase-shift keying) modulyatsiyalashdan asosiy farqi

bitta signal jo'natmasi ko'proq ma'lumotlar simvollarini tashishidan iborat. Biroq, bu yagona farq emas.

R99 versiyada ishlatiladigan ARQ (Automatic repeat request) mexanizmi ma'lum darajada modifikatsiyalandi va HARQ (Hybrid automatic repeat request) nomini oldi. Xususan, u RNC kontroller NodeB stansiyaga o'tkazilgan, ya'ni endi bazaviy stansiya paketdagi xatoliklarni tekshiradi va UE stansiyaga takroran uzatishga so'rovlarni uzatadi. Bu sifat minimal pasayishida takroran uzatishni kutish vaqtini sezilarli qisqartiradi, chunki odatda NodeB va RNC orasidagi interfeys haraqlar ta'siriga kam uchraydi va unda ishlatiladigan texnologiyalar odatda o'z xatoliklarni tuzatish mexanizmlariga ega.

Bundan tashqari, RNC kontrollerdan NodeB stansiyaga Packet Scheduler (paketlarni rejalashtirgich), aniqrog'i uning qator funksiyalari o'tkazilgan. Uning asosiy vazifasi signal sifati, halaqlar sathi, ustuvorlik va boshqa ko'plab omillarni o'lchash asosida abonentlar orasida radioresurslarini taqsimlashdan iborat. Qarorlarni qabul qilish uchun zarur bo'ladigan ma'lumotlarning qismi RNC kontrollerdan olinadigan bo'lsa-da, baribir qarorni NodeB qabul qiladi. Bu, o'z navbatida, tizimning joriy momentda yuzaga kelgan o'zgarishlarga reaksiyasi vaqtini qisqartiradi va bu jarayonni yanada samaraliroq qiladi.

Shuningdek, radiointerfeysda ma'lumotlar va signalizatsiyani uzatish uchun yangi kanallar paydo bo'ldi, ular ma'lumotlarni uzatish tezligini oshirishga yordam beradigan maxsus xarakteristikalariga ega.

Yuqorida sanab o'tilgan o'zgartirishlar uplink yo'nalishda ma'lumotlarni uzatish tezligini sezilarli oshiradi va sotali aloqa tizimlari orqali Internetdan foydalanishni qayd etilgan ma'lumotlarni uzatish tarmoqlaridagi kabi tezlashtiradi.

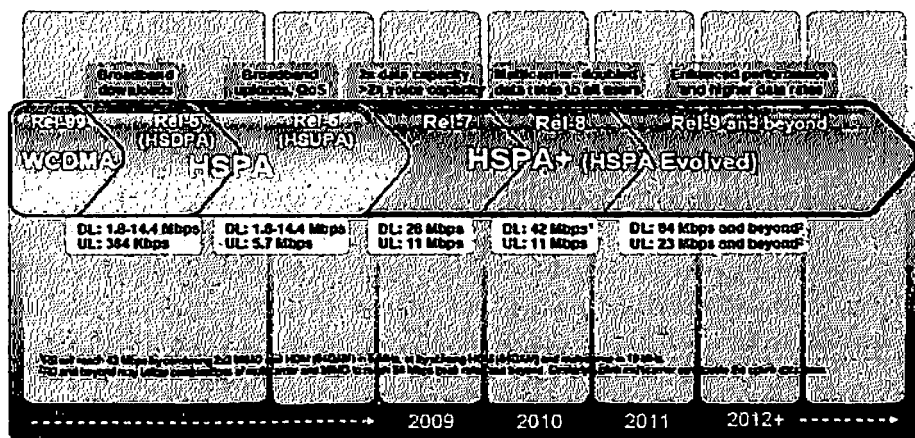
HSDPA va HSUPA texnologiyalarida taqdim etiladigan ma'lumotlarni uzatish tezliklari multimediya xizmatlarini olish, shu jumladan, videooqimlar, katta hajmdagi fayllarni yuklash va tortib olish, onlayn o'yinlar va boshqalar uchun yetarli bo'ladi.

HSPA standartining keyingi evolyusiyalanishi HSPA+ (yoki HSPA Evolved) hisoblanadi, u birinchi marta 3GPP konsorsiumining 7-versiyasida tavsiflangan. HSPA+ texnologiyasida 16QAM (uplink/downlink) i 64QAM (downlink) murakkabroq modulyatsiyalash usullari, shuningdek faqat yuklab olish (downlink) uchun ishlatilishi mumkin bo'lgan MIMO (ko'p kirishlar/ko'p chiqishlar) texnologiyasi qo'shilgan.

Dastlab MIMO texnologiyasidan 64QAM modulyatsiyalash bilan bir vaqtda foydalanish mumkin bo'lmagan, bu maksimal bo'lishi mumkin yuklab olish tezligini 21 Mbit/sgacha cheklagan. Bu 3GPP spetsifikatsiyalarning 8-versiyasiga muvofiq mumkin bo'ldi va "pastga" (downlink) yo'nalishda 42 Mbit/sgacha va "yuqoriga" (uplink) yo'nalishda 11 Mbit/sgacha tezliklarga erishishga imkon berdi.

HSPA+ 7-versiyada "pastga" (downlink) kanalda 28 Mbit/sgacha va 8-versiyada "yuqoriga" (uplink) kanalda 42 Mbit/sgacha ma'lumotlarni maksimal uzatish tezliklarini ta'minlash bilan mobil keng polosali ulanish imkoniyatlarini qo'shimcha kengaytirdi (9.12-rasm).

8-versiya MIMO va 64QAM kombinatsiyalanishi hisobiga yoki 64QAMli ikki tashuvchida ishlash hisobiga "pastga" kanalda ma'lumotlarni maksimal uzatish tezligini oshiradi. Bundan tashqari, 8-versiya batareya zaryadining sarfini kamaytiradi va yuqoriga kanalning o'tkazish qobiliyatini sezilarli yaxshilaydi.



9.12-rasm. HSPA+ texnologiyasining evolyutsiyalanishi

Nazorat savollari

1. 3G avlod tarmoqlariga qaysi standartlar kiradi?
2. 3G avlod tarmoqlari qanday xizmatlarni ta'minlaydi?
3. CDMA2000 standartining o'ziga xos xususiyatlari haqida so'zlab bering.

4. CDMA One texnologiyasidan CDMA2000 texnologiyasiga o'tish uchun qanday o'zgartirishlarni amalga oshirish zarur bo'ldi?

5. CDMA2000 standarti tarmog'ining tuzilmasini keltiring va tushuntiring.

6. WCDMA texnologiyasining o'ziga xos xususiyatlari haqida so'zlab bering.

7. UMTS radioulanish tarmog'ining arxitekturasini keltiring va tushuntiring.

8. UTRAN radioulanish tarmog'ining arxitekturasini keltiring va tushuntiring.

9. HSPA texnologiyasining o'ziga xos xususiyatlarini tushuntiring.

10. HSUPA texnologiyasining HSDPA texnologiyasidan farqi nimada?

11. UMTS tarmog'ida HSDPA texnologiyasining arxitekturasini keltiring va tushuntiring.

12. HSPA+ texnologiyasining o'ziga xos xususiyatlarini tushuntiring.

10. 4G TO'RTINCHI AVLOD SOTALI ALOQA TIZIMLARI

10.1. OFDM kanallar ortogonal chastota bo'yicha ajratiladigan multiplekslash texnologiyasi

OFDM (inglizcha Orthogonal frequency-division multiplexing) kanallar ortogonal chastota bo'yicha ajratiladigan multiplekslash ko'p sonli bir-birlariga yaqin joylashgan ortogonal nimtashuvchilardan foydalanadigan raqamli modulyatsiyalash sxemasi hisoblanadi. Har bir nimtashuvchi an'anaviy modulyatsiyalash sxemasi (masalan, kvadraturali amplitudaviy modulyatsiyalash) bo'yicha o'sha o'tkazish polosasidagi bitta tashuvchili oddiy modulyatsiyalash sxemalaridagi kabi ma'lumotlarni umumiy uzatish tezligini saqlash bilan past simvollar tezligida modulyatsiyalanadi. Amalda OFDM signallari FTO' (Fur'e tez o'zgartirish) yordamida olinadi [21].

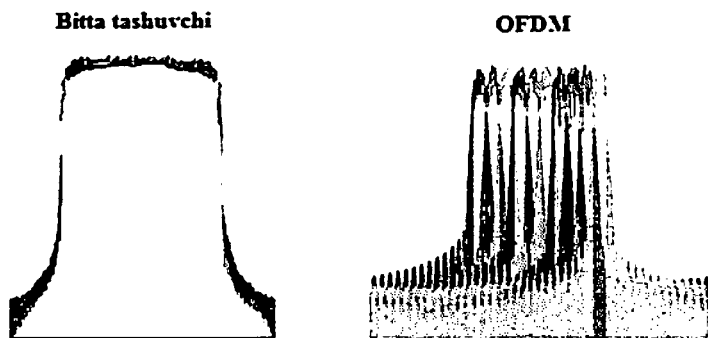
Chastotalar bo'yicha ajratish bilan ma'lumotlarni parallel uzatish o'tgan asrning 60-yillari o'rtalarida ixtiro qilingan va bugungi kundagi ma'lum ko'plab texnologiyalar kabi dastlab faqat harbiy tizimlarda ishlatilgan. O'sha vaqtlarda harbiylar OFDM texnologiyasidan foydalanish bilan 34 ta nimtashuvchilar yordamida ma'lumotlarning parallel uzatishni amalga oshirgan.

1980-nchi yillarda tijorat tizimlarida OFDM texnologiyasidan, birinchi navbatda, yuqori tezliklarda ishlaydigan modemlar va raqamli sotali aloqa tarmoqlarida foydalanish ko'rib chiqila boshlandi. 1990-nchi yillarda OFDM modulyatsiyalash raqamli radioeshittirish (DAB), yer usti televizion uzatish, yuqori aniqlikdagi HDTV videoni uzatishda, shuningdek ma'lum so'nggi milya ADSL, HDSL texnologiyalarida ishlatila boshlandi.

Uzoq vaqt davomida OFDM texnologiyasi murakkab texnik qo'llanilishi sababli boshqa aloqa tizimlarida keng qo'llanilmadi. OFDM signallarni analog usullarda shakllantirish masalasini hal qilish juda muammo hisoblanadi. Kompyuter tizimlari va raqamli signallarga ishlov berish usullarining rivojlanishi bugungi kunda OFDM modulyatsiyalashni turli xil tizimlar - radiodan tortib to simli liniyalargacha va hattoki tolali optik liniyalarda qo'llashga imkon beradi.

Usul so'zma-so'z ortogonal chastota bo'yicha ajratishli multiplekslashni anglatishiga qaramay, u hali ham birinchi navbatda raqamli modulyatsiyalash usullari deyiladi. Bu shundan iboratki, OFDM

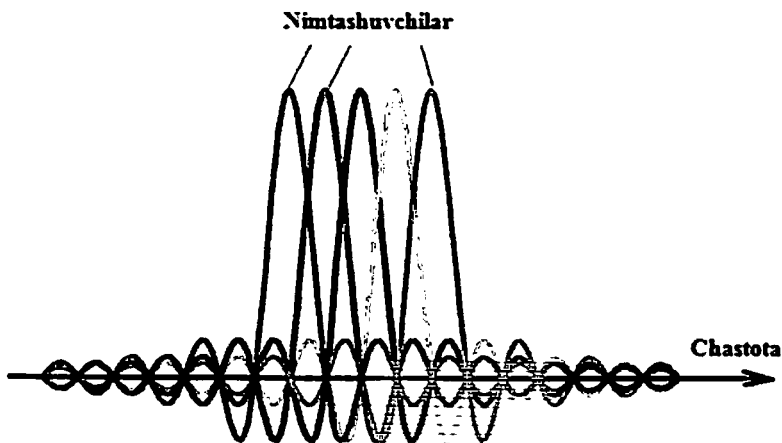
usuli bir vaqtda ham modulyatsiyalashni, ham multiplekslashni qo'llaydi, ammo multiplekslash alohida ahamiyatga ega. Oddiy multiplekslash turli xil manbalardan turli xil signallarni birlashtirishni ko'zda tutadi, ammo bu yerda o'sha bir signalning tarkibiy qismlari birlashtiriladi.



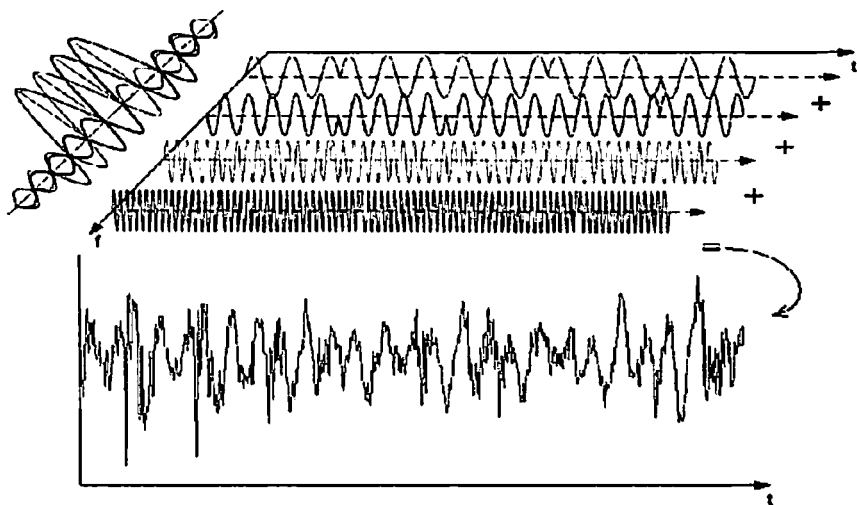
10.1-rasm. OFDM nimtashuvchi joylari

Ortogonal signallarning ajoyib xususiyatgva ega, ularning o'zaro energiyasi nolga teng. Nimtashuvchilarning ortogonalligi hatto ularning spektrlari qisman qoplanadigan bo'lsa ham, qabul qilishda umumiy signaldan ularning har birini ajratishga imkon beradi. Nimtashuvchilar bir-birlariga yaqin joylashganligi va hattoki qisman bir-birlarini qoplaganligi sababli (10.2-rasm), modulyatsiyalangan OFDM signalning spektral samaradorligi yuqori olinadi.

10.2-rasmdan ko'rinib turibdiki, har bir nimtashuvchi alohida maksimumga ega. E'tibor bering, har bir nimtashuvchining maksimumida qolgan nimtashuvchilarning qiymati nolga teng bo'ladi. Vaqt o'qida har bir egri chiziqqa o'zining modulyatsiyalashlangan signali mos keladi. Bu barcha signallarning yig'indisi murakkab OFDM signalini beradi (10.3-rasm).

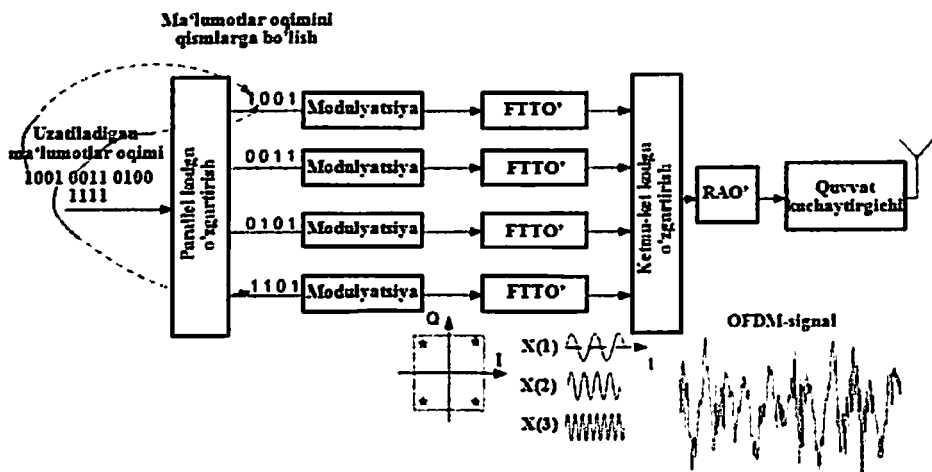


10.2-rasm. Chastotalar o'qida nimtachuvchilarni aks ettirish



10.3-rasm. OFDM signalini shakllanishi

Signallar nimtachuvchilarining (masalan, sinusoidalarning) parametrlari bir-birlariga nisbatan ortogonal bo'ladigan tarzda tanlanadi. Hisoblash qurilmalari yordamida buni tezkor amalga oshirish uchun Fur'e teskari tez o'zgartirishi (FTTO') algoritmi qo'llaniladi. Ya'ni, FTTO' bloki kirishidagi signal qiymatlari chastotalar sohasiga kiradi. U holda FTTO' bloki chiqishida chastotalar o'qidagi signal qiymatlari olinadi. Barcha qiymatlarni birlashtirish bilan murakkab tarkibiy OFDM-signal olinadi (10.4-rasm).



10.4-rasm. Murakkab OFDM-signalni olishning soddalashtirilgan sxemasi

Shuni ta'kidlash muhimki, bu soddalashtirilgan sxemada real OFDMli tizimlarda bo'lgan barcha bloklar aks ettirilmagan. Bu yerda sxemani soddalashtirish uchun texnologiyaning ajralmas qismi bo'lgan himoya bitlari va siklli prefiksni qo'shish bloklari ko'rsatilmagan.

FTTO^{2k} o'lchamlilikdagi massivlar bilan samarali ishlashi tufayli nimitashuvchilar soni o'xshash karrali tanlanadi. Masalan, WiMAX texnologiyasida nimitashuvchilar soni 128 dan 2048 gacha tanlanishi va 1,25 MGsdan 20 MGsgacha bo'lgan chastotalar polosalarini egallashi mumkin (10.1-jadval). Nimitashuvchilarning har biri uchun knaldagi halaqitlar talablari va qiymatlariga bog'liq ravishda o'z modulyatsiyalash formati qo'llaniladi.

Qabul qilish uchida yuqorida keltirilgan sxemaning barcha bloklari inverslanaadi (RAO^o o'rniga, ARO^o, teskari FTO^o o'rniga to'g'ri FTO^o qo'yiladi) va teskari tartibda joylashtiriladi.

10.1-jadval

Kanalning kengligi va nimitashuvchilar sonining nisbati

Kanalning kengligi	Nimitashuvchilar sonini
1,25 MGs	128
2,5 MGs	256
5 MGs	512
10 MGs	1024
20 MGs	2048

OFDM texnologiyasining afzalliklariga quyidagilar kiradi:

- radiokanalidagi qiyin sharoitlarga qarshi turish qobiliyati, birinchi navbatda simvollararo interferensiyani bartaraf etish va tor polosali halaqitlar bilan kurasha olish qobiliyati;

- yuqori spektral samaradorlik. Agar nimtashuvchilar soni cheksizlikka yaqinlashsa, OFDM tizimlari an'anaviy chastota bo'yicha ajratishli tizimlariga qaraganda deyarli ikki baravar oshgan spektr samaradorlikni beradi;

- usulning moslashuvchanligi - turli xil nimtashuvchilar uchun turli xil modulyatsiyalash sxemalaridan foydalanish imkoniyati, bu signalning tarqalishi sharoitlariga va qabul qilingan signal sifatiga turli talablarga moslashishga imkon beradi;

- raqamli ishlov berish usullari bilan oddiy amalga oshirish (hisoblash moslamalari quvvatining ortishi bilan oddiy bo'lib qoldi);

- nimtashuvchilar orasidagi interferensiyaga qarshi turish qobiliyati, bu ko'p nurli tarqalishda yaxshi natijalarga olib keladi.

OFDM texnologiyaning kamchiliklariga quyidagilar kiradi:

- vaqt va chastota bo'yicha yuqori aniqlikdagi sinxronlashtirish talab qilinadi;

- OFDM-signal nisbatan yuqori pik-faktor ko'rsatkichiga ega, bu esa o'ta katta energetik sarflarga olib keladi;

- himoya intervalidan foydalanish usulning spektral samaradorligini pasaytiradi;

- usul Dopler samarasiga sezgir bo'lib, uni mobil tarmoqlarda qo'llashda qo'shimcha qiyinchiliklar tug'diradi.

OFDM texnologiyasining joriy qo'llanilishi

Bugungi kunda OFDM modulyatsiyalash Wi-Fi, WiMax, LTE simsiz aloqa tizimlari, DVB-T yer usti raqamli televizion tizimlari, DVB-C kabelli televizion tizimlari, xDSL texnologiyalarida qo'llaniladadi va bularning barchasi barcha misollar emas.

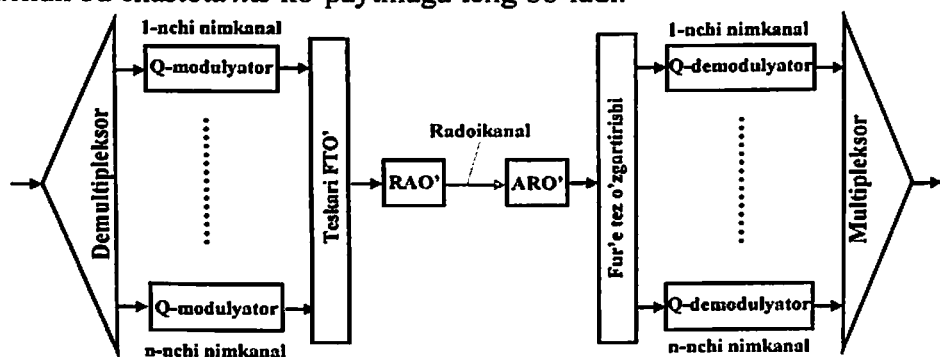
10.2. Kanallar chastota bo'yicha ajratiladigan ortogonal ko'p tomonlama ulanish (OFDMA)

Kanallar chastota bo'yicha ajratiladigan ortogonal ko'p tomonlama ulanish (OFDMA) OFDM multiplekslash tizimiga asoslangan.

OFDM tizimida kirish ma'lumotlari oqimi ma'lumotlarni uzatish tezligini pasaytirish bilan (shu chastotada uzatiladigan har bir belgining

davomiyligini oshirish bilan) bir nechta parallel nimoqimlarga bo‘linadi [21]. Har bir nimoqim modulyatsiyalanadi va alohida ortogonal nimtashuvchi chastotada uzatiladi. Bitta nimtashuvchida uzatiladigan protokol birligi simvol deyiladi. Simvolning oshirilgan davomiyligi turli nimtashuvchilar yordamida uzatiladigan simvollar orasida maksimal farqlarni kamaytirish bilan OFDM usulining barqarorligini yaxshilaydi.

OFDM prinsipi bo‘yicha bir necha nimtashuvchili modulyatsiyalashni ta‘minlaydigan asosiy qurilmalar 10.5-rasmda keltirilgan. Har bir nimkanal o‘z tashuvchi chastotasida ishlaydi. Agar birinchi tashuvchining chastotasini ω bilan belgilasak, u holda ikkinchi nimtashuvchining chastotasi 2ω ga teng bo‘ladi va hokazo. n -nchi kanal uchun bu chastota $n\omega$ ko‘paytmaga teng bo‘ladi.



10.5-rasm. Bir necha tashuvchilar bilan modulyatsiyalash

Agar n nim oqimlarning har biri uchun kvadraturali modulyatsiyalash qo‘llansa, u holda $a_k + \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t$ turdagi kvadraturali (ortogonal) funksiyalarini olamiz. Agar barcha nimkanallarning funksiyalari qo‘shilsa, u holda Fur‘e qatori deyiladigan funksiyaga o‘xshash funksiyani olamiz:

$$x(t) = a_k + \sum_{k=1}^{N-1} [a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t] \quad (10.1)$$

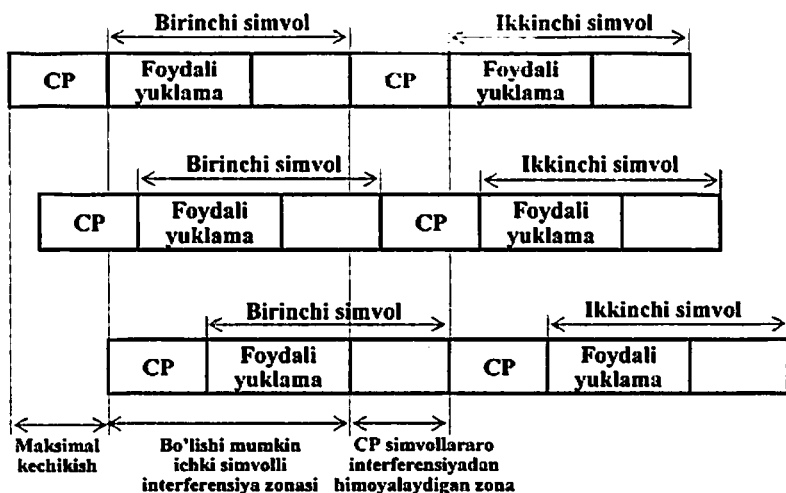
Modulyatsiyalash natijasida olingan funksiya Fur‘e qatoridan chekli ekanligi bilan farq qiladi. Ishlov berish aniqligini oshirish va kanallarning o‘zaro ta‘sirini bartaraf etish uchun real funksiya Fur‘e qatorining bir nechta qiymatlarga (psevdo kanallarga) ega bo‘lgan “prefiks” bilan to‘ldiriladi. U kvadraturali signallar ketma-ketligidan

oldin qo'yiladi. Bu $x(t)$ funksiyani olish aniqligini oshiradi va nimkanallarni bir-birlaridan aniqroq ajratishga imkon beradi.

Modulyatsiyalash natijasida olingan funksiyalarning yig'indisi teskari Fur'e o'zgartirishi yordamida bitta $x(t)$ funksiyaga "o'raladi", keyin u raqamli shaklga o'zgartiriladi va liniyaga uzatiladi.

Qabul qilish uchida raqamli shakldan analog shaklga o'tish bo'lib o'tadi, to'g'ri Fur'e o'zgartirishi amalga oshiriladi, har bir kanalning kvadraturali funksiyalari demodulyatsiyalanadi va bitta ketma-ketlikka yig'iladi. Aytib o'tilganidek, simvollararo interferensiyani bartaraf etish uchun siklli prefiks (CP) kiritiladi.

Siklli prefiks har bir OFDM-simvolning boshiga qo'shiladi (10.6-rasm) va simvolning oxirini siklli takrorlanishi hisoblanadi.



10.6-rasm. Siklli prefiks yordamida simvollararo interferensiyadan himoya

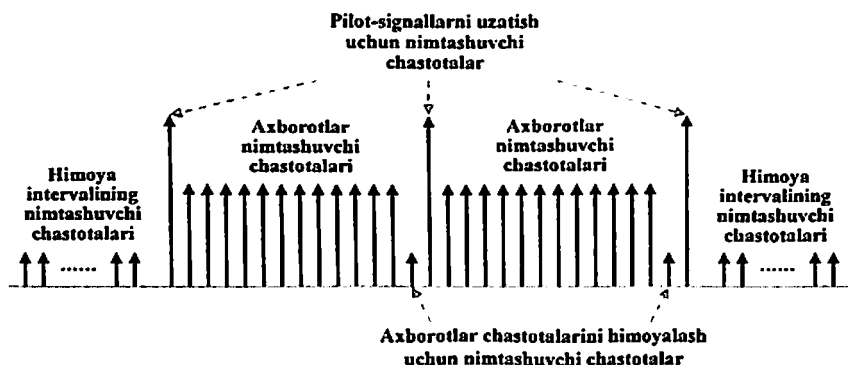
Siklli prefiksning bo'lishi alohida simvollar orasida vaqt pauzalarini hosi qiladi va agar himoya intervalining davomiyligi ko'p nurli tarqalishi natijasida signalning kechikishi maksimal vaqtdan ortiq bo'lsa, u holda simvollararo interferensiya vujudga kelmaydi.

Siklli prefiks ortiqcha ma'lumotlar hisoblanadi va shu ma'noda foydali (axborot) uzatish tezligini pasaytiradi, ammo aynan u simvollararo interferensiyalarning paydo bo'lishidan himoya qiladi. Ko'rsatilgan ortiqcha ma'lumotlar uzatkichda uzatiladigan simvolga qo'shiladi va simvolni qabul qilishda tashlab yuboriladi.

OFDM nimkanallarning tuzilmasi va shakllanishi

OFDM nimkanallarning tuzilmasi [43,44] 10.7-rasmda ko'rsatilganidek, uch xil nimtashuvchilarga ega bo'ladi:

- ma'lumotlarni uzatish uchun axborotlar nimtashuvchi chastotalari;
- pilot-signallarni uzatish uchun (o'lchovlar va sinxronlashtirish maqsadlari uchun) nimtashuvchi chastotalar;
- himoya chastotlar intervallari uchun ishlatiladigan nolinni nimtashuvchilar.



10.7-rasm. Nimtashuvchi chastotlarning taqsimlanishi

Aktiv nimtashuvchi chastotalar (axborotlar va pilot-signal) nimkanallar deyiladigan nimtashuvchi chastotalarning kichik to'plamlariga birlashtirilgan. Bitta nimkanalni tashkil etadigan nimtashuvchi chastotalar yonma-yon bo'lishi va bo'lmasligi ham mumkin. Asosiy yuklama va boshqarish signallari nimkanalarda uzatiladi.

Pilot-signallar nimtashuvchilarni taqsimlash usuli va oqim yo'nalishiga bog'liq ravishda taqsimlanadi.

“Pastga” yo'nalishdagi nimkanallarni shakllantirishda quyidagi usullar qo'llaniladi:

- nimtashuvchi chastotalardan to'liq foydalanish bilan kanal hosil qilish (FUSC - Fully Usage Subcanalization);
- nimtashuvchi chastotalardan qisman foydalanish bilan kanal hosil qilish (PUSC - Partial Usage Subcanalization);
- adaptiv modulyatsiyalash va AMC (Adoption modulation and Coding) kodlash bilan yonma-yon qayta joylashtirish.

Nimtachuvchi chastotalarning qisman ishlatilishi shuni anglatadiki, butun nimtachuvchi chastotalar to'plamidan faqat bir qismi tanlanadi. Qurilmalar (masalan, mobil stansiyalar) faqat polosaning bir qismini egallash bilan ishlaydi. Binobarin, bu holda butun nurlantiriladigan quvvat faqat ishlatilgan polosada jamlanadi, bu har bir nimtachuvchiga nurlanish quvvatining oshishiga olib keladi. Shahar sharoitlarida ma'lumotlarni "yuqoriga" yo'nalishda uzatish uchun bu so'nishlarga qo'shimcha zahirani ta'minlaydi.

"Yuqoriga" yo'nalishda faqat nimtachuvchi chastotalardan to'liq foydalaniladigan ikkita usullar (UL PUSC) va qayta joylashtirish qo'llaniladi. "Pastga" yo'nalishdagi nimkanallar turli xil qabul qilgichlar bilan, "yuqoriga" yo'nalishdagi nimkanallar turli uzatkichlar bilan ishlashi mumkin. Nimtachuvchi chastotalardan nimkanallarni shakllantirishning ikki turlari mavjud:

- yonma-yon;
- ajratish bilan.

Birinchi holda, nimkanal uchun chastotalar diapazonida yaqin joylashgan nimnimtachuvchilar tanlanadi.

Ajratish bilan nimkanalni shakllantirishda psevdotasodifiy ketma-ketlikka muvofiq har bir kanal uchun nimtachuvchi chastotalar nominallari tanlanadi. Bu chastota bo'yicha ajratishni ta'minlaydi va sotalararo interferensiyani o'rtachalashtiradi.

OFDMA texnologiyasining afzalliklari

OFDMA mazmunan FDMA va TDMA usullarining kombinatsiyasi hisoblanadi. Foydalanuvchilarga turli vaqt slotlaridagi (TDMA) nimtachuvchi chastotalar (FDMA) dinamik tayinlanadi. OFDMA texnologiyasining afzalliklari juda ko'p nurli tarqalishni barqaror so'ndirish va chastota bo'yicha ajratish tufayli hatto bitta OFDM-foydalanuvchi uchun afzalliklardan boshlanadi [21].

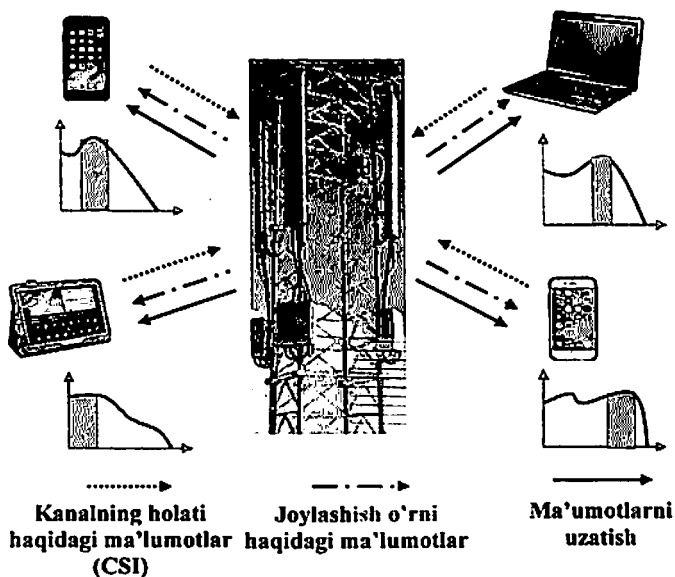
Bundan tashqari, OFDMA usuli ko'plab foydalanuvchilarning ishlashini ko'plab o'zgaruvchan dasturlar, ma'lumotlarni o'zatis tezliklari va xizmat ko'rsatish sifatiga talablar bilan muvofiqlashtira oladigan ko'p tomonlama ulanish usuli hisoblanadi.

Ko'p tomonlama ulanish raqamli (IFFT-Fur'e tez o'zgartirishigacha) bo'lgani uchun chastotalar polosasining kengligini dinamik va samarali taqsimlash mumkin. Bu foydalanuvchilarga yaxshiroq xizmat ko'rsatish uchun vaqt slotlari va chastotalarni tanlash algoritmlarini birlashtirishga imkon beradi.

OFDMA texnologiyasining OFDM texnologiyasiga qaraganda muhim ustunliklaridan biri bu quvvatni kamaytirish potensial imkoniyatlari, shuningdek, maksimum quvvatni matematik kutishga nisbatiga (PAPR – Peak-to-Average Power Ratio) talablarni kamayishi hisoblanadi. PAPR muammosi, ayniqsa, quvvatning samaradorligi va quvvatning amper-soatlariga xarajatlar katta qiziqish uyg'otadigan "yuqoriga" yo'nalishda uzatishda juda muhim. Chastotalar polosasining to'liq kenligini bitta sotadagi ko'plab mobil stansiyalar (MS) o'rtasida taqsimlashda har bir MS faqat unchalik katta bo'lmagan nimtashuvchilar kichik to'plamidan foydalanadi. Shuning uchun har bir MS pastroq PAPR nisbatida, shuningdek, to'liq chastotalar polosasi kengligi orqali uzatilganidan ancha past umumiy quvvatda uzatadi. Pastroq ma'lumotlarni uzatish tezligi va katta hajmli ma'lumotlarga OFDM, TDMA yoki CDMA usullaridagiga qaraganda OFDMA usulida ancha samarali ishlov beriladi. Yuqori quvvat maksimumida butun OFDMA polosasi kengligi bo'yicha o'sha quvvatdan foydalanish bilan o'sha tezlikda uzoq vaqt uzatishga imkon beradi.

Kanallar chastota bo'yicha ajratiladigan ortogonal ko'p tomonlama ulanish (OFDMA) OFDM tizimlarida turli foydalanuvchilarga o'zlarining nimtashuvchi chastotalar to'plamlarini birlashtirish yo'li bilan muvaffaqiyatli amalga oshirilishi mumkin. Bu taqsimlashni amalga oshirishning ko'plab usullari mavjud. Eng oddiy usul 10.8-rasmda tasvirlanganidek, har bir foydalanuvchiga nimtashuvchi chastotalarni statik taqsimlash hisoblanadi. Masalan, tizimning 64 ta nimtashuvchi chastotalaridan 1-foydalanuvchi 1-16 nimtashuvchi chastotalarni, 2-, 3- va 4-foydalanuvchilar esa mos ravishda 17-32, 33-48 va 49-64 nimtashuvchi chastotalarni tanlashi mumkin.

Taqsimlash multiplekserga turli foydalanuvchilar uchun uzoq vaqtga xabar qilinadi va Fur'e tez o'zgartirgichining (FFT) ishlashidan oldin qo'llaniladi. Tabiiyki, teng bo'lmagan taqsimlashlarga ham yo'l qo'yiladi, masalan, ma'lumotlarni yuqori tezlikda uzatadigan foydalanuvchilarga nisbatan past tezlikli foydalanuvchilarga qaraganda ko'proq nimtashuvchi chastotalar ajratiladi.



10.8-rasm. OFDMA usulida bazaviy stansiya har bir foydalanuvchiga nimitashuvchilarning bir qismini kanalning eng yaxshi parametrlarini beradigan diapazonda tayinlaydi

Statik taqsimlashning takomillashtirilishi kanalning holatini davriy tahlil qilishga asoslangan dinamik taqsimlash hisoblanadi. Masalan, chastotaviy holat tufayli va so'nishlar bo'lganda 1-foydalanuvchi 33-48 nimitashuvchi chastotalarda nisbatan yaxshi kanallarga ega bo'lishi mumkin, shu bir vaqtda 3-foydalanuvchi 1-16 nimitashuvchi chastotalarda eng yaxshi kanallarga ega bo'lishi mumkin. Ravshanki, statistika asosida taqsimlasharni bunday o'zgartirish bu foydalanuvchilar uchun o'zaro foydali bo'lar edi. Nimitashuvchi chastotalarni dinamik taqsimlashni bajarish uchun yaxshi ishlab chiqilgan nazariyalar mavjud.

10.3. 4G sotali aloqa tizimlari konsepsiyasi

4G (inglizcha *fourth generation* - to'rtinchi avlod) oshirilgan talablarga ega bo'lgan mobil aloqa avlodi hisoblanadi. To'rtinchi avlodga harakatdagi abonentlarga (yuqori mobillikli) 100 Mbit/sdan yuqori tezliklarda, statsionar abonentlarga (past mobillikli) 1 Gbit/s

tezliklarda ma'lumotlarni uzatishni amalga oshiradigan texnologiyalarni kiritish qabul qilingan [21].

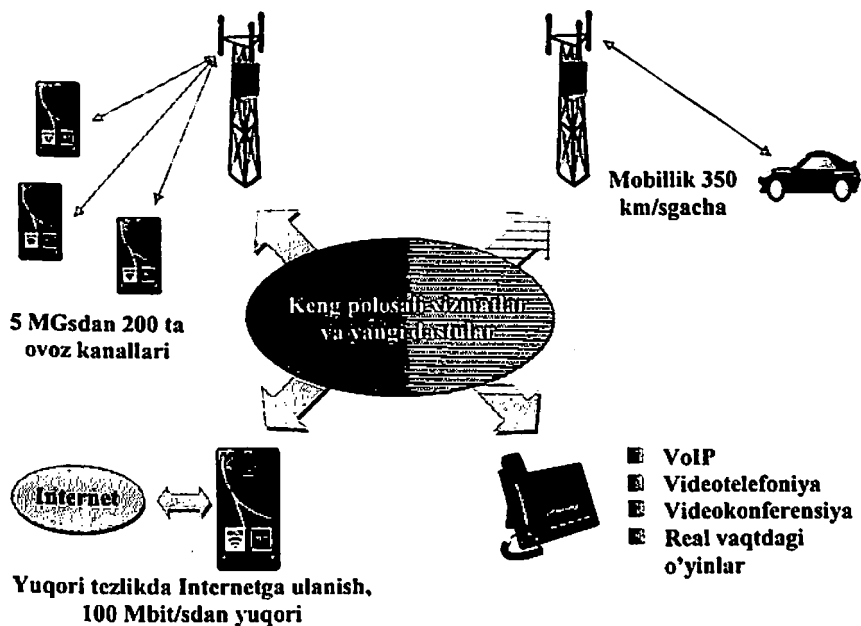
LTE Advanced (LTE-A) va WiMAX 2 (WMAN-Advanced, IEEE 802.16m) texnologiyalari 2012 yilda Jenevada bo'lib o'tgan konferensiyada Xalqaro Elektr Aloqa Ittifoqi tomonidan 4G to'rtinchi avlod simsiz aloqa standartlari (IMT-Advanced) sifatida rasman tan olingan.

Istalgan aloqa avlodining spetsifikatsiyalari odatda xizmat ko'rsatishning tubdan xarakterining o'zgarishi, moslashmaydigan uzatish texnologiyalari, yuqoriroq maksimum bitreytlar, yangi chastotalar polosalari, chastotaning birliklari – gerslarda ifodalanadigan o'tkazish polosasi kengroq kanali, shuningdek, ko'p tomonlama bir vaqtda ma'lumotlarni uzatish uchun katta sig'imni (bit/s/Gs/sectorlarda o'lchanadigan yuqori spektral samaradorlikni) anglatadi..

Mobil aloqaning yangi avlodlari 1970 yillarda (1G) analog sotali aloqa tarmoqlarining birinchi avlodidan 1980 yillarda raqamli uzatishga (2G) o'tgandan keyin deyarli har o'n yilda ishlab chiqila boshlandi. Ishlab chiqishni boshlanishidan real amalga oshirilishigacha yetarli vaqt o'tgan (masalan, 1984 yilda 1G tarmoqlari, 1991 yilda 2G tarmoqlari joriy qilingan). 1990-yillarda kanallar kod bo'yicha ajratiladigan ko'p tomonlama ulanish (CDMA) ulanish asosida 3G standarti ishlab chiqila boshlandi. U faqat 2000-yillarda taqdim etildi. IP protokoliga asoslangan 4G tarmoqlari 2000 yilda ishlab chiqila boshlandi va ko'plab mamlakatlarda 2010 yildan beri joriy qilina boshlandi.

Lekin oxirgi foydalanuvchilarning ko'rsatiladigan xizmalarga talablari doimo ortib bormoqda (10.9-rasm). Mobil tarmoqlar nafaqat sotali aloqa uchun, balki video, mobil TV, musiqani uzatish va yuqori tezliklarda va uzatish sifati bilan Internetda ishlash uchun foydalanilishi kerak. Aynan shu maqsadlarda 3GPP (3G Partnership Project) uchinchi avlod tarmoqlarini uchratishdagi hamkorlik loyihasi doirasida LTE texnologiyasini ishlab chiqish boshlandi.

2000 yilda 3G uchinchi avlod aloqa texnologiyasini o'zlashtirish endigina boshlanganda, shaxsiy kompyuterlarini yyetakchi ishlab chiqaruvchilardan biri Hewlett-Packard va Yaponiyaning NTT DoCoMo sotali aloqa giganti to'rtinchi avlod simsiz tarmoqlarida multimedia ma'lumotlarini uzatish texnologiyalarini ishlab chiqish bo'yicha qo'shma tadqiqotlar boshlanganligini e'lon qildi. Bundan tashqari, Ericsson va AT&T Nortel Network bilan hamkorlikda ishlab chiqishni olib bordi.



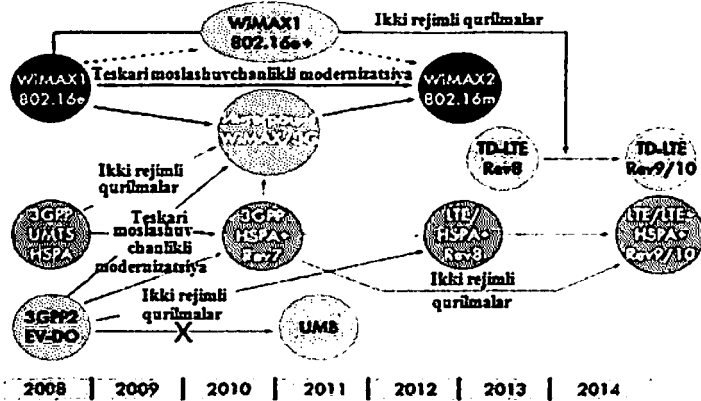
10.9-rasm. LTE tarmoqlarida mavjud bo'lgan keng polosali xizmatlar va yangi ilovalar

Natijada amalga oshirishga yaroqli bo'lgan ikkita standartlar - LTE va WiMAX standartlari paydo bo'ldi, ular IMT Advanced fikriga ko'ra, 4G tarmoqlarini rivojlantirishdagi yangi davrga aylandi.

LTE texnologiyasi

LTE standarti 3GPP doirasida CDMA va UMTS texnologiyalarining davomi sifatida ishlab chiqildi va dastlab mobil aloqaning to'rtinchi avlodiga kirmagan. Xalqaro elektraloqa ittifoqi tomonidan to'rtinchi avlod simsiz aloqaning barcha talablariga javob beradigan aloqa standarti sifatida birinchi marta NTT DoCoMo kompaniyasi taqdim etgan LTE texnologiyasining 10-versiyasi - LTE Advanced tanlandi. Bu standart mavjud sotali aloqa tarmoqlarida amalga oshirilishi mumkinligi sababli, u sotali aloqa operatorlari orasida yanada ommalashdi [23].

Birinchi tijorat LTE tarmog'i 2009 yil 14 dekabrda Ericsson kompaniyasi bilan birgadikda Shvetsiyaning TeliaSonera telekommunikatsiya kompaniyasi tomonidan Stokgolm va Osloda ishga tushirildi. LTE texnologiyasini standart sifatida ishlab chiqish 2004 yil oxirida rasman boshlandi (10.10-rasm).



10.10-rasm. 4G avlod texnologiyalarini rivojlanishining asosiy bosqichlari

Dastlabki bosqichda tadqiqotlarning asosiy maqsadi ma'lumotlarni yuqori uzatish tezligini ta'minlaydigan fizik daraja texnologiyasini tanlash bo'ldi. Asosiy variant sifatida ikkita variantlar - mavjud W-CDMA radiointerfeysini (HSPAda ishlatiladigan) rivojlantirish va OFDM texnologiyasi asosidagi yangi variantni yaratish taklif qilindi. O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida yagona to'g'ri keladigan texnologiya OFDM bo'lib chiqdi va 2006 yil may oyida 3GPPda Evolved UMTS Terrestrial Radio Access (E-UTRA) radiointerfeysida birinchi spetsifikatsiya yaratildi. Birinchi LTE dastlabki spetsifikatsiyalari 3GPP Release 7 doirasida yaratildi. 2008 yilning dekabrda esa LTE tizimlariga arxitekturaviy va funksional talablarni belgilaydigan 3GPP standartlarining versiyasi (Release 8) tasdiqlandi.

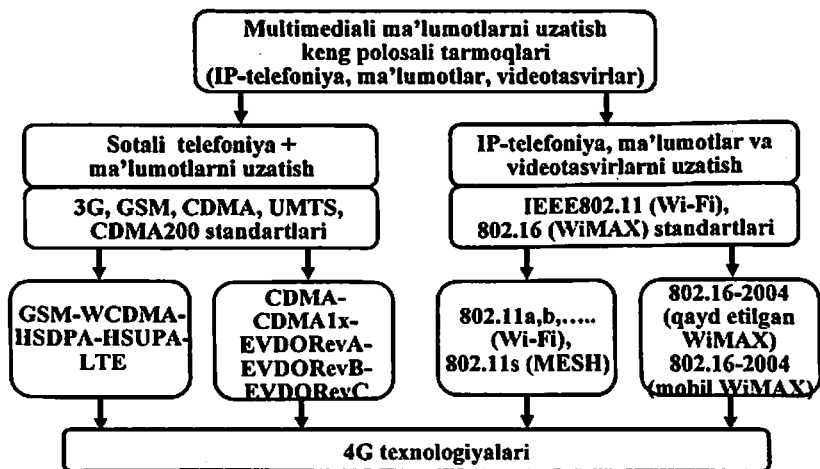
Oldin ishlab chiqilgan 3G tizimlariga qaraganda LTE radiointerfeysi yaxshilangan texnik xarakteristikalarini ta'minaydi. Xususan, LTE texnologiyasida o'tkazish polosasining kengligi 1,4 dan 20 MGsgacha bo'lishi mumkin. Ko'p antennali MIMO tizimlari qo'llanadi. LTE radiointerfeysi operatorlar 3GPP va 3GPP2 standartlaridagi tizimlaridan asta-sekin o'tgan echim sifatida bo'ldi [5-8], uning ishlab chiqilish esa to'rtinchi 4G avlod tarmoqlariga o'tish jarayonida muhim bosqich bo'ldi.

WiMAX texnologiyasi

WiMAX standarti (yoki IEEE 802.16) 2001 yilning iyun oyida tashkil etilgan WiMAX forumi tomonidan ishlab chiqilgan va Wi-Fi simsiz standartining davomi, ajratilgan aloqa liniyalari va DSL texnologiyasiga muqobil texnologiya hisoblanadi. WiMAX ko'plab versiyalarga ega, ammo u asosan qayd etilgan WiMAX (2004 yilda tasdiqlangan IEEE 802.16-2004 spetsifikatsiyasi, shuningdek IEEE 802.16-2004 nomi bilan tanilgan) va mobil WiMAX (2005 yilda tasdiqlangan IEEE 802.16e spetsifikatsiyasi, IEEE 802.16-2005 sifatida tanilgan versiyalarga bo'linadi. Standartlarning nomlaridan aniq ko'rinib turibdiki, qayd etilgan WiMAX mos qurilmalar o'rnatilgandan va mahkamlangandan keyingina faqat "statik" abonentlarga xizmatlarni taqdim etadi, mobil WiMAX esa qamrab olish zonasida 115 km/soatgacha tezlikda harakatlanadigan foydalanuvchilarga ulanishni imkoniyatini beradi. WiMAX standartining afzalligi shundan iboratki, u LTE standartidan ancha oldin tijorat maqsadlarida foydalanishga yaroqli bo'ldi [24].

WiMAX texnologiyasiga asoslangan birinchi tarmoq Kanadada Nortel kompaniyasi tomonidan 2005 yil 7 dekabrda qurilgan.

Simsiz aloqaning rivojlanishi GSM va CDMA sotali aloqa standartlariga, shuningdek IEEE 802 ma'lumotlarni uzatish tizimlari standartlariga asoslangan texnologiyalarning uzluksiz almashish bilan birga bo'lib o'tdi (10.11-rasm).



10.11-rasm. Keng polosali texnologiyalarning asosiy rivojlanish yo'nalishlari

Tarixan simsiz aloqa texnologiyalari ikkita mustaqil yo‘nalishlar - telefon aloqasi tizimlari (sotali aloqa) va ma‘lumotlarni uzatish tizimlari (Wi-Fi, WiMAX) yo‘nalishlarida rivojlandi.

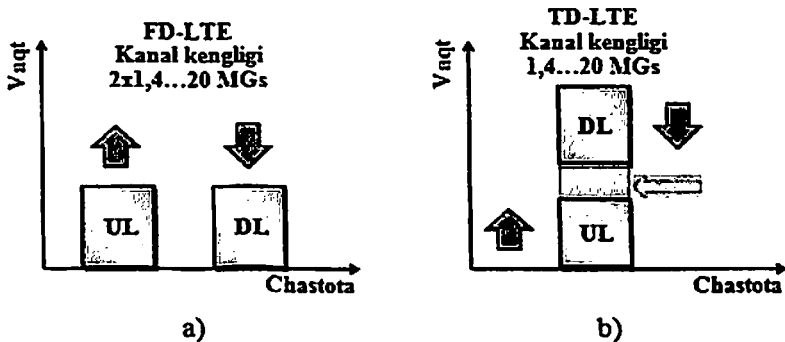
O‘z navbatida, zamonaviy ma‘lumotlarni uzatish tarmoqlari har xil trafik turlari uchun berilgan xizmatlar sifati (QoS) darajasini ta‘minlashi shart. Tarmoq/transport darajalarida (TCP/IP darajasida) va MAC darajasida (IEEE 802.16 standartlari) alohida axborot oqimlarining ustuvorligini qo‘llab-quvvatlaydi. Bu ulardan ovozli aloqa xizmatlarini ko‘rsatish, multimediali ma‘lumotlarni uzatish va boshqalar uchun foydalanshga imkon beradi. Shu munosabat bilan keyingi, to‘rtinchi avlod (4G) tarmoqlari konsepsiyasining o‘zi Universal mobil multimediali ma‘lumotlarni uzatish tarmoqlarini yaratishga uzviy bog‘liq.

10.4. LTE texnologiyasi bo‘yicha radiointerfeysni qurish va ishlash prinsiplari

LTE uchta asosiy texnologiyalar - OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), MIMO (Multiple Input Multiple Output) va evolyutsion tizimli tarmoq arxitektura (System Architecture Evolution) texnologiyalarga asoslangan.

Prinsipial jihatdan, kanallarni dupleks ajratish ham chastota bo‘yicha (FDD) (10.12a-rasm), ham vaqt bo‘yicha (TDD) (10.12b-rasm) bo‘lishi mumkin. Bu operatorlarga chastotalar resurslaridan juda moslashuvchan foydalanishga imkon beradi [23].

Boshqa tomondan, FDD usulini qo‘llash an‘anaviy sotali aloqa operatorlari uchun juda qulay, chunki ular juftlangan chastotalarga ega, deyarli barcha mavjud sotali aloqa tizimlari shunday tashkil etilgan. FDD tizimi TDDga qaraganda chastotalar resurslaridan foydalanish jihatidan ancha samaraliroq, unda ustama sarflar (xizmat maydonlari, intervallar va boshqalar) kam. Bazaviy stansiya (BS) va mobil stansiya (MS) orasidagi almashinuv siklli takrorlanadigan kadrlar (LTE terminologiyasida - radiokadr) prinsipiga asoslanadi [9].



10.12-rasm. Kanallarni dupleks ajratish

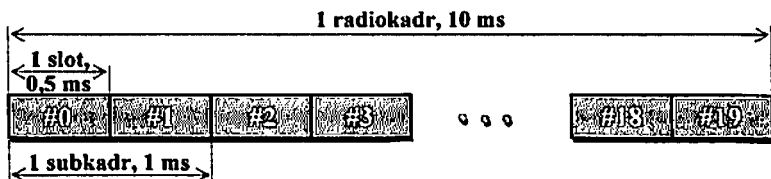
Radiokadrning davomiyligi 10 msga teng. LTE spetsifikatsiyasidagi barcha vaqt parametrlari minimal vaqt kvantiga bog'langan:

$$T_s = 1 / (2048 \cdot \Delta f)$$

bu yerda Δf - nimtashuvchilar orasidagi qadam, standart 15 kGs.

Shunday qilib, radiokadrning davomiyligi $307200T_s$ bo'ladi. Vaqt kvantining o'zi 30,72 MGs takt chastotaga to'g'ri keladi, bu 3G (kanal polosasi 5 MGs bo'lgan WCDMA) tizimlaridagi 3,84 MGs ishlov berish chastotasiga karrali ($8 \times 3,84 = 30,72$) karrali bo'ladi.

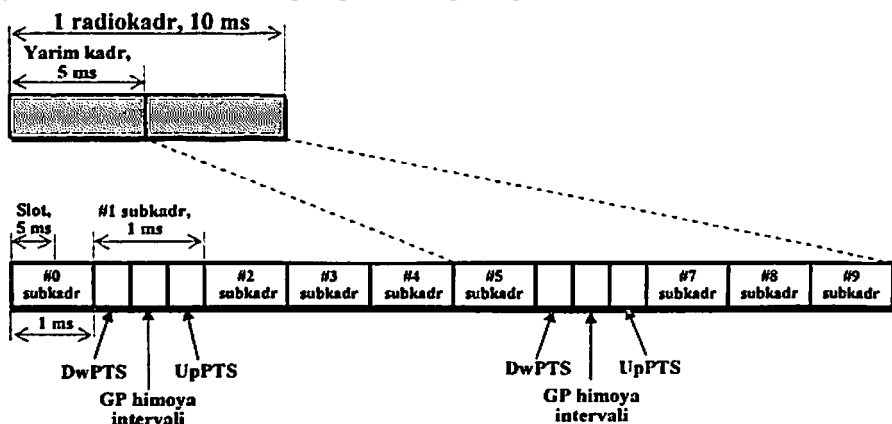
LTE standarti ikki turdagi radiokadrni ko'zda tutadi. 1-turdagi kadrler chastotaviy duplekslash - ham to'liq, ham yarim duplekslash uchun mo'ljallangan. Bunday kadr 0 dan 19 gacha raqamlangan 20 ta slotlardan (uzunligi 0,5 ms bo'lgan) tashkil topgan. Ikkita qo'shni slotlar subkadrni hosil qiladi (10.13-rasm). To'liq dupleks rejimda yuqoriga va pastga kanallardagi radiokadrler parallel ravishda, lekin standartda belgilangan vaqt surilishi bilan uzatiladi.



10.14-rasm. Dupleks kanallar chastota bo'yicha ajratilishida LTE kadrining tuzilmasi

2-turdagi radiokadr (10.14-rasm) faqat vaqt bo'yicha duplekslash uchun mo'ljallangan. U davomiyligi 5 msdan bo'lgan ikki yarim kadrlardan tashkil topgan. Har bir yarim kadrda 1 ms davomiylikdagi 5 ta subkadrlarni o'z ichiga oladi. Standart vaqt bo'yicha duplekslashning ikki 5 va 10 msli sikllarini ko'zda tutadi.

Birinchi holda, 1-nchi va 6-nchi subkadrlar bir xil va DwPTS, UpPTS xizmat maydonlari va GP himoya intervaliga ega bo'ladi. TDD usulining 10-siklida 6-nchi subkadr pastga yo'nalishda ma'lumotlarni uzatish uchun ishlatiladi. 0-nchi va 5-nchi subkadrlar, shuningdek DwPTS maydon har doim pastga kanaliga, 2-nchi subkadr va UpPTS maydon esa har doim yuqoriga kanalga tegishli bo'ladi.



10.14-rasm. Dupleks kanallar vaqt bo'yicha ajratilishida LTE kadrining tuzilmasi

Qolgan subkadrlarning taqsimlanishi 10.1-jadval orqali aniqlanadi. DwPTS, UpPTS va GP maydonlar davomiyliklarining bir nechta variantlari bo'lishi mumkin, ammo ularning yig'indisi har doim 1 ms ga teng bo'ladi.

Yuqorida ta'kidlanidek, LTE texnologiyasida DVB, Wi-Fi va WiMAX tizimlarida yaxshi tadqiq qilingan OFDM modulyatsiyalashdan foydalaniladi [1]. Aytib o'tamizki, OFDM texnologiyasi chastota bo'yicha ma'lum Δf qadamlar bilan joylashgan $S_k(t) = a_k \sin [2\pi (f_0 + k\Delta f)]$ ko'rinishdagi tor polosali nimitashuvchilarning bog'liq bo'lmagan modulyatsiyalash orqali keng polosali signalni uzatilishini nazarda tutadi. Bitta OFDM-simvol modulyatsiyalangan nimitashuvchilar to'plamiga ega bo'ladi.

10.1-jadval

2-turdagi radiokanalda subkadrnlarning taqsimlanishi, **D** - pastga kanal, **U** – yuqoriga kanal, **S** - maxsus maydonlarga ega subkadr

Konfiguratsiya	TDD sikli, ms	Subkadrning raqami									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

Vaqt sohasida OFDM-simvol ma'lumotlar maydoni (foydali yuklama) va CP (Cyclic Prefix) deyiladigan siklli prefiks - takroran uzatiladigan oldingi simvol oxirining qismini o'z ichiga oladi (10.15-rasm).



10.15-rasm. Siklli prefiksli OFDM-simvol

Prefiksnning vazifasi signalning ko'p yo'lli tarqalishi tufayli qabul qilgichda simvollararo interferensiyaga qarshi kurashish hisoblanadi. Kechikish bilan keladigan qaytgan signal prefiks zonasiga tushadi va foydali signalga qo'shilmaydi. LTE texnologiyasida nimtashuvchilar orasidagi standart qadam $\Delta f = 15$ kGs qabul qilingan, bu OFDM-simvolning 66,7 mks davomiyligiga to'g'ri keladi.

Har bir abonentlar qurilmasiga (MS) har bir slotda chastotaviy-vaqt sohasidagi ma'lum kanal resurslari diapazoni – resurslar to'ri tayinlanadi (10.16-rasm). Resurslar to'ri yacheykasi - resurslar elementi chastotalar sohasidagi bitta nimtashuvchiga va vaqt sohasidagi bitta OFDM-simvolga to'g'ri keladi. Resurslar elementlari resurslar bloki - kanalidagi minimal ma'lumot birligini tashkil qiladi.

Resurslar bloki slotning umumiy davomiyligi 0,5 msni tashkil qiladigan tarzda siklli prefiksnning turiga bog'liq ravishda 12 ta nimtashuvchilarni (ya'ni 180 kGs) va 7 yoki 6 ta OFDM-simvollarini egallaydi (8.2-jadval). Resurs to'ridagi NRB resurslar bloklarining soni kanalning polosasining kengligiga bog'liq va 6 dan 110 gachani (LTE

texnologiyasida yuqoriga/pastga chastotalar polosasining kengligi 1,4 dan 20 MGsgacha) tashkil etadi. Resurslar bloki bazaviy stansiya rejalashtirgichi tomonidan abonentlar qurilmasiga ajratiladigan minimal resurslar birligi hisoblanadi. Bazaviy stansiya har bir slotda ajratilgan resurslarni taqsimlash to'g'risida maxsus boshqarish kanalida xabar beradi.

10.2-jadval

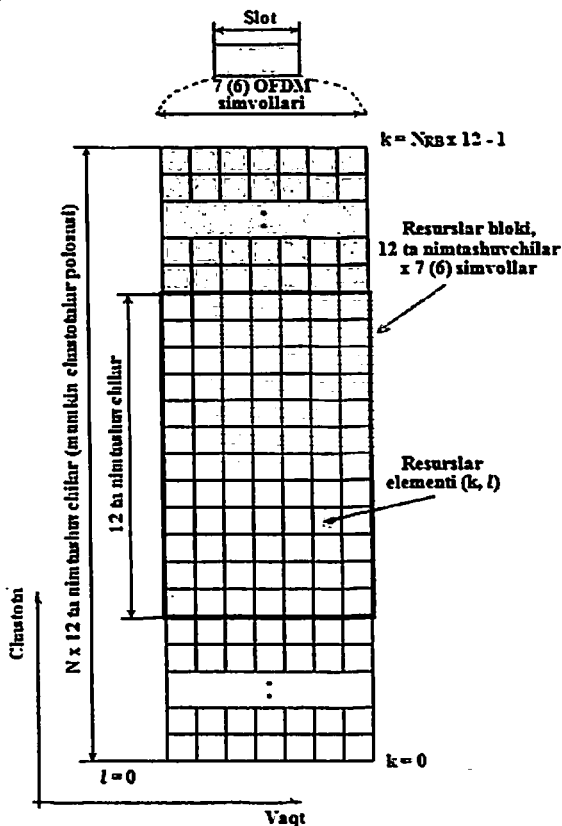
$\Delta f = 15$ kGs bo'lganda pastga kanaldagi fizik prefiks

Tip prefiksa	Prefiksning uzunligi		Slotning uzunligi, OFDM-simvollar
	Ts	mks	
Standart: Slotning birinchi simvoli	160	5.2	7
Slotning qolgan 6 ta simvollar	144	4.7	
Kengaytirilgan	512	16,7	6

4,7 mksdagi prefiksning davomiyligi to'g'ridan-to'g'ri tarqaladigan signalga qaraganda 1,4 kmdan ortiqroq yo'ldan o'tgan qaytgan signalning kechikishiga qarshi kurashishga imkon beradi. Shahar sharoitlaridagi sotali aloqa tizimlari uchun bu odatda yetarli bo'ladi. Agar bunday bo'lmasa, 120 km gacha radiusli yacheykalarda simvollararo interferensiya so'ndirish uchun kengaytirilgan prefiks ishlatiladi. Bu ulkan yacheykalar mobil televizion uzatish kabi turli keng tarqatiladigan xizmatlar (MBMS) uchun foydali bo'ladi. Bu rejimlar uchun (faqat pastga kanalda) nimtashuvchilar orasidagi 7,5 kGs qadamli va 33,4 miks siklli prefiksli slotning maxsus tuzilmasi ko'zda tutilgan. Bunda slotda faqat uchta OFDM-simvollar bo'ladi. Keng tarqatiladigan xizmatlarning alohida holini MBSFN (bitta chastotali tarmoq uchun multimediali keng tarqatiladigan xizmat) rejimi taqdim etadi. Bu rejimda ma'lum bir MBSFN-zonasidagi bir nechta BSlar bir vaqtda va sinxron umumiy tarqatiladigan signalni tarqatadi.

Har bir nimtashuvchi 4-, 16- va 64-pozitsiyali kvadraturali fazaviy-amplitudaviy modulyatsiyalash bilan (QPSK, 16-QAM yoki 64-QAM) modulyatsiyalanadi. Mos ravishda bitta nimtashuvchida bitta simvol 2, 4 yoki 6 bitlarni o'z ichiga oladi. Standart prefiksda simvulli tezlik 14000 simvollar/sni tashkil etadi, bu FDD-dupleksda nimtashuvchiga 28 dan 84 kbit/sgacha tezlikka mos keladi. 20 MGs

polosali signal 100 ta resurslar bloklari yoki 1200 ta nimtashuvchilarga ega bo‘lib, bu umumiy kanaldagi 33,6 dan 100,8 Mbit/sgacha umumiy tezlikni beradi.



10.16-rasm. $\Delta f = 15$ kGs standart nimtashuvchilar qadamida LTE resurslar to‘ri

LTE spetsifikatsiyalari BS va MS orasidagi (E-UTRA tarmoqlarida) yuqoriga va pastga analining kengligi uchun bir nechta qayd etilgan qiymatlarni aniqlaydi (10.3-jadval). Binobarin, OFDM texnologiyasida Fur'e tez o'zgartirishi (FTO') ishlatiladi, signalga qayta raqamli ishlov berish protseduralarini soddalashtirish uchun nimtashuvchilar soni $N = 2^n$ (ya'ni 128, 256, ..., 2048) karrali bo'lishi kerak. Bunda tanlanmalar chastotasi $F_s = \Delta f \cdot N$ bo'lishi kerak. Standartda ko'rsatilgan qiymatlarda u WCDMA texnologiyasidagi standart tanlanmalar chastotasi 3,84 MGsga karrali bo'lib qoladi. Bu ham WCDMA, ham LTE texnologiyalarini qo'llaydigan ko'p modali

qurilmalarni yaratish uchun juda qulay bo‘ladi. Albatta, signalni shakllantirishda, “ortiqcha” nimtashuvchilarning (shu jumladan kanalning markaziy tashuvchisining) amplitudalari nolga teng hisoblanadi [23].

10.3-jadval

BS va MS orasidagi kanal parametrlari

Kanalning kengligi, MGs	1.4	3	5	10	15	20
Resurslar bloklarining soni	6	15	25	50	75	100
Nimtashuvchilar soni	72	180	300	600	900	1200
FTO‘ uchun nominal nimtashuvchilar soni	128	256	512	1024	1536	2048
FTO‘ uchun takt chastotasi, MGs	1,9	3,84	7,68	15,36	23,04	30,7

Pastga kanal

Pastga va yuqoriga kanallarda OFDM texnologiyasining qo‘llanishi farq qiladi. Pastga kanalda bu texnologiya nafaqat signal uzatish uchun, balki ko‘p tomonlama ulanishni tashkil qilish, ya’ni abonentlar kanallarini multiplekslash (OFDMA) uchun ham foydalaniladi [23].

Ta’riflangan fizik tuzilmaviy blokdan tashqari, mantiqiy tuzilmaviy blok tushunchasi kiritiladi. Resurslar elementlarining soni bo‘yicha ular ekvivalent, ammo fizik blokning resurslar elementlarini mantiqiy resurslar elementlariga aks ettirishning ikkita variantlari – birga-bir va taqsimlangan variantlari mavjud. Ikkinchi holda, mantiqiy resurslar elementlari butun mumkin resurslar to‘ri bo‘yicha taqsimlanadi.

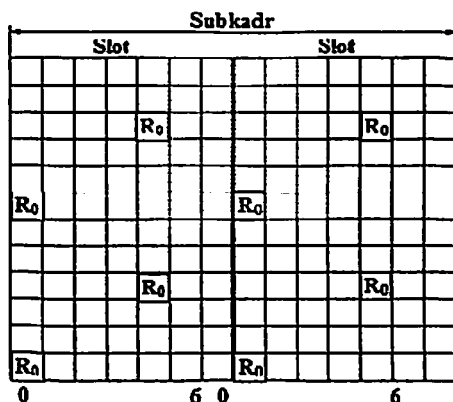
Paket tarmoqlardan farqli ravishda LTE texnologiyasida sinxronlashtirish va tashuvchining surilishini baholash uchun zarur bo‘ladigan fizik preambula mavjud emas. Buning o‘rniga har bir resurslar blokiga maxsus tayanch va sinxronlashtirish signallari qo‘shiladi.

Tayanch signallari uch xil - yacheykani tavsiflovchi tayanch signali (Cell-specific), ma’lum bir abonentlar qurilmasiga bog‘langan signal va MBSFN maxsus keng tarqatidigan multimedia xizmati uchun signal bo‘lishi mumkin. Tayanch signal uzatish kanalidagi sharoitlarni to‘g‘ridan-to‘g‘ri aniqlash uchun ishlatiladi (chunki qabul qilgichga uning joylashish o‘rni va dastlabki shakli ma’lum). Bu o‘lchashlar asosida qolgan nimtashuvchilar uchun kanalning

reaksiyasini aniqlash va interpolyatsiyadan foydalanish bilan dastlabki shaklni tiklash mumkin.

Tayanch sell-specific-signal har bir pastga kanalning subkadrda (MBSFN-uzatishdan tashqari) bo'lishi kerak.

Signalning shakli initsializatsiyalashda BS yacheykasining identifikatsion raqami (Cell ID) ishlatiladigan Gold psevdotasodifiy ketma-ketligi (m-ketma-ketlik varianti) asosida aniqlanadi. Bunday tayanch signali resurslar elementlari bo'yicha teng taqsimlanadi (10.17-rasm).



8.7-rasm. Bitta antennada ishlashda LTE resurslar to'ringing pastga kanalida tayanch signalining (cell-specific) joylashishi

Shunday qilib, standart prefiks uzunligida u 0-nchi va 4-nchi OFDM-simvollarida, kengaytirilgan SR prefiksda 0-nchi va 3-nchi OFDM-simvollarida efirga uzatiladi. Chastotalar sohasida tayanch signallari har oltita tashuvchilarda uzatiladi, binobarin, 6 modul bo'yicha olinadigan identifikator orqali aniqlanadi. Tayanch signallaridan tashqari, sinxronlashtirish signallari ham pastga kanalda uzatiladi. Sinxronlashtirish signallari, shuningdek, Cell ID identifikatorni aniqlaydi.

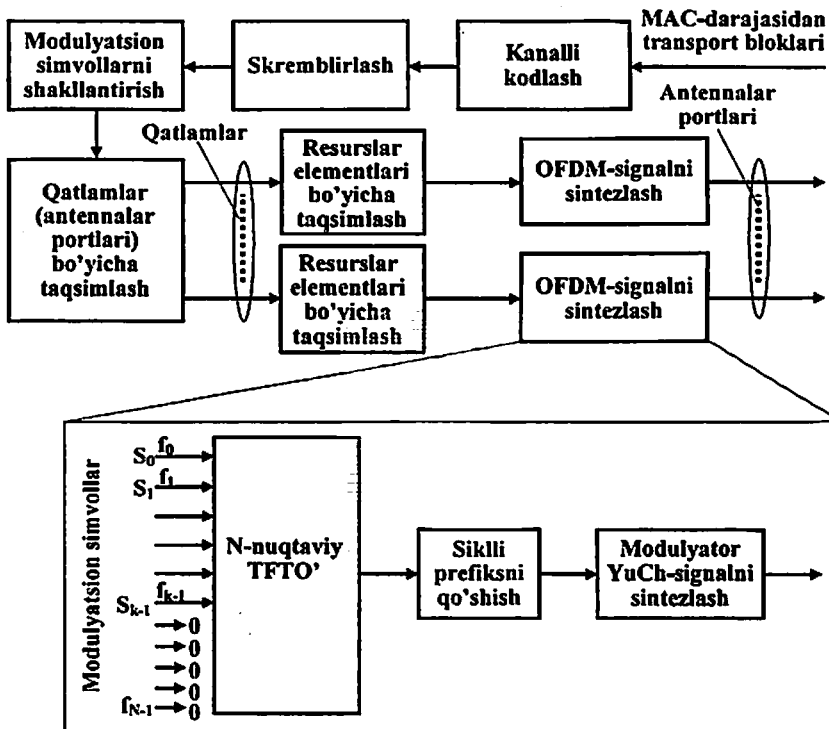
LTE texnologiyasida, undan oldingi WCDMA texnologiyasidagi kabi, yacheykani identifikatsiyalashning ierarxik tuzilmasi qabul qilingan. Fizik darajada 504 ta Sell ID identifikatorlari ko'zda tutiladi. Ular har biri 3 tadan identifikatorlarga ega bo'lgan 168 ta ID-guruhlariga bo'lingan. $N1$ (0-167) guruh raqami va undagi $N2$ (0-2) identifikator raqami yacheykaning identifikatorini aniq belgilaydi. Ikkita sinxronlashtirish signallari - birlamchi va ikkilamchi signallar ishlatiladi.

Birlamchi sinxronlashtirish signali $N2$ identifikatori asosida Zadov-Chu ketma-ketligi orqali beriladigan chastotalar rejasidagi 62-elementli ketma-ketlik hisoblanadi.

Resurslar to'ri bo'yicha uning markaziy chastotasiga nisbatan simmetrik taqsimlangan 62 ta nimtashuvchilardan iborat. Bunday ketma-ketlik 0-nchi va 10-nchi slotlarning (0-nchi va 5-nchi subkadrning) so'nggi OFDM-simvolidagi 1-turdagi radiokadrda uzatiladi. Birlamchi sinxronlashtirish signalini uzatish uchun 2-turdagi radiokadrda 1-nchi va 6-nchi subkadrning uchinchi OFDM-simvoli ishlatiladi. Ikkilamchi sinxronlashtirish signali $N1$ ID-guruh identifikatori asosida generatsiyalanadi. U 1-turdagi radiokadrning 0-nchi va 10-nchi slotlarida (standart SR prefiksda beshinchi OFDM-simvolidagi) va 2-turdagi radiokadrning 1-nchi va 11-nchi slotlarida (standart SR prefiksda oltinchi OFDM-simvolidagi) uzatiladi.

Pastga kanalda signalni shakllantirish zamonaviy raqamli uzatish tizimlari uchun yetarlicha standart hisoblanadi (10.18-rasm). U kanalli kodlash, skremblirlash, modulyatsion simvollarni shakllantirish, ularni antennalar portlari va resurslar elementlari bo'yicha taqsimlash va OFDM-simvollarni sintezlash protseduralarini o'z ichiga oladi. Kanalli kodlash MAC-darajasidan tushadigan ma'lumotlar bloklari uchun nazorat yig'indilarini (CRC-24) hisoblashni ko'zda tutadi. Keyin nazorat yig'indilariga ega bo'lgan bloklarga koder orqali 1/3 kodlash tezligida ishlov beriladi.

LTE texnologiyasida o'rama kodn yoki turbo kod qo'llaniladi. Oralatishdan (Interleavingdan) keyin kodlangan ketma-ketlik skremblerga beriladi (kirish $\{x(i)\}$ ketma-ketligi uchun $dscr(i) = x(i) + c(i)$ ko'rinishdagi protsedura bajariladi, bu yerda $c(i)$ - ma'lum skremblirlash ketma-ketligi). Keyinchalik kompleks modulyatsion simvollar (QPSK, 16- va 64-QAM) shakllantiriladi va resurslar elementlari bo'yicha taqsimlanadi. Keyinchalik, OFDM-simvollarni sintezlash bo'lib o'tadi, ularning ketma-ketligi berilgan chastotalar diapazonida chiqish YuCh-signalni shakllantiradigan modulyatorga beriladi. Qabul qilish tomonida barcha protseduralar teskari tartibda amalga oshiriladi.



10.18-rasm. Pastga kanalda signalni shakllantirish sxemasi

Yuqoriga kanal

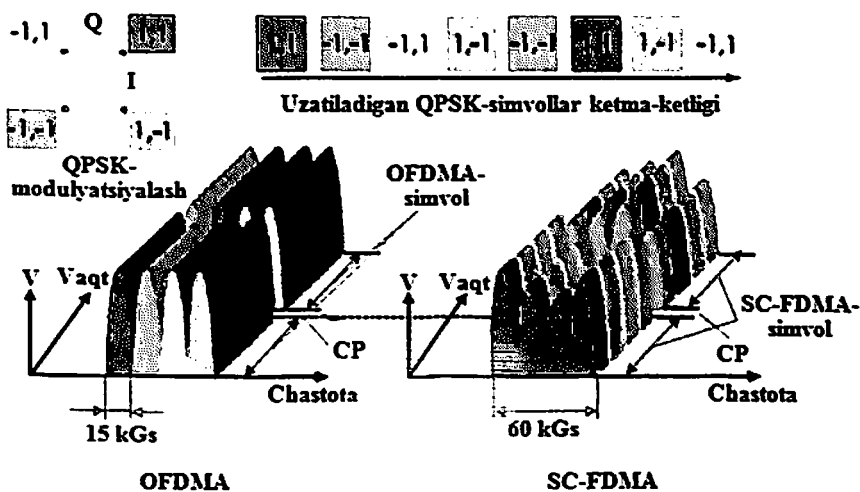
Siklli prefiks bilan birgalikda OFDM texnologiyasining qo'llanishi aloqani radiokanal parametrlarining vaqt bo'yicha dispersiyasiga barqaror qiladi, natijada qabul qilish tomonida murakkab Ekvalayzer kerak bo'lmaydi. Bu pastga kanalni tashkil qilish uchun juda foydali, chunki qabul qilgich orqali signalga ishlov berish soddalashadi, bu terminal qurilmasining narxini va uning iste'mol quvvatini kamaytiradi [23].

Yuqoriga kanalda ruxsat etiladigan nurlantirish quvvati pastga kanaldagiga qaraganda ancha past bo'ladi. Shuning uchun qamrab olish zonasini kengaytirish, terminal qurilmasining narxini va iste'mol quvvatini kamaytirish maqsadida ma'lumotlarni uzatish usulining energetik samaradorligiga birlamchi bo'lib qoladi.

OFDMA texnologiyasining asosiy kamchiligi signalning maksimal va o'rtacha quvvatlari yuqori nisbati (PAR) yuqori nisbati hisoblanadi. Bu shunga bog'liqlik, vaqt sohasida OFDM-signalning spektri yuqori PAR bilan xarakterlanadigan Gauss shovqiniga o'xshash bo'ladi. Bundan tashqari, OFDMA texnologiyasining o'zi nimtashuvchilar orasidagi qadamni minimallashtirish va SR prefiksning nisbiy uzunligini qisqartirish zaruratini hisobga olganda, kompozit signalni shakllantirishga juda yuqori talablarni qo'yadi. Shu bilan birga, uzatkich va qabul qilgichning chastotaviy nomuvofiqligi va qabul qilingan signaldagi fazaviy shovqin alohida nimtashuvchilarda simvollararo interferensiyaga (ya'ni, turli abonentlar kanallarining signallari orasidagi interferensiyaga) olib kelishi mumkin. Nimtashuvchilar orasidagi kichik qadamdan Dopler effekti ham shunga o'xshash oqibatlariga olib kelishi mumkin, bu esa abonentlarning yuqori mobillikni ko'zda tutadigan sotali aloqa tizimlari uchun juda muhim.

Shu munosabat bilan LTE yuqoriga kanali uchun yangi texnologiya - SC-FDMA (Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access) taklif qilingan. Uning asosiy farqi shundan iboratki, agar OFDMA texnologiyasida har bir nimtashuvchida o'z modulyasion simvoli bir vaqtda uzatilsa, u holda SC-FDMA texnologiyasida nimtashuvchilar bir vaqtda va bir xil modulyatsiyalanadi, ammo modulyatsion simvollar qisqaroq bo'ladi. Ya'ni, OFDMA texnologiyasida simvollar parallel ravishda, SC-FDMA texnologiyasida ketma-ket uzatiladi. Bu yechim oddiy OFDM modulyatsiyalashdan foydalanishga qaraganda maksimal va o'rtacha quvvat sathlarining past nisbatlarini ta'minlaydi, buning natijasida abonentlar qurilmalarining energetik samaradorligi oshiriladi va ularning konstruksiyasi soddalashtiriladi (uzatkichlarning chastotaviy parametrlarining aniqligi talablar sezilarli darajada pasayadi).

SC-FDMA-signalning tuzilmasi OFDM texnologiyasiga juda o'xshaydi. Shuningdek, kompozit signal, Δf qadamlarda joylashgan nimtashuvchilar to'plamini modulyatsiyalash ishlatiladi. Asosiy farq shundaki, barcha nimtashuvchilar bir xil modulyatsiyalanadi, ya'ni bir vaqtda faqat bitta modulyatsion simvol uzatiladi (10.19-rasm). Bunda resurslar to'ri pastga kanaldagiga to'liq o'xshash bo'ladi. Shuningdek, slotga mos keladigan har bir fizik resurslar bloki chastotalar sohasida $\Delta f = 15\text{kGs}$ (jami 180 kGs) va vaqt sohasida 0,5 msga teng bo'lgan qadamli 12 ta nimtashuvchilarni egallaydi.



10.19-rasm. QPSK-simvollar ketma-ketligini uzatishda OFDMA va SC-FDMA orasidagi farq

Resurslar bloki standart siklli prefiksdagi 7 ta va kengaytirilgan prefiksdagi 6 ta SC-FDMA simvollariga mos keladi. SC-FDMA-simvolning davomiyligi (prefikssiz) OFDMA-simvolning davomiyligiga teng va 66,7 mksni tashkil etadi (mos siklli prefikslarning davomiyligi ham teng). To'rtta 6 dan 110 tagacha resurslar bloklari bo'lishi mumkin, ammo ularning soni 2, 3 yoki 5 ga karrali bo'lishi kerak, bu diskret Fur'e-o'zgartirish protsedurasiga bog'liq. Yana bir o'ziga xususiyat MSda 64-QAM modulyatsiyalashni qo'llash opsional hisoblanadi.

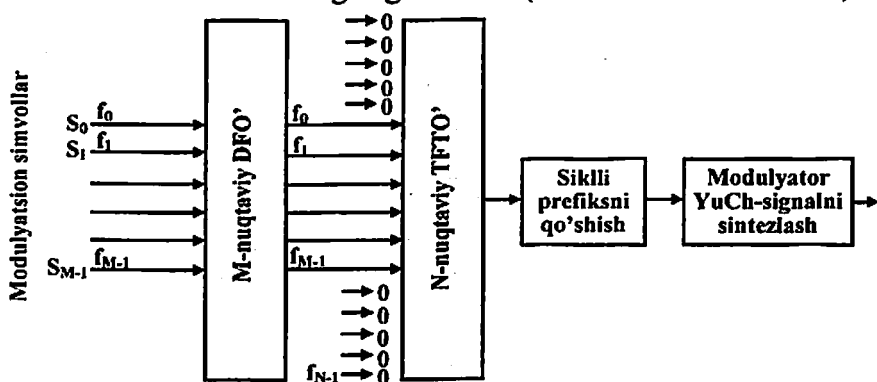
Tarmoqning har bir abonentiga bazaviy stansiyadan ma'lumotlarni uzatish uchun rejalashtirish funksiyasi yordamida ma'lum vaqtga ma'lum resurslar bloklari soni ajratiladi. Jadval abonentlarga xizmat kanallari bo'yicha pastga radiokanalda uzatiladi.

Ammo, agar OFDMA texnologiyasida bitta modulyatsion simvol (QPSK, 16- yoki 64-QAM) bitta nimtashuvchidagi OFDM-simvolga (15 kGs, 66,7 mks) mos kelsa, u holda SC-OFDMA texnologiyasida vaziyat boshqacha bo'ladi. Chastotalar rejasida modulyatsion simvolning kengligi butun mumkin chastotalar polosasiga teng (u bir vaqtda barcha nimtashuvchilarda uzatiladi). Bunda bitta SC-FDMA-simvol bir nechta - ideal holda nimtashuvchilar soniga teng bo'lgan, lekin OFDMA texnologiyasidagiga qaraganda shuncha marta qisqaroq

modulyatsion simvollarini o'z ichiga oladi, bu Kotelnikov-Shannon teoremasining shartlariga to'liq javob beradi.

SC-FDMA-signalni shakllantirish protsedurasining o'zi OFDMA texnologiyasidagi sxemadan farq qiladi. Kanalli kodlash, skremblirlash va modulyatsion simvollarini shakllantirishdan keyin ular M simvollar - SC-FDMA subsimvollarini bloklariga guruhlashtiriladi (10.20-rasm). Ravshanki, ularni 15 kGs qadamli nimtashuvchilarga to'g'ridan-to'g'ri joylash mumkin emas, N marta yuqori chastota talab qilinadi, bu yerda N - uzatish uchun mumkin nimtashuvchilar soni. Shuning uchun, M modulyatsion simvollaridan guruhlarni ($M < N$) tashkil etish bilan ularni M -nuqtaviy diskret Fur'e o'zgartirish (DFO) amalga oshiriladi, ya'ni analog signal shakllantiriladi.

Keyin esa teskari N -nuqtaviy diskret Fur'e o'zgartirish (DFO) standart protsedurasi yordamida har bir nimtashuvchi bog'liq bo'lmagan modulyatsiyalanishiga mos keladigan signal sintezlanadi, siklli prefiks qo'shiladi va chiqish YuCh-signali generatsiyalandi. Bu yondashuv natijasida OFDMA va SC-FDMA-signallar uzatkichi va qabul qilgichi o'xshash funksional tuzilmaga ega bo'ladi (10.18- va 10.20-rasmlar).

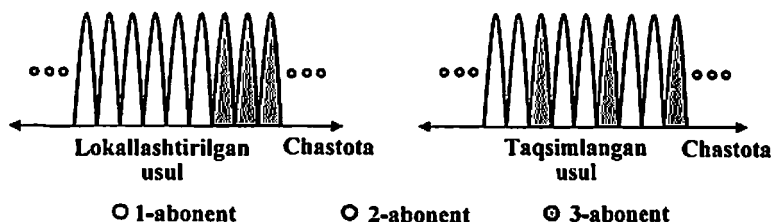


10.12-rasm. SC-FDMA holda chiqish signalini shakllantirishning o'ziga xos xususiyati

Ta'kidlaymizki, MS ham qayd etilgan chastotalar polosasidan (yonma-yon resurslar bloklari, ya'ni qo'shni nimtashuvchilardan) va chastotani sakrashesimon qayt sozlash (FH) rejimi deyiladigan taqsimlangan chastotalar polosasidan foydalanishi mumkin. Ikkinchi holda yuqoriga kanalning har bir sloti uchun mumkin bo'lgan resurslar to'ridan yangi resurslar bloki ishlatiladi. Chastotani qayta sozlash

parametrlari tarmoq qurilmalari orqali beriladi va tarmoqdagi abonentlar stansiyasini initsializatsiyalashda, ham boshqarish kanalida ishlash paytida xabar qilinadi. Taqsimlangan chastotalar polosasidan foydalanish usulida har bir abonentdan ma'lumotlar signalning butun spektri bo'yicha taqsimlanadi (10.21-rasm), shuning uchun bu usul chastotavi-selektiv so'nishlarga barqaror hisoblanadi.

Boshqa tomondan, lokallashtirilgan taqsimlash usulida bu abonent uchun kanalning so'nishlarga maksimal barqarorligiga erishiladigan polosani aniqlash mumkin. Binobarin, barcha abonentlar uchun signalning so'nishi sohalari turlicha, u holda radiokanalidan umumiy maksimal foydalanish samaradorligiga erishish mumkin. Biroq, bu har bir qurilma uchun kanalning chastotaviy xarakteristikadarini uzluksiz skanerlash va dispetcherlashtirish funksiyasini tashkil etilishini talab qiladi.



10.21-rasm. SC-FDMAda nimitashuvchilarni taqsimlash usullari

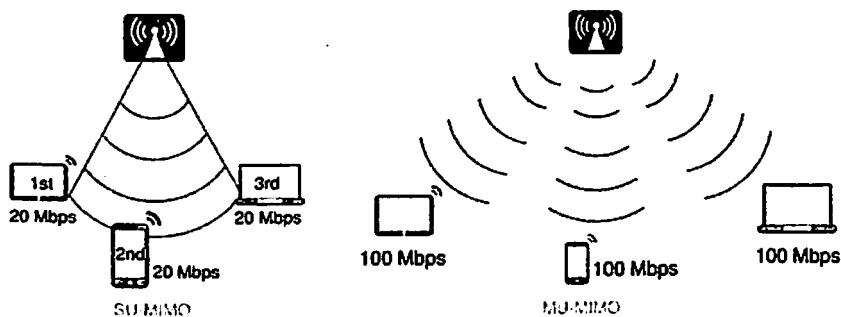
Yuqori darajalarlar funksiyalari generatsiyalaydigan ma'lumotlardan tashqari, yuqoriga kanalda tayanch signallari uzatiladi. Ularning vazifasi BS qabul qilgichiga ma'lum MS uzatkichiga sozlanishga yordam berish hisoblanadi. Bundan tashqari, bu signallar resurslarni dispetcherlashtirishda BSda ishlatiladigan kanalning sifatini baholashga imkon beradi. Yuqoriga kanalda tayanch signallari ikki turlarda – “demodulyatsiyalangan” va zondlash (sounding) signallari bo'lishi mumkin.

Demodulyatsiyalangan tayanch signallari pastga kanaldagi tayanch signallariga o'xshaydi. Ular doimiy asosda uzatiladi. Shunday qilib, umumiy axborot kanalida demodulyatsiyalangan tayanch signallari ketma-ketligi standart SR prefiksda har bir slotning to'rtinchi SC-FDMA-simvolida uzatiladi. Zondlash signallari aperiodik hisoblanadi. Ularning asosiy vazifasi agar uzatish hali olib

borilmayotgan bo'lsa, BSGa kanal sifatini baholashga imkon berish hisoblanadi.

Ko'p antennali tizimlar

Barcha zamonaviy simsiz texnologiyalar kabi LTE texnologiyasida ham ko'p antennali tizimlar (MIMO) qo'llanadi. Bu texnologiyaning eng oddiy abonentlar qurilmalariga yo'naltirilganligini hisobga olsak, LTE texnologiyasida MIMO texnikasi maksimal darajada soddalashtirilgan. Standart turli kombinatsiyalardagi 1, 2 va 4 ta uzatish va qabul qilish antennalariga ega bo'lgan MIMO sxemalarini ko'zda tutadi. MIMO- tizimlarda uzatishning ikkita asosiy turlari - fazoviy multiplekslash va diversifikatsiyalangan uzatish qo'llanadi. Birinchi rejim shuni anglatadiki, har bir antenna kanali bog'liq bo'lmagan ma'lumotlar oqimini uzatadi. Bunda kanallarning o'zi korrelyatsiyalanmagan bo'lishi kerak. Ikkita fazoviy-multiplekslashli uzatish turlari - bitta MS (SU-MIMO) va MSlar guruhiga (MU-MIMO) uzatish bo'lishi mumkin (10.22-rasm) [23].



Birinchi holda, BS bir nechta bog'liq bo'lmagan ma'lumotlar oqimlarini bitta MSga uzatadi. Bunda MS BSGadigan kam bo'lmagan antennalar soniga ega bo'lishi kerak. MU-MIMO usulida bir xil vaqt-chastota parametrlariga ega bo'lgan resurslar elementlari turli xil MSlar orqali qabul qilinishi kerak (bunda biz yo'naltirilganlik diagrammasini raqamli shakllantirish haqida gap bormaydi). Prinsipial jihatdan barcha antenna kanallari bo'yicha bir vaqtda faqat ikkita kodli so'zlarni (ya'ni, faqat ikkita mantiqiy bog'liq bo'lmagan ma'lumotlar oqimlarini) uzatish mumkin. Shuning uchun, to'rtta bo'lishi mumkin antenna kanallariga qaramay, MU-MIMO rejimida BS bitta chastota-vaqt diapazonida faqat ikkita MSlar bilan ishlash mumkin.

Diversifikatsiyalangan uzatish bitta ma'lumotlar oqimini uzatish uchun bir nechta antenna kanallaridan foydalanilishini anglatadi. Bu

texnika radiokanalidagi soʻnishlar bilan kurashish uchun moʻljallangan va faqat kanalda uzatish sifatini oshirishga qaratilgan. Bu kanal sifatini oshirish orqali uzatish tezligiga bilvosita taʼsir qiladi.

Yuqoriga kanalda MU-MIMO koʻp abonentli fazoviy multiplekslash sxemasi boʻlishi mumkin. Har birida bittadan antenna boʻlgan bir nechta MSlar bir xil vaqt-chastota resurslardan foydalanishi mumkin, ammo korrelyatsiyalanmagan antenna kanallar hisobiga BS ularning barchasi bilan bir vaqtda ishlaydi.

Dispatcherlashtirish va takroran uzatish

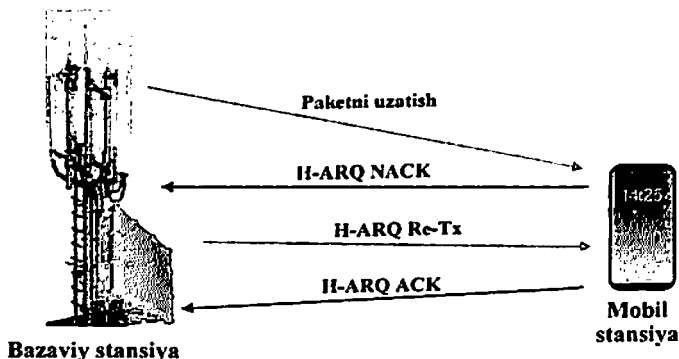
Dispatcherlashtirish deganda tarmoq resurslarini foydalanuvchilar orasida taqsimlash jarayoni tushuniladi. Dispatcherlashtirishning maqsadi aloqa sifati va tizimning umumiy unumdorligini muvozanatlashtirish hisoblanadi. LTE texnologiyasida dinamik va statik dispatcherlashtirish koʻzda tutilgan. Dinamik dispatcherlashtirish aloqa kanalining joriy holatiga bogʻliq resurslarni taqsimlaydi. U nisbatan yuqori aloqa sharoitlariga ega boʻlgan vaqt va chastota resurslaridan foydalanish bilan oshirilgan tezliklarda (yuqori tartibli modulyatsiyalash, kanallarni kodlash darajasini kamaytirish, qoʻshimcha maʼlumotlar oqimlarini uzatish va kam takroran uzatishlar soni hisobiga) maʼlumotlarni uzatishni taʼminlaydi [23]. Shunday qilib, maʼlum bir hajmdagi maʼlumotlarni uzatish uchun kam vaqt talab etiladi.

Uncha katta boʻlmagan foydali yuklamaga ega boʻlgan paketlarni va bir xil vaqt oraliqlarida (masalan, IP-TV) uzatadigan xizmatlar trafigi uchun dinamik dispatcherlashtirish uchun zarur boʻladigan xizmat maʼlumotlarining hajmi foydali maʼlumotlari hajmi dan oshib ketishi mumkin. Bunday hollar uchun LTE texnologiyasida statik dispatcherlashtirish koʻzda tutilgan.

LTE texnologiyasida maʼlumotlarni ishonchli uzatish uchun Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) anʼanaviy takroriy uzatish tizimi ishlatiladi (10.23-rasm). LTE texnologiyasida uni ishlatilishining oʻziga xos xususiyati shundaki, bir vaqtda bir nechta (8 tagacha) HARQ-jarayonlari qoʻllanishi mumkin. Agar HARQ-jarayoniga bogʻliq maʼlumotlar (subadr) muvaffaqiyatli kelsa, qabul qilgich maʼlumotlarni muvaffaqiyatli qabul qilish haqida ACK / NACK xabarini joʻnatadi.

Agar tasdiqlash yoki NACK xabari boʻlmasa, takroran uzatish boʻlib oʻtadi. Pastga yoʻnalishda takroran uzatiladigan subkadning joylashishi va parametrlari (signal-kod konstruksiyasining turi) boshqarish kanalida qoʻshimcha xabar qilinadi, bunda BS takroran

uzatish uchun optimal resursni tanlaydiga adaptiv uzatish bo‘lib o‘tadi. Yuqori kanalda, agar MS ACK xabarini olmagan bo‘lsa, u uzatishi takrorlashi shart. BS takroran uzatish uchun subkadrning parametrlari haqida MSni xabardor qilishi mumkin.



10.23-rasm. Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) takroran uzatish tizimi

Agar boshqarish kanali orqali bunday xabar qabul qilinmasa, MS qabul qilinishi tasdiqlanmagan dastlabki subkadrda kabi parametrlil subkadrni uzatish takrorlaydi, bu noadaptiv takroran uzatish deyiladi. Takroran uzatish LTE spetsifikatsiyasida ko‘rsatilgan (4 dan 9 gacha) subkadrilar sonidan keyin bo‘lib o‘tadi, u duplekslash turi, radiokadrning turi, TDD usulida kanallarni taqsimlash sxemasi va noto‘g‘ri qabul qilingan subkadrning raqamiga bog‘liq bo‘ladi.

10.5. LTE tarmog‘i arxitekturasi

LTE texnologiyasi uchun 3GPP konsorsiumi yangi tarmoq infratuzilmasi - SAE (System Architecture Evolution) arxitekturasini (10.24-rasm) taklif qildi. SAE konsepsiyasining maqsadi va mohiyati IP asosidagi har qanday xizmatlardan keng tijorat maqsadlarida foydalanishni samarali qo‘llab-quvvatlash va 3GPP (GSM, UMTS, WCDMA va boshqalar) standartlariga mos kelishi shart bo‘lmagan simsiz ulanish tarmoqlari orasida harakatlanishida abonentga uzluksiz xizmat ko‘rsatishni ta‘minlashdan iborat [21].

harakatlanishida mobillikni ta'minlanishiga talab tufayli ishlab chiqilgan.

Funksional elementlarni tarmoq apparaturalari orasida turlicha taqsimlash mumkin. Masalan, 3GPP-yakor abonentni boshqarish moduli bilan bir joylashtirishga ruxsat beriladi (lekin talab qilinmaydi). Xuddi shunday, MME va UPE modullari birlashtirilishi yoki tarmoqning turli tugunlarida amalga oshirilishi mumkin.

SAE arxitekturasining muhim xususiyati shundaki, foydalanuvchilar ma'lumotlari to'g'ridan-to'g'ri bazaviy stansiyalar orasida ham simli, ham simsiz aloqa (X2 interfeysi) orqali uzatilishi mumkin. Bu, ayniqsa, foydalanuvchini BSLar orasida choksiz tezkor qayta ulanishi uchun xendoverda juda muhim. Albatta, ma'lumotlarni BSLar orasida va transport IP-tarmog'ining shlyuzlari orqali uzatish mumkin. BSLar orasida ma'lumotlarni to'g'ridan-to'g'ri simsiz uzatish imkoniyati, aslida, SAE arxitekturasiga mesh-tarmog'ining funkcionalligi qo'yilganligini anglatadi.

3GPP Release 8 hujjatlarida xizmat sifatini ta'minlash, tarmoqni tanlash va identifikatsion ma'lumotlardan foydalanishga katta ahamiyat berilgan. Masalan, Wi-Fi va sotali aloqa tarmoqlarida ishlash uchun mo'ljallangan ko'p modali terminallarning paydo bo'lishi turli ulanish variantlarini qo'llash bilan abonentlarga xizmat ko'rsatish imkoniyatini beradi. Shu munosabat bilan SAE arxitekturasida abonentga zarur bo'ladigan xizmatlarni taqdim etish uchun eng qulay infratuzilmani tanlash mexanizmlari ko'zda tutilgan.

SAE arxitekturasini ishlab chiquvchilar ta'kidlaganidek, ular taklif qilgan arxitekturaviy o'zgartirishlar VoIP yoki onlayn interaktiv o'yinlar kabi dasturlar uchun juda muhim bo'lgan ma'lumotlar uzatishdagi kechikishlarni sezilarli darajada kamaytiradi.

Xususan, foydalanuvchilar ma'lumotlarini uzatishda radiotarmoqdagi kechikish 10 msdan oshmasligi kerak (uncha katta bo'lmagan tarmoq yuklamasida qisqa IP-paketlar uchun 5 ms). Bu ko'rsatkichlar eng ilg'or 3G tarmoqlariga qaraganda kamida 50% yaxshiroq hisoblanadi.

10.6. LTE-Advanced texnologiyasining xususiyatlari

LTE Advanced 3GPP tomonidan Long Term Evolution (LTE) standartini takomillashtirish sifatida standartlashtirilgan.

2009 yil oxirida rasmiy ravishda 4G tizimiga nomzod sifatida Xalqaro elektraloqa ittifoqining Telekommunikatsiyalarni

standartlashtirish sektoriga taqdim etildi. LTE Advanced ITU tomonidan ma'qullangan va 3GPP tomonidan 2011 yil mart oyida yakunlangan [22].

LTE-Advanced texnologiyasi WiMAX 2 bilan birgalikda 2012 yilda Jenevada bo'lib o'tgan konferensiyada Xalqaro elektr Aloqa Ittifoqi tomonidan 4G to'rtinchi avlod simsiz aloqa standarti sifatida tan olingan.

LTE-Advanced Xalqaro elektr Aloqa Ittifoqi to'rtinchi avlod tarmoqlarining rasmiy maqomi – "IMT-Advanced" sertifikatini bergan 3GPP 10-versiyasi spetsifikatsiyasining nomi hisoblanadi. Avvalgi LTE versiyalari 4G texnologiyasi hisoblanmaydi.

Spektrni agregatsiyalash imkoniyati LTE-Advanced texnologiyasining eng muhim xususiyati hisoblanadi va dastlab LTE tizimiga qo'yilgan masshtablanadigan kenglikdagi kanallar to'plami shaklida spektrdan foydalanishning qo'shimcha tez moslashuvchligini ta'minlaydi.

Bu muhim masalaga bog'liq qator jihatlarni ko'rib chiqamiz. Birinchidan, ITU talablari va 3GPP standartlarida e'lon qilingan 1 Gbit/s tezlikda ma'lumotlarni uzatish tezligiga erishish uchun LTE-Advanced texnologiyasida kanalning polosasini sezilarli darajada kengaytirish kerak. Bunday yechim eng ehtimolli va bo'lishi mumkin hisoblanadi, chunki LTE texnologiyasida mavjud bo'lgan spektral samaradorlik ko'rsatkichlarining sezilarli yaxshilanishi hisobiga tizimning o'tkazish qobiliyatini oshirish ehtimoli kam edi. Shu munosabat bilan LTE-Advanced texnologiyasida kanal kengligining yuqori chegarasi 100 MGs o'rnatilgan, ya'ni juda keng polosa tanlangan.

Ikkinchidan, deyarli butun dunyoda spektrning bu kenglikdagi bo'sh polosalarining yo'qligi tufayli 3GPP standartlariga bir nechta chastotalar polosalarini agregatsiyalash (birlashtirish) imkoniyatini qo'yilgan, bu yana tashuvchi chastotalarni agregatsiyalash deyiladi.

Oldingi texnologiyalarga qaraganda LTE-Advanced texnologiyasiga ancha qat'iy talablar qo'yildi, ularga quyidagilar kiradi:

- jahon bozori miqyosida sezilarli iqtisodiy samaradorlik va sifatga ega bo'lgan yuqori tezlikli xizmatlarning keng doirasini taqdim etish uchun yuqori funktsionallik darajasi;

- boshqa radioulanish tizimlari bilan o'zaro ta'sirlashish imkoniyati, Shu jumladan LTE (Rel'8) tizimi bilan to'liq moslashuvchanlik;

– xalqaro miqyosda abonentlar qurilmalarining uyg'unligi va moslashuvchanligi;

– butun dunyo bo'ylab roumingni amalga oshirish;

– 40 MGsgacha kanal kengligini ta'minlash;

– Downlink yo'nalishda 3 Gbit/s va Uplink yo'nalishda 1,5 Gbit/s tezlikda ma'lumotlarni uzatish tezligini ta'minlashi mumkin bo'lgan kengroq kanal polosasini (100 MGs gacha) tashkil etish imkoniyati;

– Downlink kanallarda 4x4 MIMO bo'lganda 15 bit/s/Gsgacha va Uplink kanallarda 2x4MIMO bo'lganda 6,75 bit/s/Gsgacha spektral samaradorlikni ta'minlash.

– Downlink kanallarda 8 ta uzatish MIMO antennalaridan foydalanish.

LTE Advanced tarmoqlarida agregatsiyalash variantlari va tashuvchilarni chastota bo'yicha surish

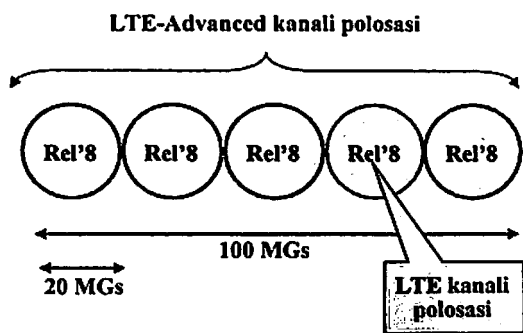
LTE tarmoqlarida qo'llaniladigan signallarni shakllantirish va kodlash usullari saqlanishida LTE Advanced tarmog'i radiointerfeysi kanallarida ma'lumotlarni uzatish tezligini pastga/yuqoriga yo'nalishlarda 1 Gbit/sgacha oshirishga 3GPP talablarini bajarilishi uchun LTE Advanced tarmog'ida yangi agregatsiyalash (guruhlashtirish) prinsipi asosida shakllantirilgan keng polosali chastotalar kanallardan foydalanish zarur. Bu shartni bajarilishi LTE texnologiyasidan LTE Advanced texnologiyasiga o'tishda (rivojlantirishda) qurilmalarning moslashuvchanligi va izchilligini ta'minlaydi. LTE Advanced (Release 10) tarmoqlarida chastotalar kanallarni agregatsiyalash prinsipi LTE tarmog'ining N chastotalar kanallarining spektrlarini 3GPP texnik spetsifikatsiyalarida aniqlangan chastotalar resurslari va chastotalar diapazonlaridan foydalanishning turli ko'rinishlari uchun birlashtirishdan iborat. Bunda LTE Advanced tarmog'ining spektral samaradorligi LTE tarmog'ining (Release 8) spektral samaradorligiga nisbatan oshmaydi [22].

LTE Advanced texnologiyasining imkoniyatlari komponentli tashuvchilari (carrier aggregation) deyiladigan LTE tarmog'ining asosiy chastotalar kanallarini agregatsiyalash tufayli LTE (Release 8) texnologiyasiga qaraganda kengroq. Bunda kengligi 100 MGsgacha bo'lgan kenglikdagi ma'lumotlarni keng polosali uzatish kanalini yaratish va mos murakkab signal spektrini shakllantirish uchun ikkita yoki undan ortiq komponentli tashuvchilari agregatsiyalanadi. Bu holda

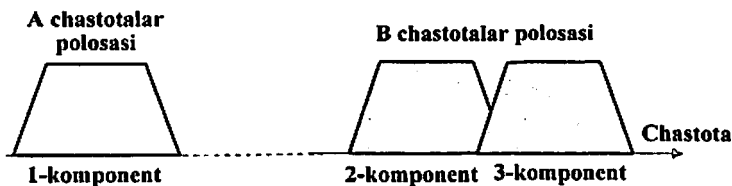
LTE Advanced tarmoqlaridagi abonentlar terminallari bir vaqtda bir yoki bir nechta komponentli tashuvchilarni qabul qilishi kerak (terminallarning o'tkazish qobiliyatiga bog'liq ravishda).

Komponentli tashuvchilarni agregatsiyalash uchun 3GPPda spetsifikatsiyalangan radiokanallarga talablarda ikkita agregatsiyalash imkoniyatlari – bir-birlariga qo'shni va qo'shni bo'lmagan LTE chastotalar kanallarini agregatsiyalash aniqlangan. LTE Advanced tarmoqlarida komponentli tashuvchilarni shakllatirishda ishlatiladigan agregatsiyalash uchun ruxsat etilgan chastotalar kanallari mos chastotalari diapazonlari - uchun LTE chastotalar kanallari kengligi qiymatlari- 1,4 MGs, 3 MGs, 5 MGs, 10 MGs, 15 MGs va 20 MGs polosalariga ega.

10.25-rasmda beshta yonma-yon chastotalar diapazonlarini agregatsiyalashga misol keltirilgan bo'lib, unda 20 MGs kenglikdagi polosalar (LTE kanallari) yonma-yon joylashgan. Bu holda agregatsiyalangan polosaga bitta bazaviy stansiyaning mustaqil qabul qilgichi orqali ishlov berilishi mumkin. Bundan tashqari, 10.26-rasmda ko'rsatilgandek, kanalning agregatsiyalangan polosalari radiochastotalar spektrining turli qismlarida joylashgan komponentlardan amalga oshirilishi mumkin.



10.25-rasm. LTE-A kanalining agregatsiyalangan polosasi

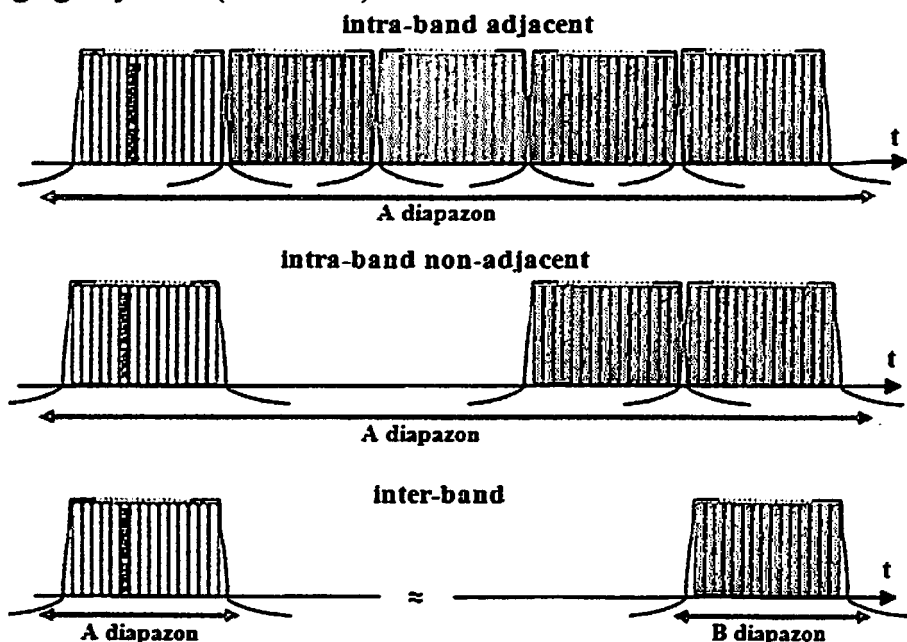


10.26-rasm. LTE-Advanced kanalini turli chastotalar polosalaridan agregatsiyalash

LTE tizimi bilan teskari moslashuvchanlikni ta'minlash uchun kanal polosasini agregatsiyalash LTE uchun standartlashtirilgan (identifikatsiyalangan) bir nechta polosalarni birlashtirish hisobiga amalga oshirilishi kerak. Bunda LTE-Advanced abonentlar terminali 10.26-rasmda tasvirlangan bir necha nimkanal komponentlarini, shu bilan bir vaqtda LTE terminali esa faqat bitta komponentni qabul qiladi.

LTE-Advanced tizimida uch turdagi chastotaviy komponentlardan spektrni darajalashtirishning bir nechta toifalari mavjud (10.27-rasm):

- bitta chastotalar polosasi ichida qo'shni komponentlarni agregatsiyalash (intra-band adjacent);
- bitta chastotalar polosasi ichida qo'shni bo'lmagan komponentlarni agregatsiyalash (intra-band non-adjacent);
- turli chastotalar polosalarida (diapazonlarida) komponentlarni agregatsiyalash (Inter-band).



10.27-rasm. LTE-Advanced texnologiyasida chastotalar kanallarini agregatsiyalash prinsipi

Nazorat savollari

1. Tashuvchi signallarning ortogonaligi deganda nima tushuniladi?
2. OFDM-signalning shakllanishini tushuntiring.
3. Murakkab tarkibiy OFDM-signalning olinishi sxemasini tushuntiring.
4. OFDM texnologiyasining afzalliklari nimada?
5. OFDMA ko'p tomonlama ulanish qanday amalga oshiriladi?
6. LTE pastga kanalida signalni shakllantirilishi sxemasini tushuntiring.
7. OFDM va SC-FDMA orasidagi farq nimadan iborat?
8. SC-FDMA-signalni shakllantirilishining o'ziga xos xususiyatlarini tushuntiring.
9. Ma'lumotlarni ko'p antennali uzatish texnologiyasini tushuntiring.
10. SAE arxitekturasini keltiring va tushuntiring.
11. LTE-Advancedning o'ziga xos xususiyatlari nimalardan iborat?
12. LTE Advanced tarmoqlarida komponentlar tashuvchilarni agregatsiyalash va chastotaviy ajratish variantlarini ayting.

11. 5G HARAKATDAGI ALOQA SIMSIZ TIZIMLARI STANDARTLARI

11.1. Mobil tarmoqlarning 5G texnologiyalariga rivojlanishi

5G 4G standartlaridan keyingi avlod telekommunikatsiya standartlari deyiladigan sotali aloqa tarmoqlarining beshinchi avlodi hisoblanadi. 5G telekommunikatsiya tarmoqlari 4G tarmoqlarida vujudga keladigan muammolarni yechishi kerak. Sotali aloqa tizimlarining avlodlari 11.1-jadvalda keltirilgan [26].

11.1 -jadval

Sotali aloqa tizimlarining avlodlari

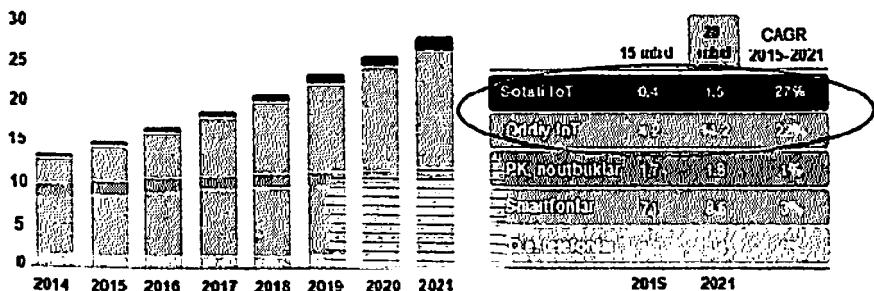
Avlod	Standartning nomi
0G	RTT, MTS, IMTS, AMTS, Mobitex, Autotei PALM, ARP
1G	NMT, AMPS, Hicap
2G	GSM, DEN, D-AMPS, IS-95, PDC, CSD, GPRS, HSCSD,
2.75G	EDGE/EGPRS, CDMA2000 (1xRTT)
3G	UMTS (W-CDMA, FOMA), CDMA2000, TD- SCDMA,
3.5G	UMTS (HSPA. HSDPA. HSUPA), CDMA2000 (EV-DO
3.75G	UMTS (HSPA+), CDMA2000 (EV-DO Rev.B 3xRTT)
4G	WiMAX , LTE
5G	WiMAX , LTE, CDMA

Yaratilishi momentidan buyon sotali aloqa tarmoqlari uzoq rivojlanish yo'lidan o'tdi. Yangi turdagi qurilmalar - smartfonlar, planshetlar, kengaytirilgan reallik qurilmalari, dronlar va boshqalar paydo bo'ldi. Mobil texnologiyalarning imkoniyatlari ovozli xizmatlar doirasidan chiqdi va yangi ma'lumotlar almashlash usullari yaratilgan. Bu butun dunyo bo'ylab tarmoq traficingining ortishiga olib keldi. Aloqa tarmoqlariga ulangan qurilmalar sonining ortishi 11.1-rasmda ko'rsatilgan.

5G mavjud LTE texnologiyasidan keyin keladigan telekommunikatsiya standartlariga muvofiq ishlaydigan mobil aloqa avlodi hisoblanadi. Tezliklarning oshishi ilgari ishlatilmagan yuqori chastotalar diapazonlariga o'tishga bog'liq bo'ladi. Masalan, uydagi Wi-Fi tarmog'ining chastotasi 2,4 gigagers yoki 5 gigagers, mavjud

mobil tarmoqlarning chastotalari esa 2,6 gigagersgachani tashkil etadi. Ammo, 5G haqida gap borganda, darhol o'nlab gigagerslar haqida aytiladi, mos ravishda ma'lumotlarni uzatish tezligi ko'p marta oshadi. Umuman olganda tarmoq yuksizlanadi.

Ulangan qurilmalar (mrd)



11.1-rasm. Tarmoqqa ulangan qurilmalar sonining o'sishi

5G tarmoqlarida to'siqlardan yaxshi o'tmaydigan millimetrlilik to'lqinlaridan foydalaniladi, shu sababli tarmoq arxitekturasi o'zgaradi. Oldin aloqa katta minoralar uzoq masofalarga ta'minlangan, endi hamma joylarda ixcham va past quvvatli minoralarni o'rnatish kerak bo'ladi.

LTE texnologiyasidan farqli ravishda 5G tarmoqlari spektrning uchta turli diapazonlarida ishlaydi. Past chastotali spektrni 1 GGsdan past diapazon sifatida ta'riflash mumkin. Past chastotali spektr katta qamrab olish va kirishni ta'minlaydi, katta kamchilik mavjud, ma'lumotlarning eng yuqori uzatish tezligi 100 Mbit/sdan oshmaydi.

Shuning uchun 5G tarmoqlarini raqamli o'zgarish va raqamli iqtisodiyotning muhim tarkibiy qismlaridan biri deb hisoblash mumkin.

5G texnologiyalari va yechimlarini standartlashtirish 2021 yilga qadar tugatilishi kerak, shuning uchun 5G atamasi kelajakda faqat IMT2020 to'liq ko'lamli yechimining tarkibiga kiradigan qisman yechimlarni bildiradi. Bunday yechimlar allaqachon turli mamlakatlarda qurilgan, ammo ular hali ham mahalliy va testlash xarakteriga ega va IMT2020 tarmoqlarining barcha rejalashtirilgan funksiyalarini ta'minlamaydi.

5G texnologiyalarini standartlashtirish bo'yicha tashkilotlar

3GPP (3rd Generation Partnership Project) turli xil telekommunikatsiya standartlarini ishlab chiqadigan yettita tashkilotlar uyushmasi hisoblanadi, unga o'z navbatida boshqa hamkorlar ham

kiradi. 3GPP uyushmasining vazifasi texnik talablarni shakllantirish, takliflarni baholash va standartlarni yakuniy qabul qilish hisblanadi. 2017 yil o'rtalarida umumiy standartning "Release 15" versiyasi qabul qilindi. 2020 yilning iyunida 5G NR "Release 16" qabul qilinadi, u 5G avlodning ikkinchi standarti bo'lib, yangi xizmatlar, spektr va tarmoqlarni qurilishi hisobiga 5G bilan qamrab olishni olishni sezilarli kengaytiradi. Bu butun mobil aloqa va kengroq vertikal ekotizim uchun muhim bosqich hisoblanadi, chunki bu yangi 5G spetsifikatsiyalari to'ralami mobil keng polosali ulanishning an'anaviy xizmatlari chegaralaridan tashqaridagi 5G avlodning ko'plab yangi imkoniyatlarini ochadi. Release 16 nafaqat 5G tizimlarining unumdorligi va samaradorligini oshirish uchun Release 15ning puxta texnologik asosini mustahkmlaydi, balki yangi sohalarni o'zgartirish uchun asosiy texnologiyalarni taqdim etadi [26].

ETSI (European Telecommunication Standard Institute), Yevropa telekommunikatsiya standartlari instituti 3GPP a'zosi hisoblanadi va 5G standartlarini ishlab chiqishda eng aktiv ishlamoqda.

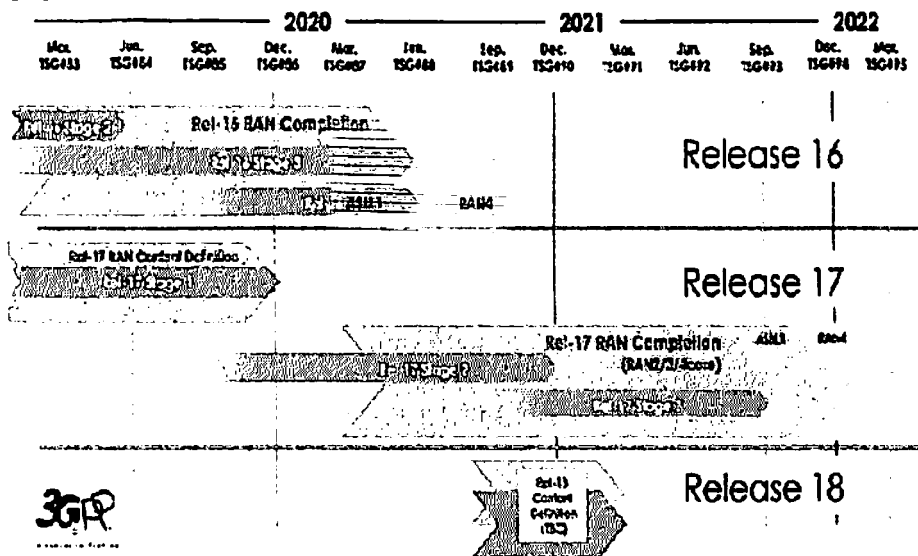
IETF (Internet Engineering Task Force) **NFV** (Network Function Virtualization) tarmoq funksiyalarini virtullashtirishni qo'llash uchun IP-protokolni modernizatsiyalash yechimlarini ishlab chiqadi. Masalan, IETF 5G arxitekturasi uchun virtullashtirilgan komponentlarini kobinatsiyalaydigan, masalan bazaviy stansiyalar, xizmatlar shlyuzlari va ma'lumotlar paketlarini 5G arxitektura komponentlarini bitta marshrutga birlashtiradigan **SFC** (Service Function Chaining) servislar funksiyalarini birlashtirish texnologiyasini ishlab chiqdi. Bu **VNF** (Virtual Network Functions) virtual tarmoq funksiyalarini dinamik yaratish va birlashtirishga imkon beradi. IETF 3GPP bilan uzviy aloqada ishlaydi.

ITU (International Telecommunication Union) Jenevada joylashgan BMTning telekommunikatsiya texnologiyalarining keng doirasini standartlashtirish bilan shug'ullanadigan agentligi hisoblanadi. Xususan, u 5G tarmoqlari uchun radiochastota spektrini taqsimlash bo'yicha ishlarni muvofiqlashtiradi.

Uchta asosiy muvofiqlashtiruvchi tashkilotlardan tashqari, qator boshqa tashkilotlar ham mavjud, ularda **IMT2020 (5G)** standartlarini ishlab chiqish bo'yicha tizimli amaliy ishlar olib borilmoqda.

5GPPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) 5G texnologiyalarini standartlashtirish bo'yicha yyetakchi hamkorlardan biri hisoblanadi (11.2-rasm). Tashkilot 5G tarmog'iga talablarni ishlab

chiqish bo'yicha ulkan maqsadlarni, masalan, tarmoq sig'imini 1000 barobarga oshirish, foydalanuvchilar qurilmalarining energiya iste'molini 90 foizga qisqartirish, yangi xizmatlarni yaratish vaqtini sezilarli qisqartirish, to'liq va xavfsiz tarmoq bilan qamrab olish va ma'lumotlar uzatishdagi juda kichik kechikishlar va boshqa talablarni qo'yadi (11.3-rasm).



11.2-rasm. 3GPP uyushmasida 5G texnologiyalarni standartlashtirish yo'l xaritasi

NGMN (Next Generation Mobile Networks) Alliance uyushmasi keyingi avlod mobil tarmoqlar uyushmasi bo'lib, u 5G yechimlarining to'liq spektrini standartlashtirish bilan shug'ullanadi. Uyushma tarkibiga Amerikaning yyetakchi operatorlari - AT&T, U.S. Cellular va Verizon rahbariyati kiradi. Ko'ratilganlardan tashqari, 5G Americas, Small Cell Forum kabi sanoat va hududiy tashkilotlar ham mavjud bo'lib, ular 5G yechimlarini ishlab chiqish va standartlashtirishga katta hissa qo'shmoqda [22].



**Tezlik optik toladagiga
tezlikka teng**

**Ko'chirish va yuklashda
bir necha Gbit/s
maksimum tezlik**



**Tarmoqning bir tekis
qamrab olishi**

**Hatto yomon sharoitlarda
100 Mbit/s tezliklarda
ishonchli ishlash**



Kichik kechikish

**Interaktiv kontent uchun
ms, buferlash/trisibga
talablarning kamayishi**



**Bitni uzatish past
narxi**

**Sezilarli past, bu
ma'lumotlarni uzatish uchun
arzon tariflarni joriy etishga
imkon beradi**

10x

**Tarmoqning
o'tkazish
polosasini
ortishi**

10x

**Tarmoqdagi
umumiy
kechikishning
kamayishi**

10x

**Boq'lanishlar
zichligini
ortishi**

3x

**Spektr
samaradorligini
ortishi**

100x

**Trafik
tug'lmni
ortishi**

100x

**Tarmoq
samaradorligini
ortishi**

11.3-rasm. 3GPP standartining asosiy talablari

AT&T, Verizon va boshqalar kabi yirik aloqa operatorlari ham standartlarni ishlab chiqishda katta hissa qo'shmoqda. Ular o'zlarining ishlarini ETSI va ITU bilan muvofiqlashtiradilar, lekin ba'zida ular bu tashkilotlardan oldinda bo'ladi. Shuning uchun bu operatorlarning qarorlari ko'pincha ETSI va ITU standartlarining asosida yotadi.

Oldingi avlodlar mobil aloqa tarmoqlari quyidagi vazifalar va funksiyalarga ega edi:

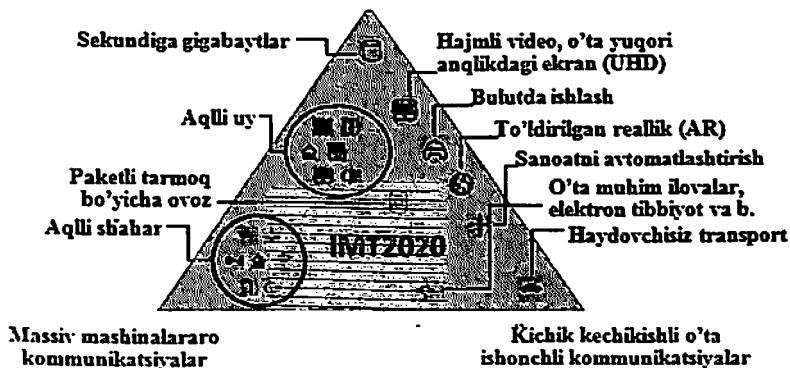
- 1G: Analog tarmoq bo'yicha nutqni uzatish xizmatlari.
- 2G: Raqamli tarmoq bo'yicha nutqni uzatish xizmatlari, past tezlikli ma'lumotlar uzatish xizmatlari (GPRS, EDGE).
- 3G: IP tarmoq bo'yicha ovozni uzatish imkoniyatiga ega bo'lgan yuqori tezlikli ma'lumotlar uzatish xizmatlari (HSPA), MBB (Mobile Broadband) Internetga mobil ulanish.
- 4G: LTE, LTE-A asosida mobil keng polosali ulanish, ovozni uzatish (VoLTE).

5G tarmoqlari oldingi avlodlar mobil tarmoqlarining cheklangan funksionalini sezilarli kengaytiradi. 5G tarmoqlarining asosiy funksional o'ziga xos xususiyatlari quyidagilar hisoblanadi:

- eMBB (enhanced MBB) takomillashtirish mobil keng polosali ulanishni takomillashtirish;
- ULLRC (Ultra Low Latency Reliable Communication) past kechikishli o'ta ishonchli kommunikatsiyalar;
- Massive IoT/IoT, mMTC (massive Machine Type Communication) massiv mashinalararo kommunikatsiyalar.

Bu uchta asosiy funkcionallar turlari asosida IMT2020 (5G) tarmoqlarining yanada turli-tuman xizmatlari va imkoniyatlari quriladi, ulardan eng o‘ziga xoslari 11.4-rasmda tasvirlangan.

Takomillashtirilgan mobil keng polosali ulanish (eMBB)



11.4-rasm. IMT2020 (5G) tarmoqlarining turi-tuman xizmatlari va imkoniyatlari

Sekundiga gigabaytlar. 5G tarmoqlari turli radioulanish texnologiyalari orqali va ishlatiladigan yangi 5G NR (New Radio) radiochastotalar spektrlari yordamida ma'lumotlarni uzatish tezliklarini sezilarli oshirishi mumkin. Foydalanuvchi ham turli servislardan uyda foydalanish uchun, ham korxonalar maqsadlari (Immersive Telepresence, Industrial IoT va boshqalar) uchun deyarli cheklanmagan o'tkazish polosasini oladi [22].

Aqlli uy. Turli IoT servislarining butun spektri «Aqlli uy» (Smart Home) va «Aqlli bino» (Smart Building) – videokuzatuv, maishiy texnikani boshqarish va avtomatlashtirish, xavfsizlik, kontentni saqlash, klimatika va boshqalar yechimlari uchun mumkin.

Aqlli shahar. «Aqlli shahar» bu «Aqlli uy» servislarini funkcionai va spektrini gorizontaal va vertikal mashtablashtirish hisoblanadi.

«Aqlli shahar»ning asosiy servislarini xavfsiz shahar, e-Government elektron hukumat, e-Health elektron sog'liqni saqlash, e-Education elektron ta'lim, e-Bank elektron banking, Smart Meters TJKX ko'rsatisharini elektron to'plash, Smart Grid «aqlli elektr tarmoqlar» va boshqalar hisoblanadi.

Yangi 4K/8K videoxizmatlari. Hajmli video, o'ta yuqori aniqlikdagi ekran (UHD), bo'lish samarasi imkoniyati.

Bulutda ishlash. Servis nafaqat ma'lumotlarni bulut omborida saqlashga va undan olishga, balki bulutdan to'g'ridan-to'g'ri ishlaydigan amaliy dasturlardan foydalanish imkoniyatini, binobarin, ulardan istalgan qurilmada va istalgan joydan foydalanish imkoniyatini beradi. Bundan tashqari, API amaliy dasturlash interfeyslaridan foydalanish imkoniyati mavjud bo'lib, u orqali bulut servis-provayderlari 5G tarmog'i operatori abonentlariga o'z xizmatlarini taqdim etishi mumkin.

To'ldirilgan va virtual reallik (AR/VR). VR (Virtual Reality) virtual reallik servisi insonning sezgi organlariga, avvalo, ko'rish organlariga (VR-ko'zoynaklar) ta'sir qilish bilan insonni boshqa dunyoga ko'madi. AR (Augmented Reality) to'ldirilgan reallik servisi foydalanuvchi uchun real muhitni virtual predmetlar bilan kombinatsiyalaydi. Bu servislar nafaqat ko'ngil ochish, o'yinlar, "telebo'lish" rejimida virtual muloqot qilish uchun yaraydi, balki o'qitish jarayonini sezilarli yaxshilashi mumkin, bunda talabalar VR-ko'zoynaklar yordamida, masalan anatomiya bo'yicha ma'ruzada inson tanasining ichki tuzilishini yaqqol ko'rishi, usta sexda murakkab agregatni yig'ilishi tartibini o'rganishi mumkin va h.k..

Sanoatni avtomatlashtirish. 5G tarmoqlari IoT texnologiyalari bilan birga IIoT (Industrial Internet of things) sanoat datchiklari yordamida, shuningdek SI (AI, Artificial Intelligence) sun'iy intellekt yordamida ishlab chiqarishning avtomatlashtirilishi darajasini sezilarli oshirishi mumkin. Bunda real vaqt rejimida turli jinsli ma'lumotlarning katta hajmlarini (Big Data) real vaqt rejimida va olingan xulosalar (insights) asosida va mashinada hamda chuqur o'rganishdan (Machine learning, Deep learning) foydalanish bilan tahlil qilish

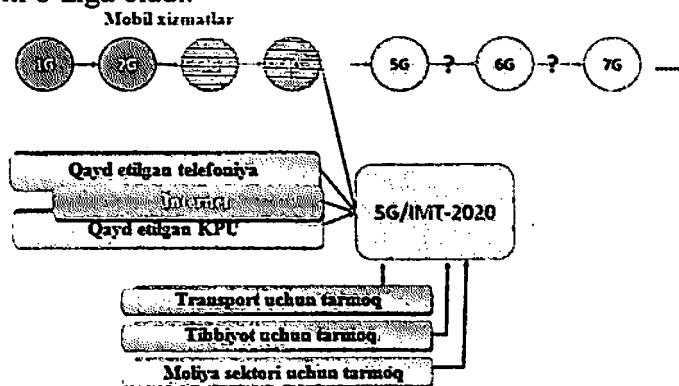
Biznes-muhim ilovalar (Mission Critical Applications). Bu ilovalarga, masalan, elektron tibbiyot (e-Health), favqulodda vaziyatlarda aloqa (Mission Critical Communication), Taktil Internet (Tactile Internet) va boshqalar kirishi mumkin.

Haydovchisiz transport (Driverless Vehicles). Haydovchisiz transport "Aqlli shahar" xizmatining qismi bo'lishi mumkin, lekin o'z platformasida taqdim etilishi mumkin. Unga nafaqat haydovchisiz avtomobillar (driverless cars), balki "aqlli qishloq xo'jaligi" uchun haydovchisiz traktorlar (Smart Agriculture), metro va shahar atrofi temir yo'llari uchun haydovchisiz poyezdlar, dronlar va boshqa jamoat va maxsus transport turlari kiradi. Bundan tashqari, 5G platformasida

ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems) haydovchiga yordam tizimlari amalga oshirilishi mumkin.

Ta'kidlash kerakki, 11.5-rasmda faqat 5G platformasining ayrim xizmatlari va yechimlarini ko'rsatilgan. Xizmatlar spektri birmuncha cheklangan va 4G tarmoqlarida kengaytirilgan oldingi avlodlar tarmoqlaridan farqli ravishda 5G platformalari sinergetik va masshtablanuvchanlik xarakteriga ega va bir marta beriladigan funksional bilan cheklanmagan [22].

Umuman olganda, aytish mumkinki, 5G tarmog'i nafaqat mobil aloqa xizmatlarini, balki qayd etilgan aloqa xizmatlari, shuningdek Internetga kichik kechikishli yuqori tezlikli ulanish va bundan tashqari, iqtisodiyotning vertikal sohalari uchun maxsuslashtirilgan va korporativ tarmoqlarni o'ziga oladi.



11.5-rasm. 5G/IMT2020 platformasining universalligi

Beshinchi avlod tarmoqlari katta miqdordagi trafik ishtirok etadigan mavjud xizmatlardan foydalanish sifatini yaxshilaydi.

11.2. 5G tarmoq arxitekturasi

Mobil aloqaga yanada ortib borayotgan talablarni qoniqtirish uchun 5G texnologiyalari uchun "yangi 5G radio" 5G New Radio (5G NR) umumiy nomi ostida birlashtirilgan texnologiyalar ishlab chiqilgan. 4G tarmoqlardagi radiointerfeysga taqqoslaganda 5G NR bir necha muhim afzalliklarga ega [22].

5G NR texnologiyasini ishlab chiqish 5G tarmoqlarga talablarni hisobga olish bilan va 5G tarmoqlarni to'liq masshtabli qurish momentigacha mumkin bo'ladigan eng yaxshi texnologiyalarni qo'llanishi bilan deyarli "noldan" boshlab olib borildi.

Shunday qilib, 5G NR texnologiyasida eng yangi modulyatsiyalash texnologiyalari, to'liqlarning shakllarini (waveforms) hosil qilish va RAT (Radio Access Technology) radioulanish texnologiyalari ishlatiladi, shu jumladan ular ma'lumotlarni yuqori uzatish tezliklari va 5G foydalanuvchilar qurilmalari batareyalarining xizmat ko'rsatish muddatini uzaytirishni ta'minlaydi.

5G NR texnologiyasiga dastlabki talablar 2017 yilning dekabrda tasdiqlangan 3GPP Release 15 standartida paydo bo'ldi va yakuniy variant Release 15 2020 yilning iyunida tasdiqlangan.

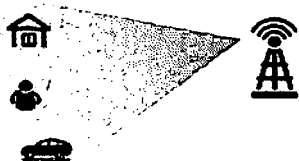
5G NR radiotexnologiyasining asosiy farqli o'ziga xos xususiyatlariga quyidagilar kiradi:

- **Radiospektrning yangi diapazonlarini** ma'lumotlarni uzatish tezliklariga talablar, qurilmalar soni, ko'p sonli 5G ilovalari trafingining ortishiga muvofiq qo'shish. 5G NR yangi diapazonlari 2,5 dan 40 GGsgacha diapazonda yotadi. 100 GGsgacha spektrdan foydalanish haqida muhokamar olib borilmoqda.

- **Optimallashtirilgan OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing)** – kanallar ortogonal chastota bo'yicha ajratiladigan multiplekslash) texnologiyasi. Bu texnologiya hozirda 4G/LTE-A texnologiyalari, shuningdek so'nggi Wi-Fi versiyalarida qo'llanadi.

- **Nurlarni shakllantirish (Beamforming)**. Bu faqat so'nggi yillarda konsepsiyadan amalga oshirishga o'tgan va 5Gning ko'plab afzalliklarini amalga oshira oladigan texnologiya hisoblanadi (11.6-rasm). Beamforming bazaviy stansiyadan radioto'liqlar nurini ham harakatlanadigan, ham qo'zg'olmas ma'lum qurilmalarga o'sha bir qurilmalarga yo'naltirilgan boshqa nurlarning ta'sirisiz yo'naltirish imkoniyatini beradi.

Standart antenna



Beamforming



Murakkabroq

11.6- rasm. Beamforming nurlarini shakllantirish

• **MIMO (Multiple Input Multiple Output).** MIMO hozirda Wi-Fi va 4G texnologiyalarida qo'llanayotgan kanalning o'tkazish polosasini oshirishga imkon beradigan signal fazoviy kodlash usuli hisoblanadi, 5G texnologiyasida, xususan, 5G gNodeB (gNB) bazaviy stansiyalaridagi MU-MIMO (Multi-User MIMO) ko'p foydalanishli rejimi sezilarli takomillashtirilgan, ularning antennalari nurlantiradigan elementlar matritsasi tashkil topadi. Bu aniq bir foydalanuvchi uchun signalning sathini kuchaytirish imkoniyatini beradi, shu bilan bir vaqtda bu signalni boshqa foydalanuvchilarning signallariga ta'sirini minimallashtiradi.

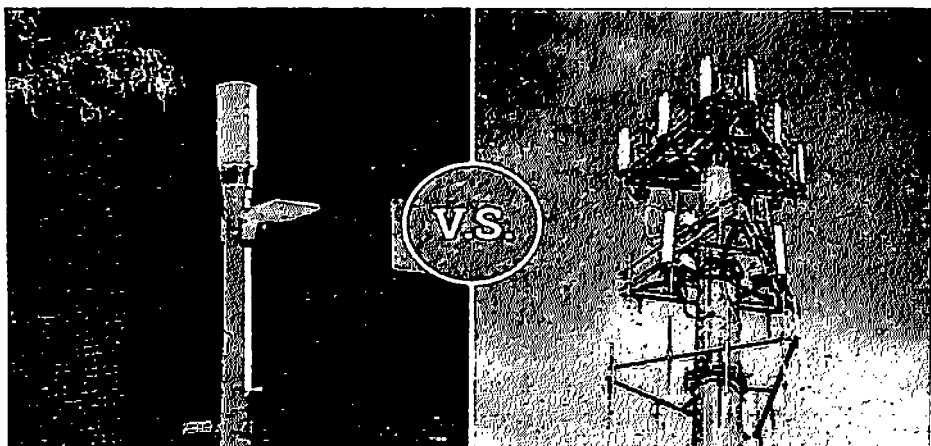
• **Spektrdan birgalikda foydalanish texnologiyasi (Spectrum sharing).** Mos tarzda taqsimlangan ko'plab radiochastotalar spektrlari ko'pincha samarali ishlatilmaydi. Bu masalani yechish uchun Spectrum sharing texnologiyasi ishlab chiqilgan.

• **Unifikatsiyalangan chastotalararo o'zaro ta'sirlashi (Unified design across frequencies).** Binobarin, 5G NR texnologiyasiga ko'plab yangi chastotalar diapazonlari qo'shilgan, bazaviy stansiyalar orasidagi xendoverda o'zaro ta'sirlashish o'zaro ta'sirlashish interfeysini ta'minlash muhim.

• **Kichik sotalar (Small cells).**

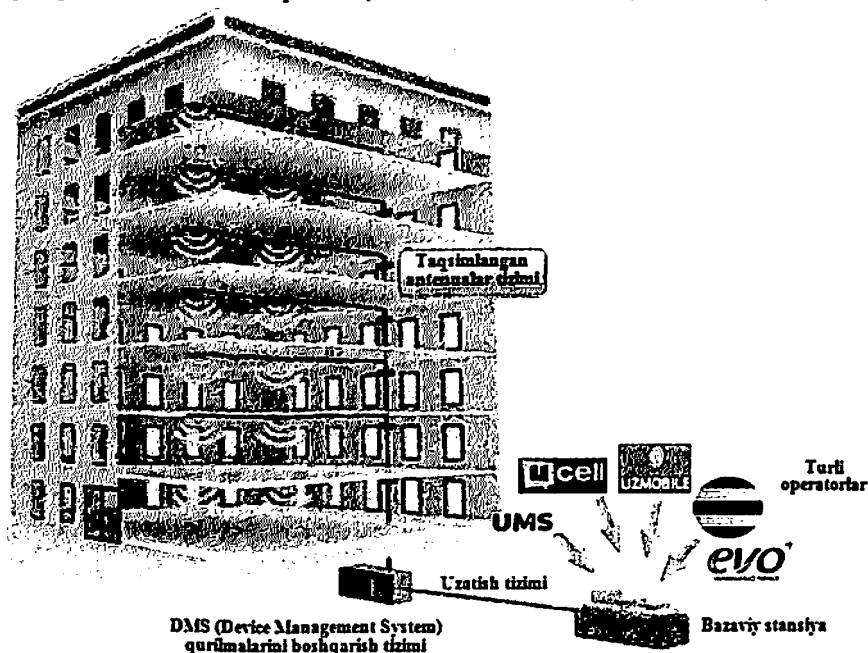
Tarmoq qamrab olishni zichlashtirish bazaviy stansiyalar soni ortishiga olib keladi. Shuning uchun Small Cells yechimi – o'rnatish va xizmat ko'rsatishda oddiy bo'lgan, uncha qimmat bo'lmagan, uncha katta bo'lmagan quvvatli bazaviy stansiyalar yechimi taklif etilgan. Ularni ko'chani yoritish machtalari, uylarning devorlari va boshqa obyektlarga o'rnatish mumkin. 5G tarmog'i antennalar orasidagi yuklamani qayta taqsimlash bilan ularning ishlashini samarali muvofiqlashtirishi mumkin (11.7- rasm).

Bunda bitta yoki bir necha bazaviy stansiyalar bilan ko'p qavatli uylarni deyarli qamrab olish bilan DAS (Distributed Antenna System) taqsimlangan antennalar tizimlaridan foydalanish mumkin. Radioblokli uncha katta bo'lmagan antennalarni eng yaxshi aloqa sifatini ta'minlash bilan deyarli har bir binoga joylashtirish mumkin.



11.7- rasm. Oldingi avlodlar tarmog'idagi Macro BTS oddiy bazaviy stansiyalariga small cells yechimining taqqoslanishi

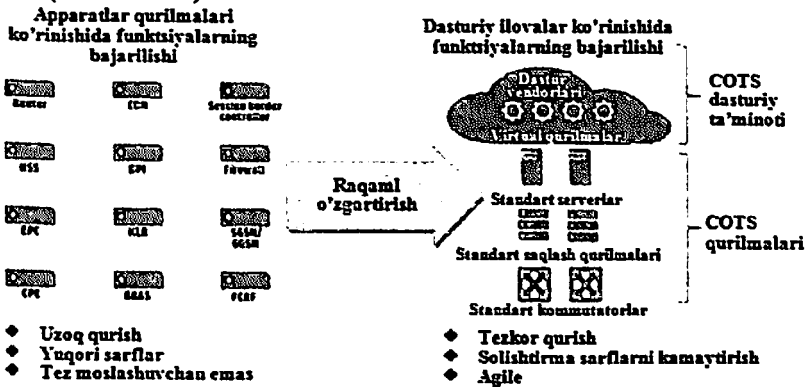
Yagona bazaviy stansiyalar va DAS infratuzilmasidan bir necha aloqa operatorlari bir vaqtda foydalanishi mumkin (11.8-rasm).



11.8-rasm. Butun binoga xizmat ko'rsatadigan DAS taqsimlangan antennalar tizimlari va yagona bazaviy stansiya

5G tayanch tarmog'ining (Core Network) arxitekturasi

5G tayanch tarmog'i arxitekturasi o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, apparatlar yechimlariga asoslangan an'anaviy "tarmoq arxitekturasi" tushunchasi 5G tarmog'ida o'z dolzarbligini yo'qotadi [22]. Shuning uchun 5G tarmog'i ko'pincha tarmoq emas, balki tizim yoki "platforma" deyiladi, bunda platforma apparatli emas, balki dasturiy bo'lishi nazarda tutiladi. Agar 1/2/3/4G tarmoqlari apparatli (qurilmali) yechimlar asosida qurilgan bo'lsa, u holda 5G platformasi dasturiy yechimlar, xususan, SDN (Software Defined Network) dasturiy-konfiguratsiyaanadigan tarmoqlar, shuningdek NFV (Network Function Virtualization) tarmoq funksiyalarini virtuallashtirish asosida quriladi (11.9- rasm).



11.9- rasm. 5G tarmog'ida SDN/NFV virtual platformasiga o'tish

5G tarmog'i funksiyalari NFV infratuzilmasida ishlaydigan VNF (Virtual Network Function) virtual dasturiy funksiyalarda amalga oshiriladi. Bu aytilishi bo'yicha o'xshash tushunchalari orasidagi farq VNF – bu funksiya, NFV – bu texnologiya ekanligidan iborat. O'z navbatida, NFV ma'lumotlar markazlarining (data Center, DC, ma'lumotlarga ishlov berish markazi, MIBM) fizik infratuzilmasida COTS (Commercial Off The Shelf) standart tijorat qurilmalari va dasturlari asosida amalga oshiriladi.

COTS qurilmalari uchta standart va nisbatan uncha qimmat bo'lmagan qurilmalar – server (hisoblash qurilmasi), kommutator (tarmoq qurilmasi) va ma'lumotlarni saqlash tizimini (saqlash qurilmasini) o'z ichiga oladi. Shunday qilib, mobil aloqa an'anaviy tarmoqlarining qurilmalari data-markazlardagi serverlar va VM virtual

mashinalarda (virtual machines) ishlaydigan dasturiy qurilmalarga almashtiriladi.

Dasturiy funksiyalarni malg oshirish uchun virtual mashinalardan tashqari, dasturiy konteynerlar (containers), shuningdek mikroservislar (microservice) dasturiy arxitekturas ham ishlatiladi.

4G tarmoqlardagi D-RAN (Distributed RAN) mobil ulanish tarmog'ining taqsimlangan arxitekturasi asta-sekin C-RAN (Centralized RAN) markazlashtirilgan arxitekturaga evolyutsiyalanadi.

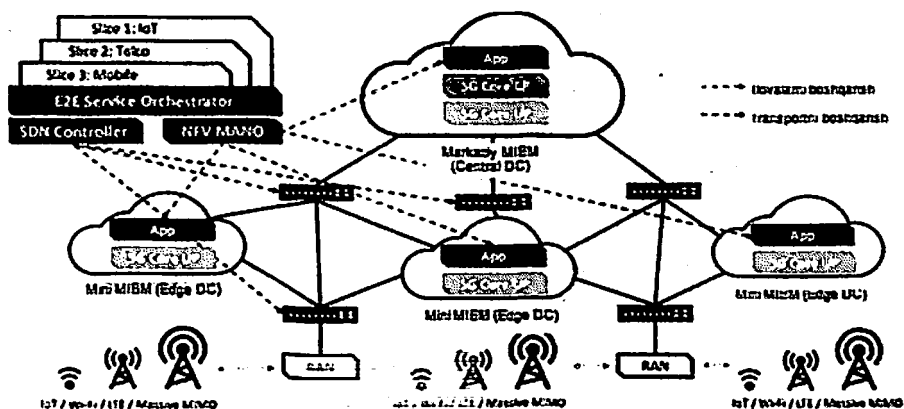
5G tarmog'i arxitekturasida tayanch tarmog'ining funksiyalari Central Cloud (Cloud RAN) markaziy bulutda VM virtual mashinalarda amalga oshiriladi (11.10- rasm).

5G tarmoqlarni rivojlantirishdagi muhim rolni chegarviy bulut (Edge Cloud), xususan, MEC (Mobile Edge Cloud) texnologiyasi, shuningdek "tuman buluti" (Fog Cloud) ham o'ynaydi.

NFV/SDN asosida tarmoqni virtuallashtirish 5G foydali funksiyalari (Network Slicing texnologiyasi) uchun ham zarur.

Network Slicing texnologiyasi tarmoq resurslarining yagona hajmi (to'plami) asosida turli RAT (Radio Access Technology) radioulanish texnologiyalari va turli xarakteristikalariga ega bo'lgan ma'lumotlarni uzatish muhitlari talab qilinadigan har xil 5G tarmoqlari turlari uchun tarmoqlarni mantiqiy bo'lishni amalga oshirishga imkon beradi. Bu, masalan, quyidagi xizmatlar bo'lishi mumkin:

- UHD yuqori sifatli video.
- Ovoz xizmatlari (5G Voice).
- Ko'p sonli datchiklar, sensorlar va ijrochi qurilmalarga ega bo'lgan IoT (Massive IoT).
- Haydovchisiz transport (V2X), elektron tibbiyot (Mission Critical IoT) kabi muhim ilovalar uchun IoT.
- Va ko'plab boshqalar.



11.10- rasm. 5G tarmog'ining umumiy arxitekturası

Network Slicing texnologiyasi asosida taqdim etiladigan bu barcha xizmatlar markaziy va chegaraviy bulut data-markazlari yagona fizik infratuzilmasida, shuningdek Massive IoT va IIoT sanoat IoT (Industrial IoT) uchun zarur bo'lgan "tuman" infratuzilmasida ishlaydi.

Bu bir marta yaratilgan dasturiy-apparatli infratuzilmadan takroran foydalanish, shuningdek uning mavjud resurslarini tez moslashuvchn qayta tayinlash imkoniyatini beradi. Bundan tashqari, bunday yondashish nafaqat tarmoqni qurishga kapital xarajatlarni, balki unga xizmat ko'rsatish operatsion xarajatlarini kamaytirishga imkon beradi.

11.3. LTE texnologiyalaridan 5G texnologiyalariga migratsiyalanish ko'rinishlari

Aloqa operatorlari eng yaxshi kutib oladigan 5G tarmoqlarni qurish strategiyasi infratuzilma, tugunlar va tarmoq elementlaridan maksimal qayta foydalanishda 4G va 5G tarmoqlarining uzoq vaqt birga ishlashidan iborat. Bu operatorlarga o'z tarmoqlarini inqilobiy emas, balki bir tomondan, LTE tarmoqlarini qurishga investitsiyalar va LTE tarmoqlarining radoqamrab olish keng zonasini saqlash bilan, boshqa tomondan, mijozlarga 5G texnologiyalariga yangi xizmatlarni eng yaxshi kutib olinadigan joylarda ko'rsatish bilan evolyutsion modernizatsiyalashga imkon beradi [22].

Bu strategiyani amalga oshirish uchun 3GPP 4G (LTE) va 5G (NR) texnologiyalarini joriy etishning bir necha bo'lishi mumkin

ko'rinishlarini (opsiyalarini) taklif etdi. Barcha opsiyalar ikkita guruhlariga bo'linadi:

- Standalone (SA) – faqat bitta radioulanish texnologiyasidan (LTE yoki NR – New Radio) foydalanishni ko'zda tutadi;

- Non-Standalone (NSA) – ham LTE, ham NR texnologiyalaridan foydalanish, bu boshlang'ich bosqichda 5G tarmoqlarni qurishni soddalashtiradi.

Non-Standalone ko'rinishi bo'yicha 5G tarmoqlarni qurish uchun 5G (gNb) bazaviy stansiyalari bilan o'zaro ta'sirlagi kengaytirilgan funksionalini qo'llash maqsadida 4G-LTE tarmoqlari bazaviy stansiyalarini eLTE (yoki enhanced LTE) darajasigacha modernizatsiyalash zarur. Bu ko'rinishni standartlashtirish (3GPP 15-reliiz doirasida) 2018 yilning yanvarida yakunlandi.

Non-Standalone ko'rinishlarni amalga oshirish uchun muhim jihat 3GPP orqali 12-reliizda spetsifikatsiyalangan va foydalanuvchilar terminallarini (UE) RRC_CONNECTED holatda bir vaqtda ikkita bazaviy stansiyalarga (Master eNb va Secondary eNb) ulanishini ko'zda tutadigan qo'sh ulanish (Dual Connectivity) konsepsiyasi hisoblanadi. Chastotalarni agregatsiyalashdan Dual Connectivity ulanishning asosiy farqi aynan X2 interfeys orqali ulangan va umumiy holda turli joylashish o'rinlarida bo'lgan ikkita turli bazaviy stansiyalarga ulanishdan iborat. Bunda quyidagi ikkita ishlatish sxemalari bo'lishi mumkin:

- split bearer – bu sxemada PDCP darajada virtual kanal foydalanuvchilar ma'lumotlari oqimi (user plane) mos ravishda ikkita Master eNb va Secondary eNb yo'nalishlarda ikkita kichik oqimlarga bo'linadi;

- switch bearer – bu sxemada foydalanuvchilar ma'lumotlari oqimi (user plane) Master eNb yo'nalishiga yoki Secondary eNb yo'nalishiga kommutatsiyalanishi (agregatsiyalashsiz) mumkin.

Non-Standalone opsiyaning ishlatilishi foydalanuvchilar terminallarining (UE) murakkabligiga qo'shimcha talablarni qo'yadi:

- ikkita modemlarni bir vaqtda ishlashini ta'minlash;

- qabul qilish buferining oshirilgan o'lchami;

- paketlarning kelishi tartibini qayta tiklash uchun PDCP darajasi protsessor resurslariga qo'shimcha yuklama (MCG split bearer rejimi bo'lganda).

Shuningdek ta'kidlash kerakki, 3, 4, 7, 8-opsiyalar uchun Xx interfeysdan foydalanish hisobiga foydalanuvchilar trafigi paketlarini uzatishga qo'shimcha kechikish kiritiladi.

3GPPda aniqlangan barcha opsiyalarni qisqacha ko'rib chiqamiz (11.1-jadval).

11.1- jadval

3GPPda aniqlangan barcha opsiyalar

	Opsiyalar											
	1	5	2	6	3	3a	8	8a	4	4a	7	7a
	SA				NSA							
Radioulaniş turi	E-		NR		F.-UTRAN.NR							
Tarmoq yadrosi turi	EPC	NG CN	NG CN	EPC	EPC				NGCN			
RAN CN interfeysi	SI	NG	NG	SI	SI				NG			
eNb→ng-eNb	Yo'	Ha	-	-	Yo'q				Ha			
Control Plane ishlov berish	E-UTRA		NR		E-UTRA		NR		NR		E-UTRA	
Trafikni bo'lish	-	-	-	-		EPC	gNb	EPC	gNb	EPC	cNb	EPC

Option 1 – EPC yadrosi va eNb bazaviy stansiyalar asosidagi klassik ajratilgan LTE tarmog'ining amalga oshirilishi hisoblanadi (3GPP 14- va oldinga relizlariga muvofiq). 5G servislar yaxshi kutib olinmaydigan geografik zonalarda ishlatiladi.

Option 5 – 5G/LTE (Option 4/4a) kombinatsiyalangan tarmoqqacha keyingi modernizatsiyalash imkoniyatiga ega bo'lgan ajratilgan LTE tarmog'ini yangi qurilishida (greenfield) dolzarb hisoblanadi. ng-eNb NGCN yadrosi va E-UTRAN radioulaniş tarmog'ining modernizatsiyalangan bazaviy stansiyalari ishlatiladi.

Option 2 – NGCN yadrosi va gNb bazaviy stansiyalari asosidagi ajratilgan 5G tarmog'i maqsadli yakuniy arxitekturasi hisoblanadi. LTE tarmoqlari bo'lmagan va ularni qurish maqsadga muvofiq bo'lmagan geografik zonalarda qo'llanadi.

Option 6 – ajratilgan 5G tarmog'ini, lekin mavjud LTE yadrosi (EPC) asosida qurishda, masalan, testlash zonalarini qurishda LTE

tarmoqlari bo'lmagan va ularni qurish maqsadga muvofiq bo'lmagan geografik zonalarda 5G maqsadli yakuniy arxitekturasiga yo'lda oraliq bosqich (Option 2) sifatida ishlatilishi mumkin.

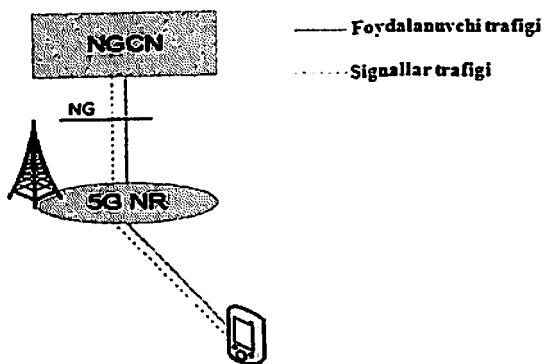
Option 3/3a – 4G-LTE tarmoqlari qurilgan geografik zonalarda 5G tarmoqlarini qurishning oldingi bosqichlarida (nuqtaviy radioqamrab olish uchun) dolzarb. NGCN yadrosining joriy etilishini talab qilmaydi (LTE tarmog'ining yadrosi – EPC ishlatiladi). Qo'sh ulanish texnologiyasiga asoslanadi. Foydalanuvchilar (User Plane) va signallar (Control Plane) trafiklarini tashiydigan E-UTRA/NR radioulaniş tarmoqlari va EPCni bog'laydigan interfeys sifatida S1 interfeys ishlatiladi. S1-MME terminallashtirish uchun yakor nuqtasi sifatida E-UTRAN radioulaniş tarmoqlari bazaviy stansiyalari (eNb) hisoblanadi.

Option 8/8a – Option 3/3adan Option 4/4agacha 5G/LTE maqsadli yakuniy arxitekturasiga yo'lda oraliq bosqich sifatida ishlatilishi mumkin. Option 3/3adan farqli ravishda S1-MME terminallashtirish uchun yakor nuqtasi sifatida NR (gNb) radioulaniş tarmoqlari bazaviy stansiyalari (eNb) hisoblanadi.

Option 4/4a – 5G/LTE kombinatsiyalangan tarmog'ining maqsadli yakuniy arxitekturasi hisoblanadi. Qo'sh ulanish texnologiyasi ishlatiladi. NGCN yadrosining joriy etilishini va LTE tarmog'i bazaviy stansiyalarini ng-eNbgacha modernizatsiyalashni talab qiladi. Qo'sh ulanish texnologiyasiga asoslanadi. Foydalanuvchilar (User Plane) va signallar (Control Plane) trafiklarini tashiydigan E-UTRA/NR radioulaniş tarmoqlari va NGCNni bog'laydigan interfeys sifatida NG interfeys ishlatiladi. NG-C terminallashtirish uchun yakor nuqtasi ENR radioulaniş tarmoqlari bazaviy stansiyalari (eNb) hisoblanadi.

Option 7/7a – 5G/LTE Option 4/4a maqsadli yakuniy arxitekturasiga yo'lda oraliq bosqich sifatida ishlatilishi mumkin. Undan farqli ravishda NG-C terminallashtirish uchun yakor nuqtasi E-UTRAN radioulaniş tarmoqlari bazaviy stansiyalari (eNb) hisoblanadi.

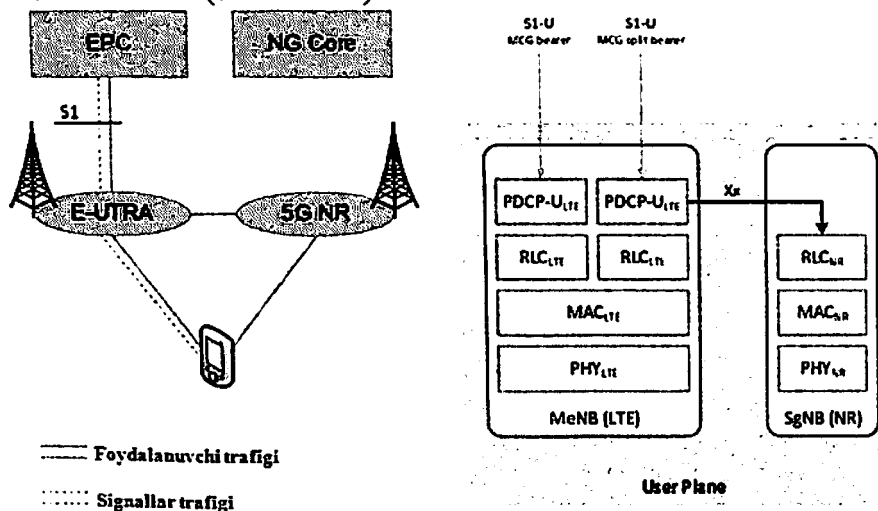
11.11-rasmda 5G tarmoqlarni bo'lishi mumkin joriy etish ko'rinishlari tasvirlangan.



11.13-rasm. Option 2

Option 3

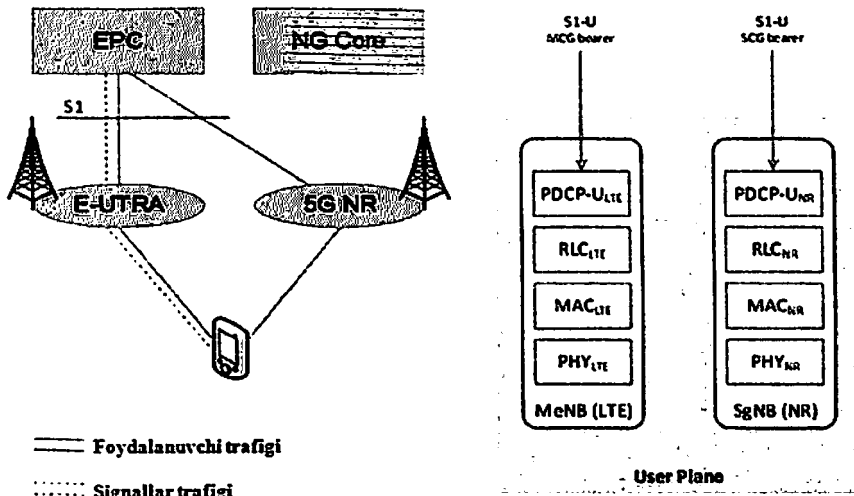
- LTE tarmog‘i yadrosi (EPC) ishlatiladi;
- foydalanuvchilar terminali (UE) qo‘sh 5G NR va E-UTRA radioulanish tarmoqlariga ulanishga ega (2.10- rasm);
- signallar trafigiga (Control Plane – CP) faqat eNb bazaviy stansiyada ishlov beriladi;
- foydalanuvchilar trafigini bo‘lish nuqtasi (User Plane - UP split bearer) eNb bazaviy stansiya hisoblanadi;
- foydalanuvchilar trafigi ikkita marshrutlar – EPC→eNb→UE va EPC→eNb→gNb→UE bo‘yicha uzatiladi;
- Xx interfeys Control Plane va 5G User Plane trafiklarni tashish uchun ishlatiladi (11.14-rasm).



11.14-rasm. Option 3

Option 3a

- LTE tarmog‘i yadrosi (EPC) ishlatiladi;
 - foydalanuvchilar terminali (UE) qo‘sh 5G NR va E-UTRA radioulanish tarmoqlariga ulanishga ega (11.15-rasm);
 - signallar trafigiga (Control Plane – CP) faqat eNb bazaviy stansiyada ishlov beriladi;
 - foydalanuvchilar trafigini bo‘lish nuqtasi (User Plane - UP split bearer) EPC hisoblanadi;
 - foydalanuvchilar trafigi ikkita marshrutlar – EPC→eNb→UE va EPC→gNb→UE bo‘yicha uzatiladi;
- Xx interfeys faqat Control Plane trafikni tashish uchun ishlatiladi.

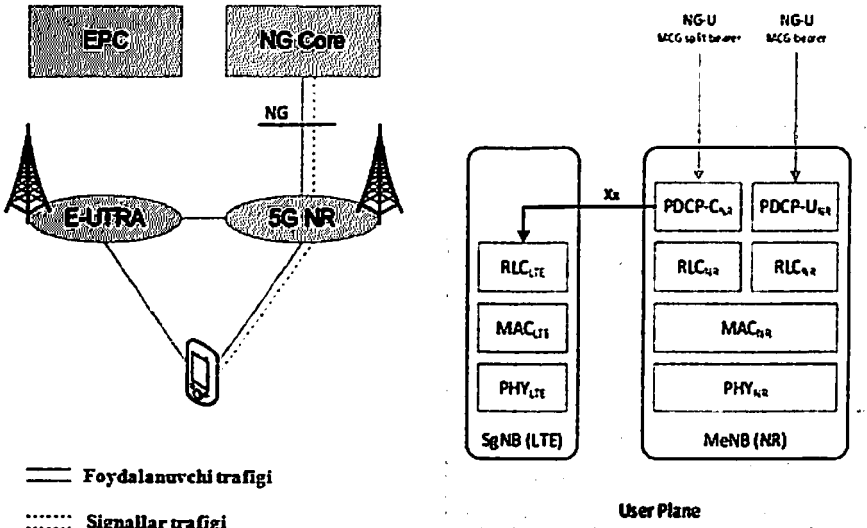


11.15-rasm. Option 3a

Option 4

- 5G tarmog‘i yadrosi (NGCN) ishlatiladi;
- foydalanuvchilar terminali (UE) qo‘sh 5G NR va E-UTRA radioulanish tarmoqlariga ulanishga ega (11.16-rasm);
- signallar trafigiga (Control Plane – CP) faqat eNb bazaviy stansiyada ishlov beriladi;
- foydalanuvchilar trafigini bo‘lish nuqtasi (User Plane - UP split bearer) eNb bazaviy stansiya hisoblanadi;
- foydalanuvchilar trafigi ikkita marshrutlar – NGCN→gNb→UE va NGCN→gNb→eNb→UE bo‘yicha uzatiladi;

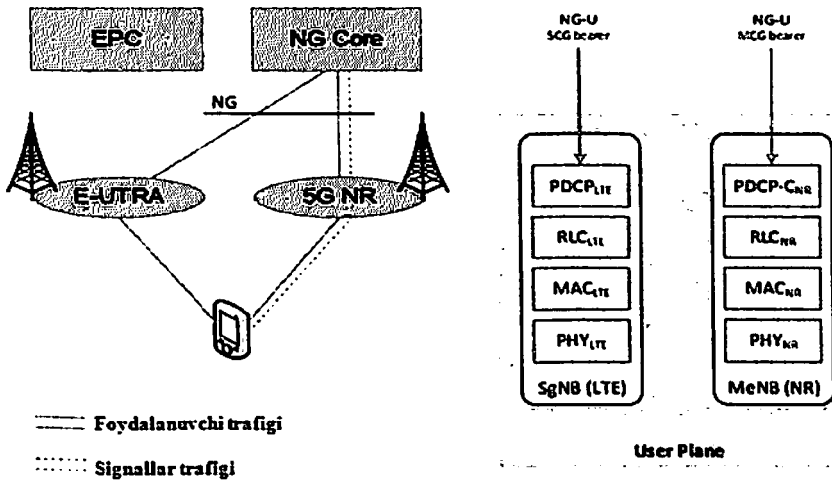
• Xx interfeys Control Plane va LTE UsYer Plane trafiklarni tashish uchun ishlatiladi.



11.16-rasm. Option 4

Option 4a

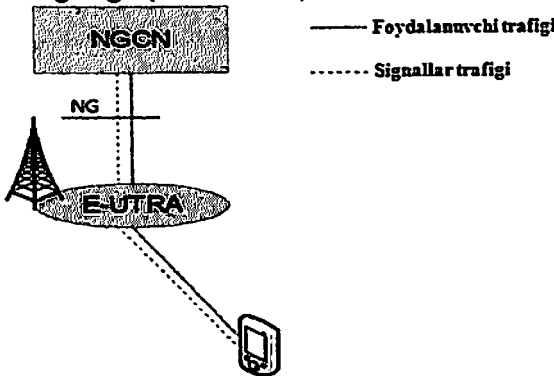
- 5G tarmog'i yadrosi (NGCN) ishlatiladi;
- foydalanuvchilar terminali (UE) qo'sh 5G NR va E-UTRA radioulanish tarmoqlariga ulanishga ega (11.17-rasm);
- signallar trafigiga (Control Plane – CP) faqat eNb bazaviy stansiyada ishlov beriladi;
- foydalanuvchilar trafigini bo'lish nuqtasi (User Plane - UP split bearer) NGCN hisoblanadi;
- foydalanuvchilar trafigi ikkita marshrutlar – NGCN→gNb→UE va NGCN→eNb→UE bo'yicha uzatiladi;
- Xx interfeys faqat Control Plane trafikni tashish uchun ishlatiladi.



11.17-rasm. Option 4a

Option 5

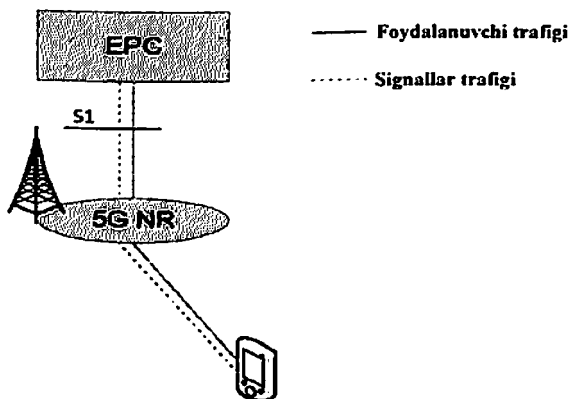
- 5G tarmog'i yadrosi (NGCN) ishlatiladi;
- foydalanuvchilar terminali (UE) faqat E-UTRA radioulanish tarmog'iga ulanishga ega (11.18-rasm).



11.18-rasm. Option 5

Option 6

- LTE tarmog'i yadrosi (EPC) ishlatiladi;
- foydalanuvchilar terminali (UE) faqat 5G NR radioulanish tarmog'iga ulanishga ega (11.19-rasm).



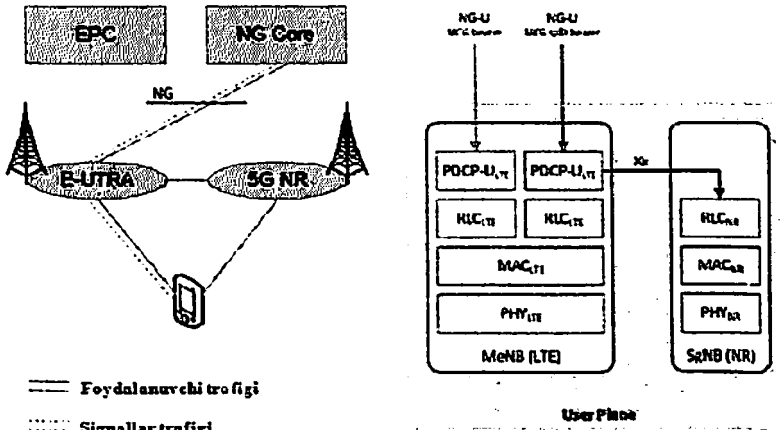
11.19-rasm. Option 6

Option 7

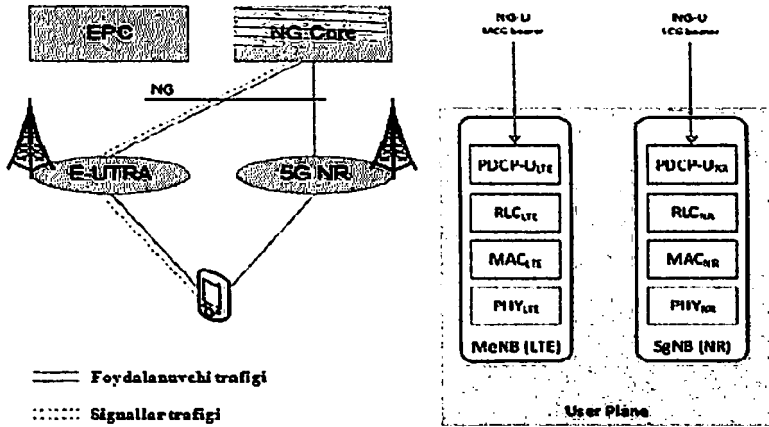
- 5G tarmog'i yadrosi (NGCN – Next Gen Core) ishlatiladi;
- foydalanuvchilar terminali (UE) qo'sh 5G NR va E-UTRA radioulanish tarmoqlariga ulanishga ega (11.20-rasm);
- signallar trafigiga (Control Plane – CP) faqat eNb bazaviy stansiyada ishlov beriladi;
- foydalanuvchilar trafigini bo'lish nuqtasi (User Plane - UP split bearYer) eNb bazaviy stansiya hisoblanadi;
- foydalanuvchilar trafigi ikkita marshrutlar – NGCN→eNb→UE va NGCN→eNb→gNb→UE bo'yicha uzatiladi;
- Xx interfeys Control Plane va 5G User Plane trafiklarni tashish uchun ishlatiladi.

Option 7a

- 5G tarmog'i yadrosi (NGCN – Next Gen Core) ishlatiladi;
- foydalanuvchilar terminali (UE) qo'sh 5G NR va E-UTRA radioulanish tarmoqlariga ulanishga ega (11.21-rasm);
- signallar trafigiga (Control Plane – CP) faqat eNb bazaviy stansiyada ishlov beriladi;
- foydalanuvchilar trafigini bo'lish nuqtasi (User Plane - UP split bearYer) EPC hisoblanadi;
- foydalanuvchilar trafigi ikkita marshrutlar – NGCN→eNb→UE va NGCN→gNb→UE bo'yicha uzatiladi;
- Xx interfeys faqat Control Plane trafikni tashish uchun ishlatiladi.



11.20-rasm. Option 7

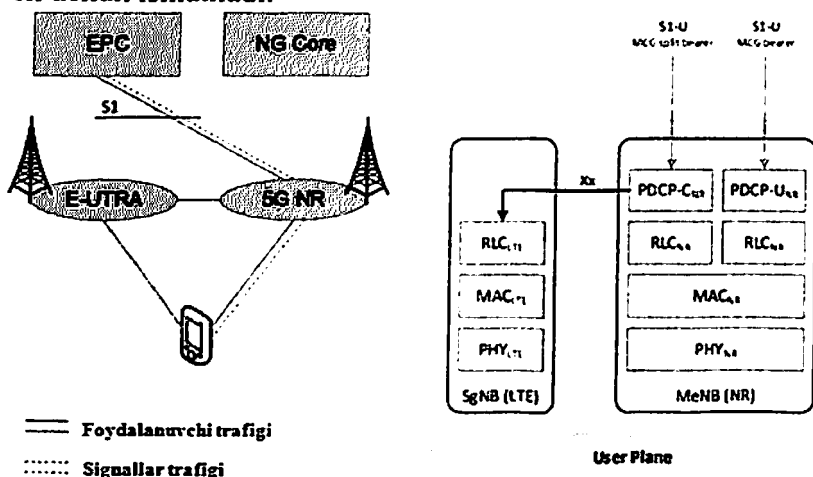


11.21-rasm. Option 7a

Option 8

- LTE tarmog‘i yadrosi (EPC) ishlatiladi;
- foydalanuvchilar terminali (UE) qo‘sh 5G NR va E-UTRA radioulanish tarmoqlariga ulanishga ega (11.22-rasm);
- signallar trafigiga (Control Plane – CP) faqat gNb bazaviy stansiyada ishlov beriladi;
- foydalanuvchilar trafigini bo‘lish nuqtasi (User Plane - UP split bearer) gNb bazaviy stansiya hisoblanadi;
- foydalanuvchilar trafigi ikkita marshrutlar – EPC→gNb→UE va EPC→gNb→eNb→UE bo‘yicha uzatiladi;

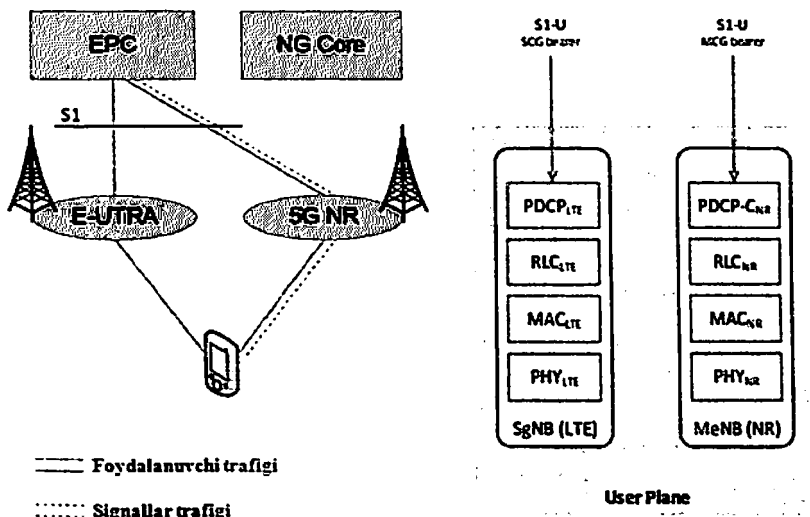
- Xx interfeys Control Plane va LTE User Plane trafiklarni tashish uchun ishlatiladi.



11.22-rasm. Option 8

Option 8a

- LTE tarmog'i yadrosi (EPC) ishlatiladi;
- foydalanuvchilar terminali (UE) qo'sh 5G NR va E-UTRA radioulanish tarmoqlariga ulanishga ega (11.23-rasm);
- signallar trafigiga (Control Plane – CP) faqat gNb bazaviy stansiyada ishlov beriladi;
- foydalanuvchilar trafigini bo'lish nuqtasi (User Plane - UP split bearer) EPC hisoblanadi;
- foydalanuvchilar trafigi ikkita marshrutlar – EPC→gNb→UE i EPC→eNb→UE bo'yicha uzatiladi;
- Xx interfeys faqat Control Plane trafikni tashish uchun ishlatiladi.



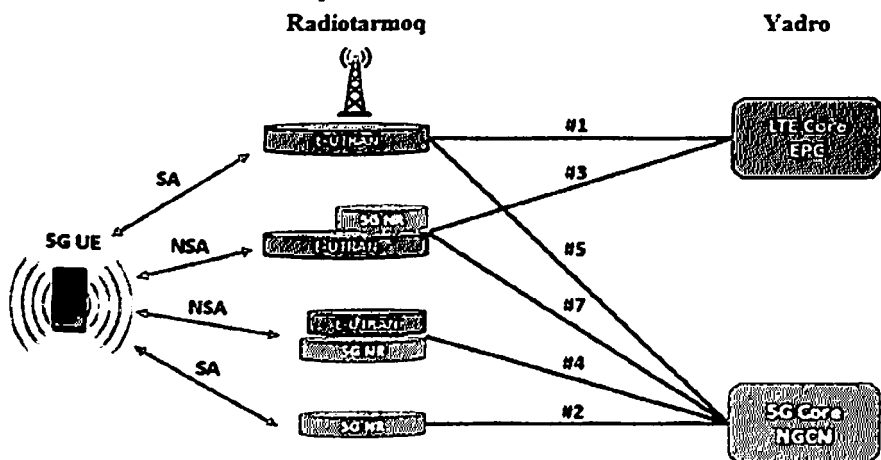
11.23-rasm. Option 8a

11.4. Aloqa tarmoqlarini LTE tarmoqlaridan 5G tarmoqlariga modernizatsiyalash istiqbollari

Yuqorida aytib o'tganimizdek, hozirgi 4G tarmoqlari yangi qo'llanish ko'rinishlarida belgilangan talablarga javob bermaydi. Bog'lanishlar zichligi, radioaloqa polosasining kengligi va boshqalardan tashqari, 4G tarmoqlarida kechikishlar nisbatan yuqori. Kechikishlar radioaloqa va infratuzilmadagi kechikishlardan iborat bo'lib, bugungi kunda o'nlab millisekundlarga yetadi. To'laqonli 5G tarmoqlari, shu jumladan Slicing va URLLC texnologiyalarini qo'llash uchun uzoq muddatli istiqbolda yangi NGCN (keyingi avlod konvergent tarmog'i) tarmoq infratuzilmasi va radioulanish tarmog'ini yangilash talab etiladi [22].

3GPP konsorsiumi dastlab yangi tarmoqlarni qurishning murakkabligini hisobga oldi va standart LTE tarmoqlari konfiguratsiyasidan 5G tarmoqlarga o'tish ko'rinishlarini qabul qildi (11.24-rasm)). 5G tarmoqlarni joriy etishni oldin mavjud LTE EPC infratuzilmasi ustida NSA (Non-Standalone) rejimida amalga oshirish taklif etiladi. Bunday konfiguratsiyada radioqismdagi kechikishlar kamayadi, ammo LTE EPC yadrosining cheklovlari tufayli umumiy kechikishlar ko'rsatkichi URLLC talablariga javob bermaydi. Bu konfiguratsiyaning asosiy mohiyati boshqacha, radioqismda ko'plb

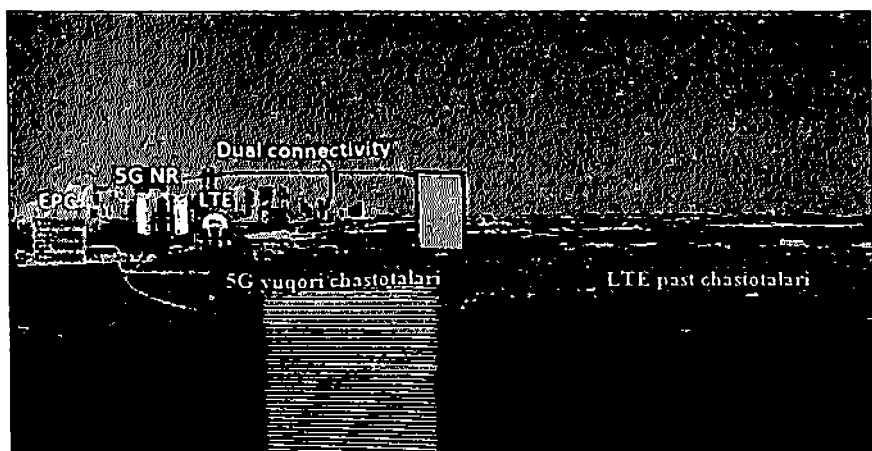
mavjud eMBB ilovlari uchun yetarli bo'ladigan o'tkazish qobiliyatining sezilarli ortishi, shuningdek bitta bazaviy stansiyaga ulangan abonentlarnin ko'p sonida bog'lanishning stabiligi olinadi.



11.24-rasm. Boshlang'ich va oraliq bosqichlarni qurish ko'rinishlari

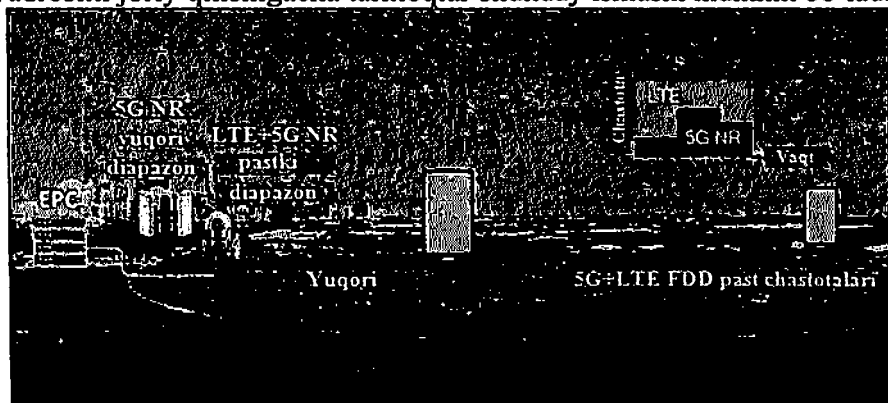
Boshlang'ich NSA modeli EN-DC (E-UTRAN New Radio Dual Connectivity) rejimida ulanishidan foydalanish yo'li bilan uzatiladigan ma'lumotlarning ishonchliligi va hajmini oshirish uchun mobil keng polosali Internet sifatini yaxshilashga qaratilgan. EN-DC rejimini qo'llaydigan foydalanuvchilar terminallari bir vaqtda LTE va 5G bazaviy stansiyalariga ulanishi mumkin (11.25-rasm), bunda LTE bazaviy stansiyasi yakor stansiya hisoblanadi (ng-eNB yoki new generation eNBgacha modernizatsiyalash talab qilinadi).

Foydalanuvchilar terminali (UE) dastlab E-UTRAN orqali past chastotalarda (<2 GGs) tarmoqda ro'yxatdan o'tadi va 5G-NR radioulanish tarmog'ida bajarilgan o'lchovlar natijalarini tarmoqqa uzatishni boshlaydi. 5G "radiosignalining qoniqarli sifatida" LTE ng-eNB bazaviy stansiyasi 5G gNB bazaviy stansiyasiga UE uchun resurslarini ajratishga so'rovni uzatadi. Jarayon tugagandan so'ng, UE bir vaqtning o'zida LTE ng-eNB va 5G gNB bazaviy stansiyalariga ulanadi. Albatta, 5G bazaviy stansiyasining qamrab olish zonasida LTE ng-eNB bazaviy stansiyasining qamrab olish zonasidan ancha kichik bo'ladi, chunki millimetrlil diapazonning yuqori chastotali signallari yuqori so'nish koeffitsientiga ega.



11.25-rasm. EN-DC rejimida UE abonent qurilmasining LTE ng-eNB va 5G gNB bazaviy stansiyalariga ulanish

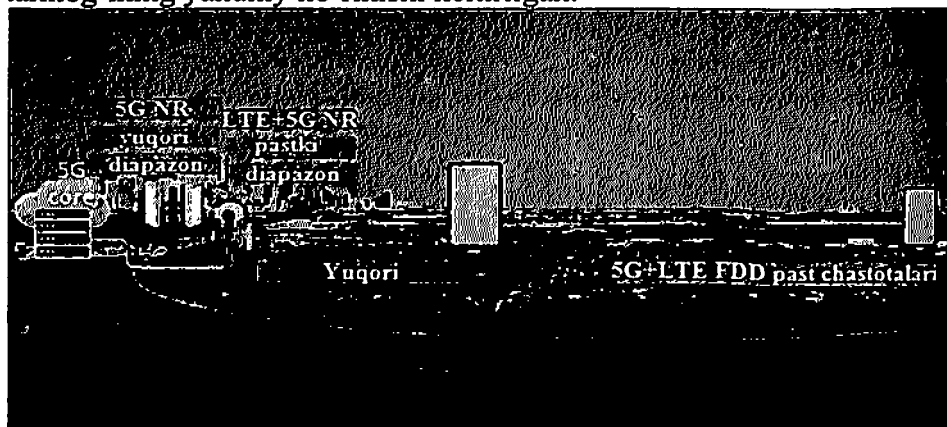
Keyin LTE + 5G-NR kombinatsiyalangan bazaviy stansiyalar yordamida DSS (Dynamic Spectrum Sharing, spektrni dinamik ajratish) texnologiyasining qo'llanishi hisobiga 5G qamrab olish zonasini kengaytirish mumkin, bunda E-UTRAN pastki chastotalar diapazoni (< 2 GGs) 5G-NR bilan dinamik bo'linadi (11.26-rasm). Operatorlar 5G yadrosini joriy qilishigacha tarmoqlar shunday ishlashi mumkin bo'ladi.



11.26-rasm. LTE pastki chastotalari hisobiga 5G tarmoqlarining qamrab olish zonasini kengaytirish

Keyin sotali aloqa operatorlari 5G NGCN yadrosini birlashtirganda ular maqsadli va yakuniy SA rejimiga o'tishi mumkin, bunda E-UTRAN yoki 5G-NR radioulanish texnologiyalaridan biri

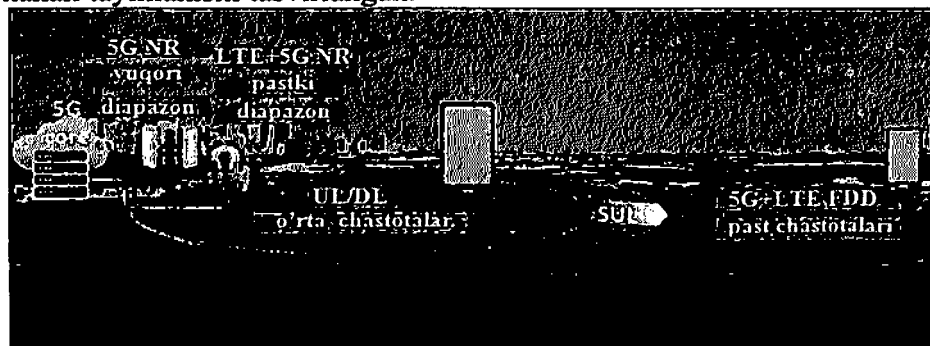
ishlatiladi. 11.27-rasmda URLLC xizmatlarini taqdim eta oladigan 5G tarmog'ining yakuniy ko'rinishi keltirilgan.



11.27-rasm. 5G tarmog'ining yakuniy ko'rinishi

eMBB xizmatlariga tobora ortib borayotgan talabni qondirish uchun o'rta chastotalardan (2GGs-7GGs) foydalanish mumkin, bunda chastotalar polosalarini agregatsiyalash hisobiga ham ma'lumotlarni uzatish tezligini oshirish mumkin. Pastroq chastota kattaroq qamrab olishni, lekin kanalning kichik kengligini beradi. Biroq, yuqoriga liniya qo'shimcha kanali (SUL, Supplementary Uplink) yordamida yuqori yuklash tezligini saqlash bilan qamrab olish zonasini oshirish usuli mavjud.

11.28-rasmda UE uchun o'rta chastotalardan "juft" (UL/DL) radioresursga past chastotalardan yuqori liniya (SUL) qo'shimcha toq kanali tayinlanishi tasvirlangan.



11.28-rasm. Toq kanal hisobiga o'rta chastotalarda qamrab olishni kengaytirish

Bunda UE bitta sotada 1xDL (o'rtacha chastotalar) va 2xUL (past va o'rtacha chastotalar) kanallarini oladi, ulardan foydalanishni tarmoq nazorat qiladi. Bu holda, sotaning chekkasida, DL-kanalda "juft" diapazondan oshirilgan quvvatli o'rtacha chastotali signal, UL-kanalda toq SUL diapazondagi past chastotali signal ishlatiladi. Natijada, bazaviy stansiya UE abonentlar qurilmasini uzoqroq masofalarda «ko'radi», yuklab olish tezligi esa o'rtacha chastotalarning qo'llanishi bilan saqlab qolinadi.

Nazorat savollari

1. 5G texnologiyalarini standartlashtirish bilan qanday tashkilotlar shug'ullanadi?
2. 3GPPning asosiy talablarini ayting.
3. 5G tarmoqlarining asosiy funksional o'ziga xos xususiyatlari.
4. 5G/IMT2020 platformasining universalligi nimada?
5. 5G NR radiotexnologiyasining asosiy farqli o'ziga xususiyatlari.
6. 5G tarmog'ining umumiy arxitekturasini keltiring va tushuntiring.
7. LTE texnologiyasidan 5G texnologiyasiga o'tish mumkin bo'lgan opsiyalar qanday guruhlariga bo'lingan.
8. EN-DC rejimida UE qanday qilib LTE ng-eNB va 5G gNBga ulanadi?
10. LTE past chastotalari hisobiga 5Gning qamrab olish zonasini kengaytirish va toq kanal hisobiga o'rtacha chastotalarni qamrab olishni kengaytirish qanday amalga oshiriladi?

12. WI-FI TEXNOLOGIYASI (IEEE 802.11)

12.1. Wi-Fi texnologiyasining tarixi

Wi-Fi texnologiyasi IEEE 802.11 standartlari asosidagi qurilmalarga ega bo'lgan simsiz lokal tarmoqlar texnologiyasi hisoblanadi. Wi-Fi logotipi Wi-Fi Alliance savdo belgisi hisoblanadi. Wi-Fi qisqartmasi ostida (inglizcha Wireless Fidelity so'z birikmasidan [[27]], bu so'zma-so'z "simsiz aniqlik" deb tarjima qilinishi mumkin) hozirgi vaqtda radiokanallar bo'yicha raqamli ma'lumotlar oqimlarini uzatish standartlarining butun oilasi rivojlanmoqda.

IEEE 802.11 standartiga mos keladigan istalgan qurilmalar Wi-Fi Alliancesda testlanishi va sertifikat va Wi-Fi logotipini qo'llash huquqini olishi mumkin.

Wi-Fi texnologiyasi 1998 yilda Avstraliyaning Kanberra shahridagi CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) radioastronomiya laboratoriyasida yaratilgan [[27]]. Ma'lumotlarni simsiz almashlash protokolining yaratuvchisi muhandis Djon O'Sullivan (John O'Sullivan) hisoblanadi.

Wi-Fi texnologiyasi bir tomondan standartlar oilasi boshqa tomondan esa radiokanal bo'yicha ma'lumotlarni uzatish uchun simsiz texnologiya bo'lib, u simsiz adapterli qurilmalarni lokal/korporativ tarmoqqa yoki Internetga ulanishini ta'minlaydi.

Wi-Fi texnologiyasi quyidagilar uchun qo'llanishi mumkin:

- simsiz lokal tarmoqlarni (WLAN) qurish;
- tarmoqlarning imkoniyatlarini kengaytirish;
- Internetga ulanishni tashkil etish.

12.2. Wi-Fi qurilmalarini sertifikatlashtirish

Bu standartlar turli ishlab chiqaruvchilar tayyorlagan qurilmalarning moslashuvchanligini ta'minlaydi. WLAN tarmoqlari standartlarini aniqlaydigan uchta xalqaro tashkilotlar mavjud [27]:

ITU-R radioaloqa sektori radiochastotalar va sun'iy yo'ldoshlar orbitalari spektrini taqsimlanishini rostlaydi.

IEEE ma'lumotlarni uzatilishi uchun radiochastotalar qanday tarzda modulyatsiyalanishini aniqlaydi. Bu tashkilot LAN/MAN IEEE tarmoqlari 802 standartlari guruhiga kiradigan lokal va shahar (MAN) tarmoqlari standartlariga xizmat ko'rsatadi. 802.3 Ethernet va 802.11 WLAN standartlari IEEE 802 standartlar guruhidagi asosiy standartlar hisoblanadi. IEEE radiochastotaviy modulyatsiyalash qurilmalari uchun standartlarni aniqlasada, bu tashkilot ishlab chiqarish standartlarini aniqlamaydi. Demak, 802.11 standartlarini turli yetkazib beruvchilar





orqali talqin etilishi qurilmalarning moslashuvchanligiga to‘sqinlik qilishi mumkin.

Wi-Fi Alliance ishlab chiqarish savdosi global notijorat uyushmasi hisoblanadi, uning vazifasi WLAN tarmoqlarini rivojlantirish va joriy etishga ko‘maklashish hisoblanadi. Bu uyushmaga soha me‘yorlari va standartlariga moslikka yetkazib beruvchilarni sertifikatlashtirish yo‘li bilan 802.11 standarti mahsulotlarining moslashuvchanligini oshirishga mo‘ljallangan yetkazib beruvchilar kiradi.

Wi-Fi Alliance Wi-Fi tarmoqlarini va quyidagi moslashuvchanlik turlarini sertifikatlashtiradi:

- IEEE 802.11a/b/g/n/ac/ad bilan moslashuvchanlik;
- IEEE 802.11i doirasida WPA2™ spetsifikatsiyadan va kengaytiriladigan autentifikatsiyalash protokolidan (EAP) xavfsiz foydalanish;
- Wi-Fi Protected Setup (WPS) funksiyasi, u qurilmalarning bog‘lanishini soddalashtiradi;
- muhitni qurilmalar tomonidan birgalikda ishlatilishi uchun Wi-Fi Direct;
- Wi-Fi ulanish nuqtalarini tarmoqqa oddiyroq va xavfsiz ulanishini ta‘minlash uchun Wi-Fi Passpoint;
- qurilmalar orasida videoni muammosiz uzatish va aks ettirish uchun Wi-Fi Miracast.

12.1-rasmda aniq bir funksiyalarning moslashuvchanligini aniqlaydigan Wi-Fi Alliance logotiplari keltirilgan. U yoki bu logotipli qurilmalar mos funksiyalarni qo‘llaydi. Qurilmada bir necha logotiplar ko‘rsatilishi mumkin.

	<p>Mahsulot tekshirilgan va tekshirilgan Wi-Fi funksiyalari mos talqinchi ko‘rsatadigan Wi-Fi Alliance universal logotipi</p>
	<p>Mahsulot 802.11a/b/g/n standarti qurilmalari bilan moslashuvchanligini tasdiqlaydigan Wi-Fi logotipi</p>
	<p>Qurilmalar orasidagi bog‘lanishni soddalashtiradigan Wi-Fi Protected Setup funksiyasini qo‘llaydigan qurilmalarning tasdiqlaydigan Wi-Fi logotipi</p>
	<p>Jurati qurilmalar orasida multimedia bilan bog‘lanishni soddalashtiradigan Wi-Fi Direct funksiyasini qo‘llaydigan qurilmalarning tasdiqlaydigan Wi-Fi logotipi</p>

12.1-rasm. Wi-Fi texnologiyasining umumiy sertifikatlashtirilgan logotiplari

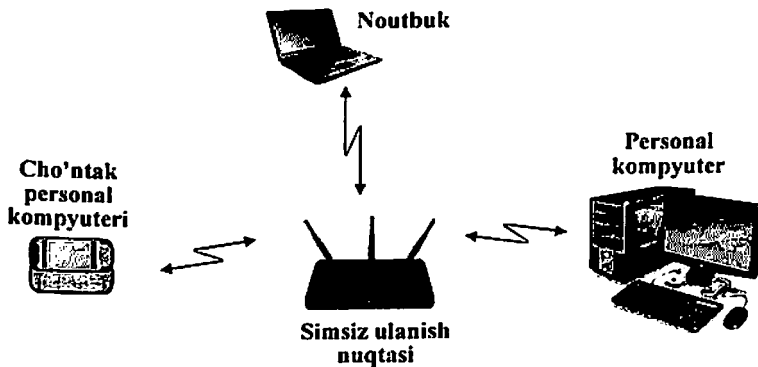
12.3. Simsiz lokal tarmoqlarni tashkil etish

Simsiz lokal tarmoqni (WLAN) tashkil etishning ikkita asosiy usullari - infratuzilma rejimi (Infrastructure Mode) va nuqta-nuqta rejimi (Adhoc) mavjud [27].

Infrastructure Mode simsiz lokal tarmog‘i

Infrastructure Mode rejimida (Wi-Fi infratuzilma rejimida) ishlaydigan simsiz lokal tarmoqda simsiz qurilmalar o‘zaro Access Point (ulanish nuqtasi) orqali bir-birlari bilan aloqa qiladi (12.2-rasm).

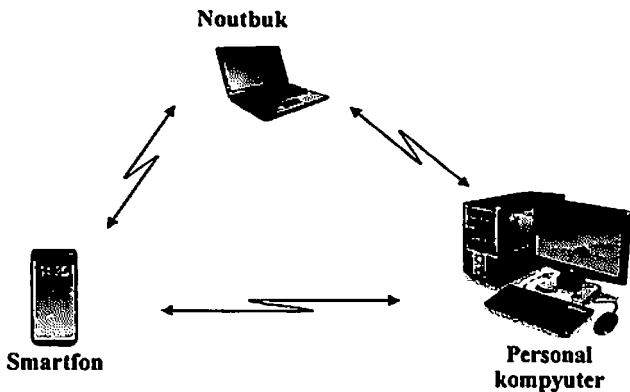
Ulanish nuqtasi SSID (Service Set ID) tarmoq identifikatorini maxsus signallar paketlari yordamida uzatadi. Simsiz qurilmalar ulanish nuqtasiga uning SSID tarmoq identifikatoridan foydalanish bilan ulanadi va bir-birlari bilan ma’lumotlarni almashlashadi. Bunday holda, ulanish nuqtasi simsiz qurilmalar uchun markaziy ulanish nuqtasi sifatida ishlatiladi.



12.2-rasm. Infrastructure Mode simsiz lokal tarmog‘i

Adhoc simsiz lokal tarmog‘i

Adhoc turdagi simsiz lokal tarmoqda aloqa to‘g‘ridan-to‘g‘ri Wi-Fi-adapterlar bilan jihozlangan qurilmalar orasida o‘rnatiladi va bu holda ulanish nuqtasi umuman ishlatilmaydi (12.3-rasm). Adhoc rejimi “teng- tengi bilan” (pYer-to-peer) rejimi hisoblanadi [27].



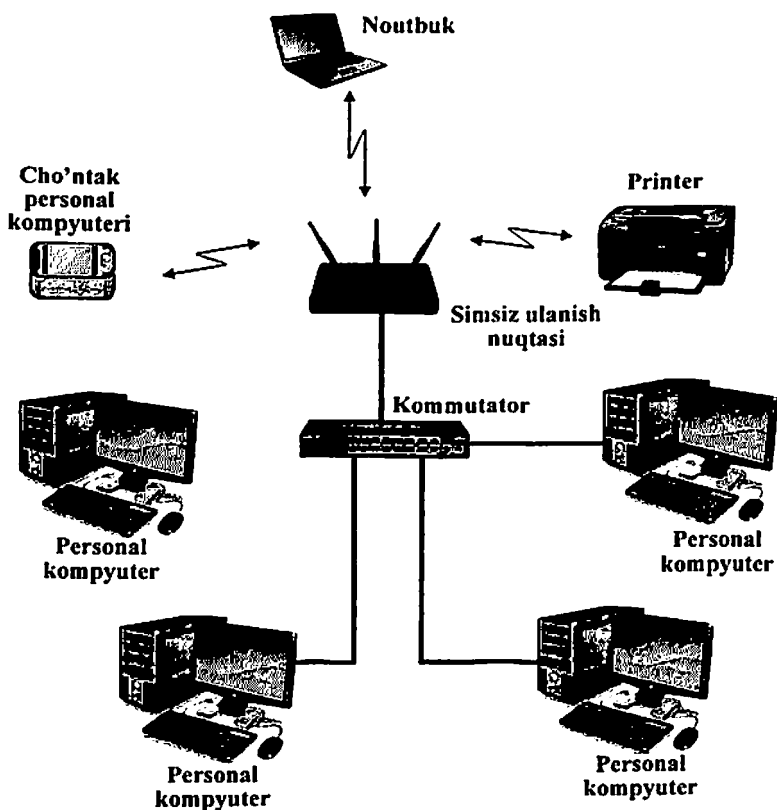
12.3-rasm. Adhoc turdagi simsiz lokal tarmoq

Shuning uchun Adhoc rejimida simsiz lokal tarmoqda simsiz tarmoq adapterlari tarmoq tarkibiy qismlarini birlashtirish uchun ishlatiladi.

Lokal tarmoqlarning imkoniyatlarini kengaytirish

Access Point Bridge ko'prigi

Simsiz lokal tarmoqlarni tashkil etishdan tashqari, Wi-Fi texnologiyasi simli lokal yoki korporativ tarmoqlarning imkoniyatlarini kengaytirish uchun ishlatiladi. Odatda, Wi-Fi simsiz lokal tarmoqlar simli lokal tarmoqqa ulanadi. Bu holda ulanish nuqtasi lokal tarmoqning simli va simsiz segmentlari o'rtasida ko'prik (Access Point Bridge) sifatida ishlatiladi. Lokal tarmoq sxemasiga misol 12.4-rasmda tasvirlangan [27].



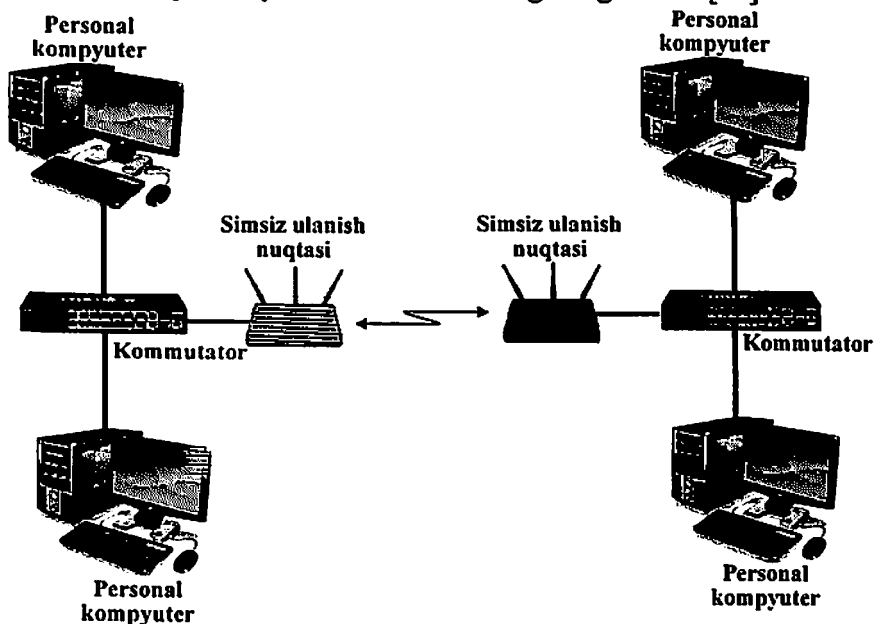
12.4-rasm. Access Point Bridge ko'prik

12.4-rasmda tasvirlangan tarmoqda cho'ntak peronal kompyuteri, noutbuk va printer Wi-Fi adapterlari bilan jihozlangan va to'rtta personal kompyuterlardan iborat simli lokal tarmoqqa ulangan simsiz ulanish nuqtasiga ulangan. Shunday qilib, ulanish nuqtasi tarmoqning simli va simsiz qismlari o'rtasida ko'prik sifatida ishlatiladi va bu bilan lokal tarmoqning imkoniyatlarini kengaytiradi.

Point-to-point simsiz ko'prik

Tarmoqning simli segmentlari o'rtasida point-to-point simsiz ko'prik sifatida ulanish nuqtasidan foydalanish bitta simsiz ulanish nuqtasiga simsiz ko'prik rejimini qo'llaydigan boshqa ulanish nuqtasi bilan ma'lumotlarni almashlashga imkon beradi (12.5-rasm). Shunday

qilib, lokal tarmoqning ikkita segmentlari yoki ikkita lokal tarmoqlar ikkita ulanish nuqtalari yordamida bir-birlariga bog‘lanadi [27].

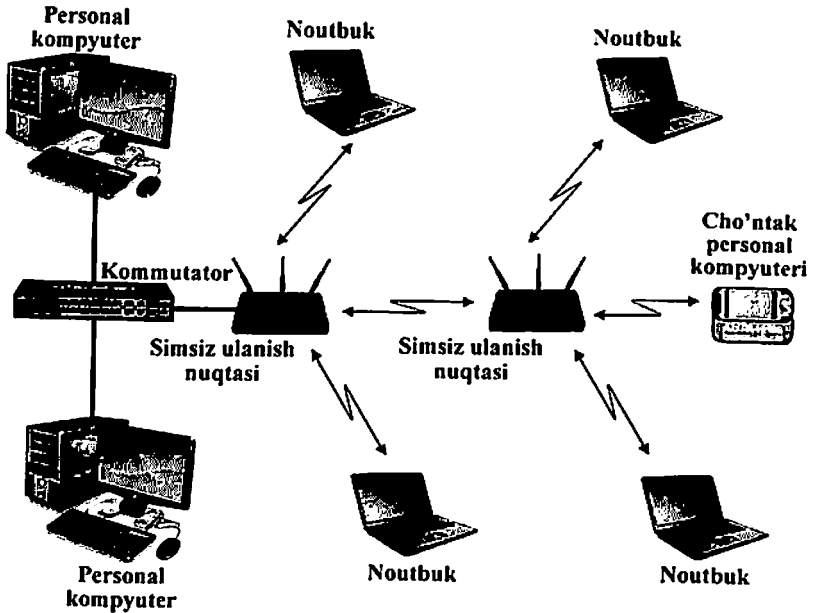


12.5-rasm. Point-to-point simsiz ko‘prik

Simsiz ulanish nuqtasi signali retranslyatori (repiteri)

Bundan tashqari, ulanish nuqtasi signalni takrorlash hisobiga asosiy ulanish nuqtasining qamrab olish zonasini kengaytirish bilan asosiy ulanish nuqtasi signalini simsiz retranslyatori (repiteri) sifatida ishlatilishi mumkin (12.6-rasm). Bu rejimda repiter qabul qilgich/uzatkich yoki retranslyator sifatida ishlaydi. U asosiy ulanish nuqtasidan kuchsiz signalni qabul qiladi, uni kuchaytiradi va o‘sha bir chastotada keyinga uzatadi, bu bilan radioqamrab olish zonasini kengaytiradi. Bu holda butun qamrab olish zonasi bitta ulanish nuqtasi bilan “qamrab olingandek” ko‘rinadi [27].

Shunday qilib, ulanish nuqtasi ham lokal tarmoqlarning simli va simsiz segmentlari orasida, ham simli tarmoq segmentlari orasida ko‘prik sifatida, shuningdek, asosiy ulanish nuqtasining signali repiteri sifatida ishlatilishi mumkin. Bundan tashqari, ulanish nuqtasi repiter-ko‘prik rejimida ishlatilishi mumkin.



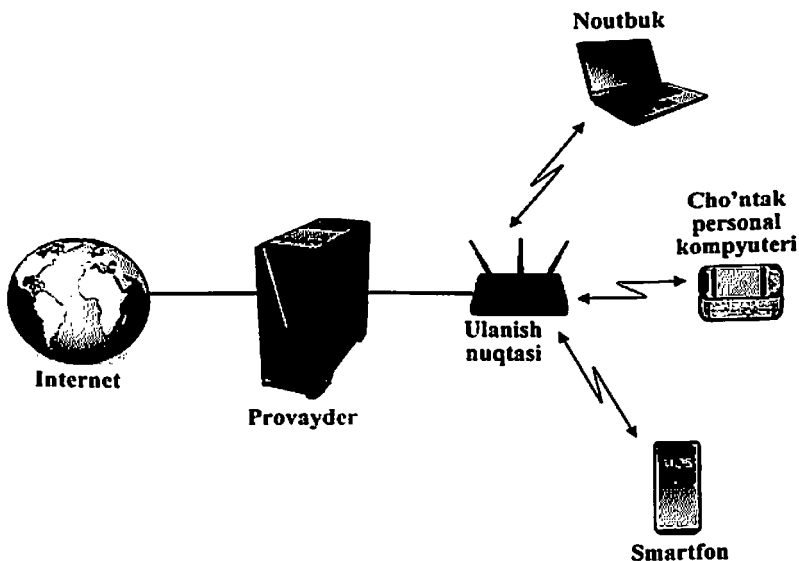
12.6-rasm. Simsiz ulanish nuqtasi signali retranslyatori (repiteri)

Internetga ulanishni tashkil etish

Hotspot - ommaviy simsiz ulanish zonasi (Wi-Fi zonasi)

Wi-Fi texnologiyasi ulanish nuqtasining ishlash radiusida Wi-Fi simsiz radioulanish protokoli orqali Internet tarmog'ining resurslarga ulanishni ta'minlashi mumkin (12.7-rasm). Bunday ommaviy ulanish nuqtalari Hotspot yoki Internetga yuqori tezlikli simsiz ulanish bo'lgan joylar deyiladi [27].

Hotspot yoki ommaviy simsiz ulanish zonasi simsiz Wi-Fi adapterili qurilmaga ega bo'lgan foydalanuvchi Internetga ulanishi mumkin bo'lgan Wi-Fi simsiz tarmoq bilan qamrab olingan hudud (vokzal, ofis binosi, sinf xonasi va hokazo) hisoblanadi.



12.7-rasm. Hotspot - ommaviy simsiz ulanish zonasi (Wi-Fi zonasi)

Hotspot radioqamrab olish zonasini kengaytirish yoki simsiz tarmoqning ishlash radiusini oshirish uchun asosiy ulanish nuqtasidan masofada signalni asosiy ulanish nuqtasining signalini takrorlaydigan repiterlar (Wi-Fi retranslyatorlari) o'rnatilishi mumkin. Retranslyator sifatida repiter rejimida ulanish nuqtasidan foydalanish mumkin. Bundan tashqari, Hotspot radioqamrab olish zonasini kengaytirish uchun maxsus chiqariladigan Wi-Fi antennalaridan (panelli, parabolasiimon va boshqalardan) foydalanish mumkin.

Umuman holda Hotspotni tashkil qilish uchun ulanish nuqtasi standart usullaridan biri - ADSL, 3/4G texnologiyalari yoki Fast Ethernet lokal tarmoqdan foydalanish bilan provayderga ulanadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, o'rnatilgan Wi-Fi va VoIP xizmatiga ega bo'lgan mobil telefon simsiz ulanish nuqtasiga ulanishida xalqaro chaqiruvlar narxi an'anaviy va sotali telefoniya dagiga qaraganda ancha sezilarli past bo'ladi.

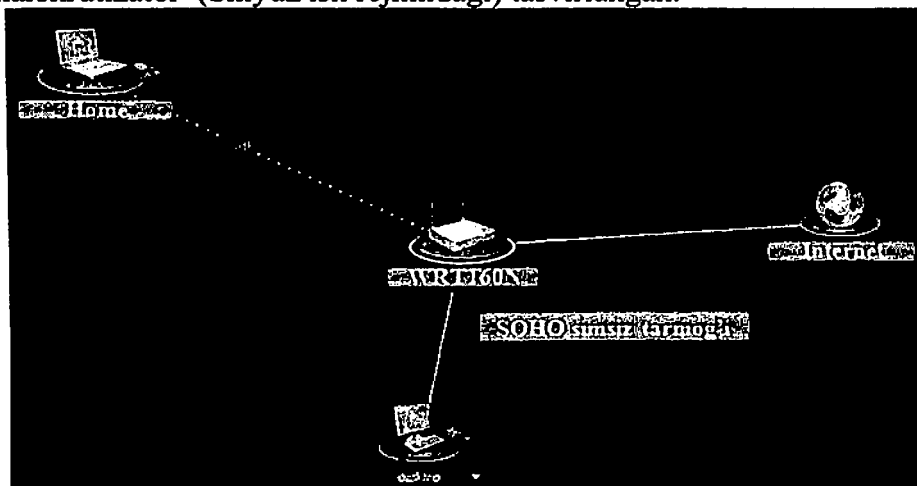
Katta hududlarda ommaviy simsiz ulanish zonasini tashkil qilish uchun bitta ulanish nuqtasidan emas, balki bir nechta ulanish nuqtalaridan foydalanish maqsadga muvofiq. Katta hududda joylashgan ulanish nuqtalarini birlashtirish uchun birlashtiradigan kommutatorlari,

ularni markazlashtirilgan boshqarish uchun esa simsiz ulanish nuqtalari kontrolleri ishlatilishi mumkin.

SOHO simsiz tarmoqlari

Internetga ulangan SOHO (Small office/home office - kichik ofis/uy ofisi) kabi simsiz tarmoqlarni yaratish uchun Wi-Fi texnologiyasidan foydalanish mumkin (12.8-rasm). Internetga ulanadigan simsiz tarmoqlarni yaratish uchun ulanish nuqtasi (simsiz tarmoq mijozlari uchun simsiz tarmoq konsentratori vazifasini bajaradigan qabul qilgich/uzatkich), IP-manzillarni o'zgartirish funksiyasiga (NAT) ega bo'lgan marshrutizator, DHCP-server, LAN tarmoq kommutator, tarmoqlararo ekran va boshqalarning o'z ichiga olgan integral qurilmalar keng qo'llaniladi. Bu integral qurilmalar "simsiz marshrutizatorlar" (wireless router) deyiladi. Ularga nafaqat simsiz mijozlarni, balki simli mijozlarni ham ulash mumkin. Internetga ulanish uchun marshrutizatorlar Ethernet WAN porti, ADSL-modem porti va 3G WAN portlaridan biri bilan jihozlangan bo'lishi kerak [27].

Provayderna standart Ethernet orqali ulanish uchun marshrutizator Ethernet WAN portiga ega bo'lishi kerak. Internetga ADSL orqali ulanish uchun ADSL-modem Wi-Fi ulanish nuqtasi bilan birlashtirilgan bo'lishi kerak. Agar Internetga ulanish uchun 3G mobil aloqa texnologiyalari ishlatilsa, u holda marshrutizator 3G WAN portiga ega bo'lishi kerak. Misol sifatida 12.8-rasmda asosida Internetga ulangan SOHO simsiz tarmog'i amalga oshirilgan LinksysWRT160N simsiz marshrutizator (Shlyuz ish rejimidagi) tasvirlangan.

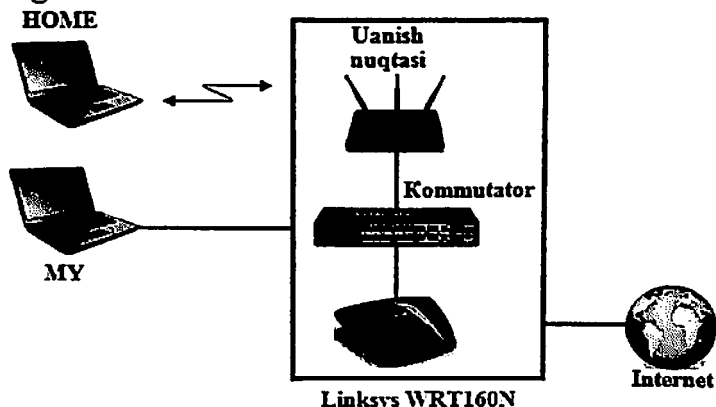


12.8-rasm. SOHO simsiz tarmog'i

Linksys WRT160N simsiz keng polosali marshrutizator global tarmoqqa ulanish uchun Ethernet WAN portiga ega bo'lgan tarmoq adapteri, WLAN mijozlari uchun simsiz tarmoq konsentratori yoki kommutatori rolini bajaradigan qabul qilgich/uzatkich shaklidagi ulanish nuqtasi, LAN kabelli tarmoq mijozlari uchun 4 portli kommutator, WLAN va LAN tarmoqlarni bog'laydigan tarmoq ko'pri, SPI tarmoqlararo ekran va IP-manzillarni o'zgartirish funksiyasiga (NAT) ega bo'lgan marshrutizator, DHCP-server funksiyalarini o'zida birlashtiradigan dasturiy-apparatlar qurilmasi hisoblanadi.

SPI brandmauer Internet orqali hujumlardan himoya qiladi. DHCP-server lokal tarmoqlar (WLAN va LAN) kompyuterlariga 192.168.1.100 - 192.168.1.149 diapazondagi dinamik xususiy IP-manzillarni tayinlaydi. IP-manzillarni o'zgartirish funksiyasiga (NAT) ega bo'lgan marshrutizator (lokal IP-manzili - 192.168.1.1) lokal tarmoqlar (WLAN va LAN) xususiy IP-manzillarini tashqi global IP-manzillarga o'zgartirishni ta'minlaydi.

Yuqorida keltirilgan SOHO tarmog'ining sxemasi kengaytirilgan shaklda 12.9-rasmdagi ko'rinishga ega bo'ladi [27]. To'liq dupleks rejimda ishlaydigan 4-portli 10/100 Ethernet standartdagi o'rnatilgan kommutator Ethernet qurilmalarini simli tarmoq orqali ulashga mo'ljallangan.



12.9-rasm. SOHO tarmog'ining kengaytirilgan sxemasi

O'rnatilgan ko'priq mos ravishda WLAN va LAN tarmoqlariga ulangan notebook notebook (HOME) va desktop (MY) orasida ma'lumotlarni almashinuvini (papkalar va fayllarni almashishni)

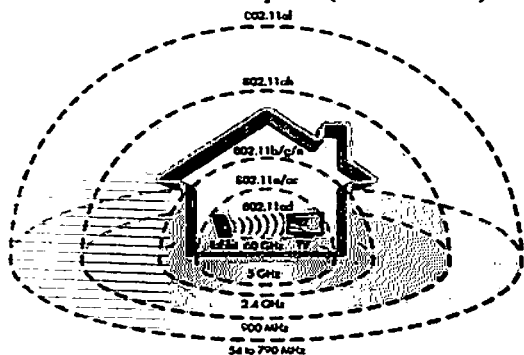
ta'minlaydi. Bundan tashqari, Linksys WRT160Nga o'rnatilgan va Internetga Ethernet WAN porti orqali ulangan IP-manzillarni o'zgartirish funksiyasiga (NAT) ega bo'lgan marshrutizator kompyuterlarga (HOME va MY) Internet-provaydYer orqali tayinlangan o'sha bir IP-manzil bo'yicha Internetni ulashishga imkon beradi. WLAN va WLAN lokal tarmoqlari kompyuterlarining ichki IP-manzillari o'rnatilgan orqali tayinlanadi.

Wi-Fi eng istiqbolli simsiz texnologiyalardan biri bo'lib qolmoqda. U jadal rivojlanmoqda va ma'lumotlarni uzatish tezligini oshirishga imkon beradigan yangi simsiz yechimlar ishlab chiqilmoqda. Hatto LTE tarmoqlarining rivojlanishi bilan ham Wi-Fi chetda qolmaydi, aksincha tarmoqning eng muhim oraliqlarida trafikni kamaytirish bilan qo'shimcha rivojlanish tarmog'iga ega bo'ladi.

Binolarning ichida foydalanish uchun Wi-Fi qurilmalari qonunchilikda o'rnatilgan nurlanish quvati doiralari chastotalardan foydalanishga ruxsat olinishini talab qilmaydi. Bundan tashqari, uyda yoki kichik ofis sharoitlarida Wi-Fi tarmog'ini tashkil qilish juda oddiy, shuning uchun uni ko'pincha o'z kuchlari amalga oshirish mumkin. Shunga qaramay, aloqa sifati, qamrab olish zichligi va o'tkazish qobiliyatiga yuqori talablarga ega bo'lgan tarmoqni loyihalashda, odatda, mutaxassislarining yordami kerak bo'ladi. Wi-Fi tarmog'ini qurish ish joylarigacha kabellar tizimini yotqizishga taqqoslaganda kamroq vaqt talab etadi. Aynan sozlash, qurishning oddiyligi, nisbatan arzonligi va qulayligi uchun Wi-Fi haqli ravishda eng istiqbolli va aktiv rivojlanayotgan texnologiyalardan biri hisoblanadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, yuqorida keltirilgan Wi-Fi standartlarining (802.11 a/b/g/n/ac standartlari) hammasi ham 2,4 va 5 gigagersli diapazonlarda ishlaydigan odatiy routerlar sifatida simsiz lokal tarmoqlarni tashkil qilishda foydalanilmaydi. 802.11ad va 802.11ay kabi standartlar dastlab qisqa masofalarda - 1 metrdan 10 metrgacha ma'lumotlarni uzatish va istiqbolda ulardan ma'lumotlarni uzatish yuqori tezlikli interfeyslarini tashkil qilish uchun, masalan, monitorlarni kompyuterga ulash va 8K formatdagi tasvirlarni uzatish uchun ishlab chiqarish rejalashtirilgan edi. Biroq, 5G tarmoqlarining rivojlanishi va 100 gigagersgacha diapazonga o'tish natijasida 802.11ad standartini qo'llaydigan qurilmalar binolardan tashqarida radioulanishni tashkil qilish uchun ishlatila boshlandi (ammo bunday chastotalar uchun to'g'ri ko'rinish shartlari ta'minlanishi kerak).

Shunday qilib Wi-Fi texnologiyasi porloq kelajagi bor, u bu texnologiyadan mutlaqo boshqa ilovalarda foydalanishga imkon beradi. Shubhasiz, bu texnologiya ham 5G tarmoqlarida, IoT-yechimlarida, ham VR-ilovalarida ham o‘z o‘rnini topadi (12.10-rasm).



12.10-rasm. Turli Wi-Fi standartlarining qo‘llanishi

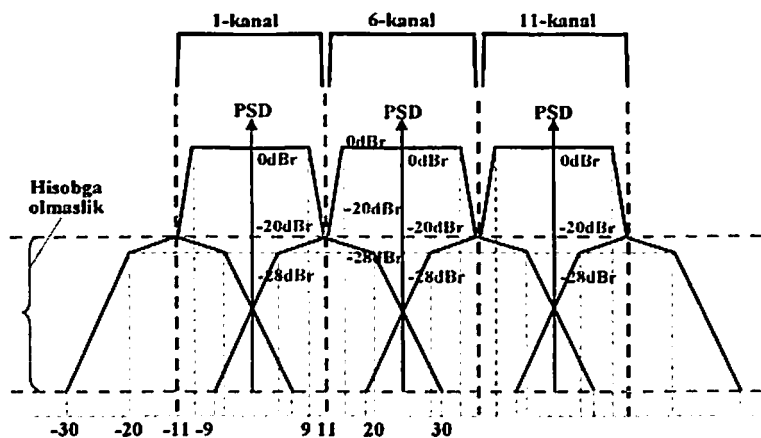
12.4. Wi-Fi tarmoqlarining chastotalar diapazonlari

2,4 gigagersli diapazon

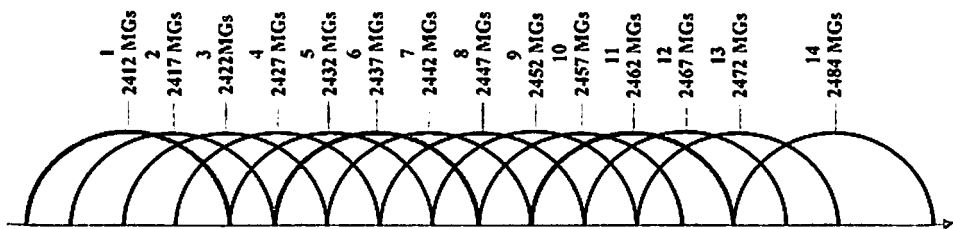
Eng keng tarqalgan mijoz marshrutizatorlari va maishiy Wi-Fi qurilmalari ikkita chastotalari diapazoni - 2,4 gigagersli (802.11 b/g/n) va 5 gigagersli (802.11 a/n/ac) dipazonlarda ishlaydi [27].

2,4 gigagersli diapazonda standartlarga muvofiq 14 ta kanallar aniqlangan. Ulardan ba‘zilari ayrim mamlakatlarda mumkin bo‘lmasligi mumkin (masalan, 14-kanal faqat Yaponiyada foydalanishga ruxsat berilgan). 1-, 6- va 11-raqamli kanallar chastotalari bo‘yicha bir-birlariga to‘liq kesishmaydigan kanallar hisoblanadi va “kesishmaydigan” kanallar deyiladi. Ammo aslida, har doim “hisobga olmaslik” mavjud va agar ulanish nuqtalari bir-birlariga yetarlicha yaqin joylashgan bo‘lsa, u holda kesishmaydigan kanallar kesishadigan kanallar bo‘lib qoladi (12.11-rasm).

Har bir kanal 20 MGs kenglikni egallaydi. Ba‘zi hollarda standartlarda 40 MGsga teng kanal kengligidan foydalanishga ruxsat etiladi. Kanallarning raqamlari va ularning markaziy chastotalari 12.12-rasmda keltirilgan.



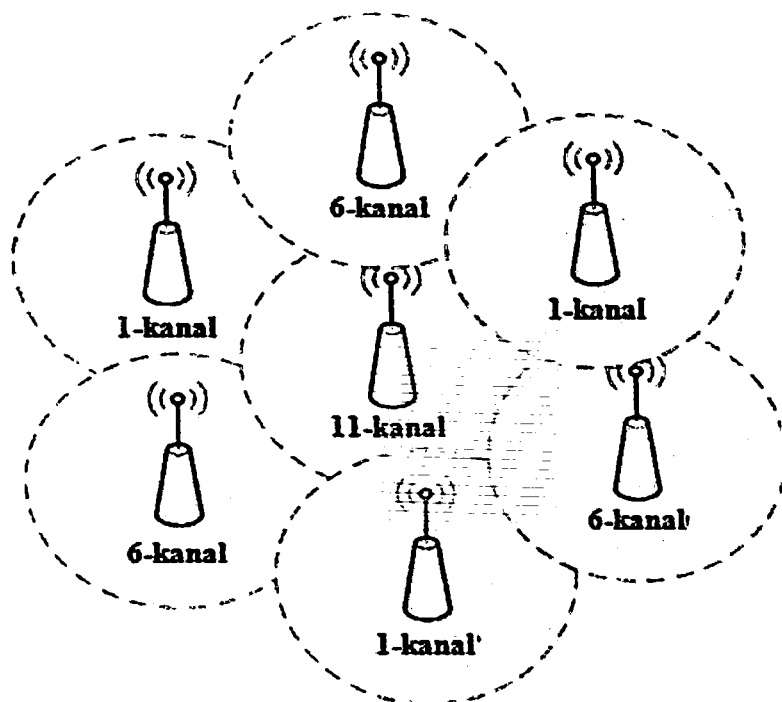
12.11-rasm. 2.4 gigagersli diapazon



12.12-rasm. 2.4 gigagersli diapazondagi Wi-Fi kanallari

Kesishmaydigan kanallardan foydalanish yaqin joylashgan qurilmalar bir-birlariga halaqitlar qilmasligi va bu bilan aloqaning barqarorligi va sifatini oshirish bilan bir tekis radioqamrab olishni tashkil qilish zarur bo'lganda qulay hisoblanadi (12.13-rasm).

2,4 gigagersli diapazonning kamchiliklaridan biri uning yuqori yuklanganligi va kanallar sonining kamligi hisoblanadi. Wi-Fi tarmog'iga halaqitlarni nafaqat boshqa Wi-Fi qurilmalari va ulanish nuqtalari, balki bu chastotalar diapazonida ishlaydigan Bluetooth-qurilmalari ham hosil qilishi mumkin. Hatto oddiy mikroto'lqinli pech ham 2,4 gigagersli diapazondagi bog'lanishlar sifatiga katta ta'sir ko'rsatishi mumkin. O'zaro ta'sirlarni minimallashtirish uchun Wi-Fi uzatkichlarining quvvati qat'iy cheklangan va tartibga solingan. Quvvatli uzatkichdan foydalanish radiochastotalar markazidan (EMM) tasdiqlashni olishni talab qiladi.



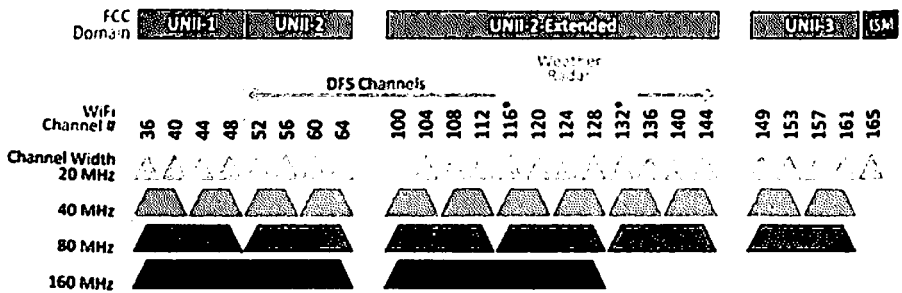
12.13-rasm. Wi-Fi kanallari

Kamroq yuklanganlik va ko'p sonli kanallarning mavjudligi nuqtai nazaridan 5 gigagersli chastotalar diapazoni yanada istiqbolli hisoblanadi.

5 gigagersli diapazon

5 gigagersli chastotalar diapazonida 20 MGsdan bir-birlari bilan kesishmaydigan 23 ta kanallar mavjud. Hatto aytish mumkinki, 5 gigagersli diapazon faqat kesishmaydigan kanallardan tashkil topgan, chunki bunday chastotada kesishish chiqish sezilarli kolliziyalarni keltirib chiqaradi. Bu yerda nafaqat 20/40 MGs kenglikdan, balki 80 MGs kenglikdagi kanallardan (asosiy + yordamchi) foydalanish mumkin. 5 gigagersli diapazonda kanallarning joylashishi 12.14-rasmda keltirilgan [27].

UNII-1 kanallarining birinchi bloki (Lower, pastki) 5180 dan 5240 gacha bo'lgan chastotalar diapazonida yotadi. Bunda 20 MGsdan kesishmaydigan 36, 40, 44, 48-kanallar mavjud.



12.14-rasm. 5 gigagersli diapazon

UNII-2 kanallarining ikkinchi bloki (Middle, o'rt) 5260 dan 5320 gacha bo'lgan chastotalar diapazonida yotadi. Bunda 20 MGsdan kesishmaydigan 52 56 60 64-kanallar mavjud.

UNII-2 kanallarining uchinchi bloki (Extended, kengaytirilgan) 5500 dan 5700 gacha bo'lgan chastotalar diapazonida yotadi. Bunda 20 MGsdan kesishmaydigan 100 104 108 112 116 120 124 128 132 136 140-kanallar mavjud.

UNII-3 kanallarining to'rtinchi bloki 5745 dan 5805 gacha bo'lgan chastotalar diapazonida yotadi. Bunda 20 MGsdan kesishmaydigan 149 153 157 161-kanallar mavjud.

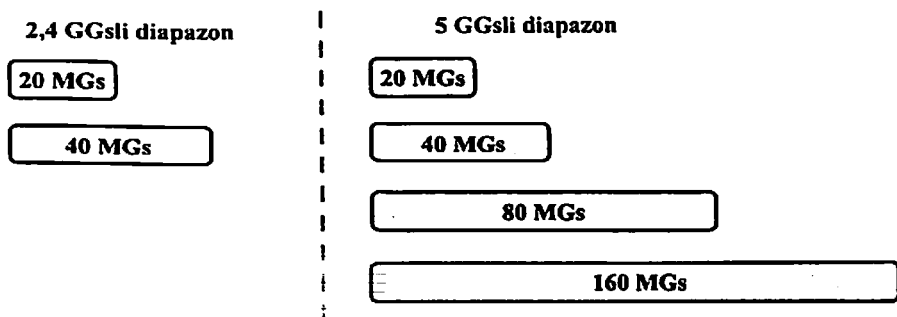
Uchta kanallar guruhi alohida ajratilgan: Japan (5040-5080 diapazondagi 8, 12, 16-kanallar) US Public Safety (4920-4980 diapazondagi 184, 188, 192, 196-kanallar) ISM (5825 chastotadagi 165-kanal)

802.11ac standartida UNII-1, UNII-2 (har ikkalasi) va UNII-3, ya'ni 23 ta kanallardan foydalanish nazarda tutilgan. Bu tufayli kanalning kengligi 80 MGsli kanal kengligidan foydalanishda bir-birilariga kesishmaydigan 5 ta kanallar mumkin bo'ladi. Shu spetsifikatsiya orqali 80 MGsli 2 ta kanallarni birlashtirish imkoniyati ko'zda tutilgan, bu yakunda 160 MGs kenglikni beradi.

Carrier Aggregation – kanallarni agregatsiyalash

Agregatsiyalash deganda bir nechta parallel uzatish kanallarini bitta kanalning mantiqiy birlashtirishni tushunish kerak bo'ladi. Standartlarda 2,4 gigagersli diapazonda 40 MGsli o'tkazish polosasidan foydalanishga ruxsat beriladi. 5 gigagersli diapazonda kanallarning kengligi tarmoqning o'tkazish qobiliyatini oshirish uchun qo'shni

kanallarning chastotalarini egallash bilan kanal kengligini 40, 80, 160 MGsgacha oshirish mumkin (12.15-rasm) [27].



12.15-rasm. Wi-Fi kanallarining bo‘lishi mumkin kengliklari

Bunga agregatsiyalash deyiladi. Keng o‘tkazish polosasidan foydalanilganda bog‘lanishning stabilligi turli xil tarmoqlarning bir-birlariga o‘zaro ta’siri tufayli pasayishi mumkin. Biroq, shubhasiz, kanal kengligining oshishi ma’lumotlarni uzatish tezligini ko‘p marta oshirishga imkon beradi.

Nazorat savollari

1. Wi-Fi tarmoqlari sertifikatlashtirish qanday amalga oshiriladi?
2. Wi-Fi texnologiyasining qo‘llanishi sohalarini sanab o‘ting.
3. Infrastructure Mode simsiz lokal tarmoq sxemasiga misol keltiring va tushuntiring?
4. Adhoc lokal tarmoq sxemasiga misol keltiring va tushuntiring.
5. Access Point Bridge ko‘prikdan foydalanish sxemasiga misol keltiring va tushuntiring.
6. Point-to-point simsiz ko‘prikdan foydalanish sxemasiga misol keltiring va tushuntiring.
7. Hotspot – ommaviy simsiz ulanish zonasi (Wi-Fi zonasi) qanday tashkil etiladi?
8. SOHO simsiz tarmog‘i sxemasi misol keltiring va tushuntiring.
9. Wi-Fi texnologiyasida kanallarni agregatsiyalash nimani anglatadi?

13. IEEEI 802.11 STANDARTLARI HAQIDA ASOSIY TUSHUNCHALAR

13.1. Spektrni kengaytirish texnologiyalari

IEEEI 802.11 - 0,9, 2,4; 3,6 va 5 gigagersli chastotalar diapazonlarida WLAN tarmoqlarida kommunikatsiyalar uchun aloqa standartlari to'plami hisoblanadi [25].

Standartlar ro'yxati (qisman)

Standartni tavsiflashda uning qabul qilingan yili qavs ichida ko'rsatiladi. Tezlik yalpi, ya'ni xizmat trafigini hisobga olgan holda ko'rsatiladi. Odatda, eng ideal sharoitlarda, Wi-Fi bo'yicha ma'lumotlarni uzatish tezligi kanal tezligining 50% dan oshmaydi.

- **802.11** - dastlab 1 Mbit/s va 2 Mbit/s, 2,4 gigagersli va IQ standart (1997).
- **802.11a** - 54 Mbit/s, 5 gigagersli standart (1999 yil, qurilmalarni chiqarilishi 2001 yil).
- **802.11b** - 5,5 va 11 Mbit/sni qo'llash uchun 802.11ga yaxshilanish, 2,4 gigagersli standart (1999).
- **802.11g** - 54 Mbit/s, 2,4 gigagersli standart (802.11b bilan teskari moslashuvchan) (2003).
- **802.11n** - ma'lumotlar uzatish tezligining oshishi (600 Mbit/sgacha). 2,4 yoki 5 gigagersli standart. **802.11a/b/g** standartlar bilan teskari moslashuvchan (2009 yil sentyabr).
- **802.11u** - 802 bo'lmagan (masalan, sotali) tarmoqlar bilan o'zaro ta'sirlashish.
- **802.11v** - simsiz tarmoqlarni boshqarish.
- **802.11y** - bu 3,65-3,70 gigagersli chastotalar diapazonida ishlaydigan qo'shimcha aloqa standarti. Ochiq maydonda 5000 mgacha bo'lgan masofalarda 54 Mbit/sgacha tezlikni ta'minlaydi.
- **802.11ac** - 8 antennalarga ega qurilmalar uchun ma'lumotlarni uzatish tezligi 6,77 Gbit/sgacha (2014 yil yanvar).
- **802.11ad** - qo'shimcha 60 gigagersli diapazonli standart (litsenziyalash talab qilinmaydi). Ma'lumotlar uzatish tezligi - 7 Gbit/sgacha.
- **802.11ah** - ~ 900 MGs diapazonda ishlashga mo'ljallangan standart. 40 Mbit/sgacha tezlikni ta'minlashi ko'zda tutilgan. Asosiy maqsad narsalar Interneti (2007). 2016 yilda Wi-Fi Alliance Wi-Fi HaLow deb nomlangan standartga kengaytirilganligini e'lon qildi.
- **802.11ay** (ikkinchi avlod Wi-Gig) - oldin chiqarilgan 802.11adga nisbatan yaxshilanish hisoblanadi. Shuning uchun 802.11ay

standarti 802.11ad standarti kabi WLAN tarmoqlarining yangi turi bo'lmaydi, aksincha 802.11ay 60 gigagersli diapazondan foydalanishni yanada optimallashtirishga imkon beradi va 176 Gbit/sgacha ma'lumotlarni uzatish tezligini ta'minlaydi. Bu tezliklar 256-QAM modulyatsiyalash, har biri 44 Gbit/sdan bo'lgan to'rtta MIMO oqimlaridan foydalanish va kanalning o'tkazish polosasi 8,64 gigagersgacha oshirilishi tufayli mumkin bo'ldi. Shuningdek, 802.11ay standartida MU-MIMO texnologiyasini qo'shildi. 802.11ay standartining so'nggi versiyasi 2017 yilning oxirida qabul qilingan.

- IEEE 802.11ax (shuningdek, inglizcha *High-Efficiency Wireless*, HEW - yuqori samaradorlikdagi simsiz aloqa) IEEE 802.11 standartlari to'plamidagi simsiz lokal kompyuter tarmoqlari standarti hisoblanadi. IEEE 802.11ax mavjud 2,4 gigagersli va 5 gigagersli spektrda ishlashga mo'ljallangan, ammo ular paydo bo'lishi bilan 1 gigagersdan 7 gigagersgacha bo'lgan diapazonlardagi qo'shimcha chastotalar diapazonlarini o'z ichiga olishi mumkin. MIMO va MU-MIMO texnologiyalaridan (uzatish va qabul qilish uchun bir nechta antennalardan foydalanishdan) tashqari, Wi-Fi 6 standartida spektral samaradorlikni oshirish uchun ortogonal chastota bo'yicha multiplekslash (OFDMA) rejimi va o'tkazish polosasini oshirish uchun 1024-QAM modulyatsiyalashni kiritilgan. Ma'lumotlarning nominal uzatish tezliklari avvalgi IEEE 802.11ac standartidagidan 37 foizga tezroq bo'lishiga qaramay, Wi-Fi 6 standarti spektrdan yaxshiroq foydalanish va zich joylashishni yaxshilash orqali o'rtacha o'tkazish qobiliyatini to'rt baravar oshirishi kutilmoqda. IEEE 802.11ax standartining yakuniy matni 2019 yilda taqdim etilgan. CES 2018 ko'rgazmasida 11 Gbit/sgacha maksimal tezlikni namoyish etadigan qurilmalar namoyish etildi. Standartning yakuniy tasdiqlanishi 2020 yil sentyabr oyida kutilmoqda.

Spektrni kengaytirish signal bazasining ortishiga olib keladigan kuchli chiziqli buzilishlarga (so'nishlarga) ega bo'lgan kanal orqali modulyatsiyalangan signallar yordamida ma'lumotlarni uzatish samaradorligini oshirish usuli hisoblanadi.

Bugungi kundagi mavjud bo'lgan tizimlarda quyidagi uchta usullar qo'llaniladi:

- *ishchi chastotani psevdotasodifiy qayta sozlash* (ICHPTQS inglizcha *frequency-hopping spread spectrum, FHSS*). Usulning mohiyati qabul qilgich va uzatkichga ma'lum bo'lgan ma'lum algoritmgaga muvofiq tashuvchi chastotaning davriy sakrashsimon

o'zgarishidan iborat. Usulning afzalligi amalga oshirishning oddiyligi, kamchiligi esa har bir sakrashda ma'lumotlar oqimining kechikishlari hisoblanadi. Usul Bluetooth texnologiyasida ishlatiladi. Chastotaning kam o'zgarishili (*Slow frequency hopping*) o'xshash usullar GSM uchun taklif qilingan;

- to'g'ri ketma-ketlik usulida spektrni kengaytirish (inglizcha *direct sequence spread spectrum, DSSS*). Usul samaradorligi bo'yicha ICHPTQS usulidan ustun, ammo uni amalga oshirish qiyinroq. Usulning mohiyati oshirilgan modulyatsiyalash takt chastotasidan iborat, bunda uzatiladigan xabarning har bir simvoliga ma'lum yetarlicha uzun psevdotasodifiy ketma-ketlik (PTKK) bilan moslik o'rnatiladi. Usul CDMA va IEEE 802.11 (Wi-Fi) standartlari kabi tizimlarda qo'llaniladi;

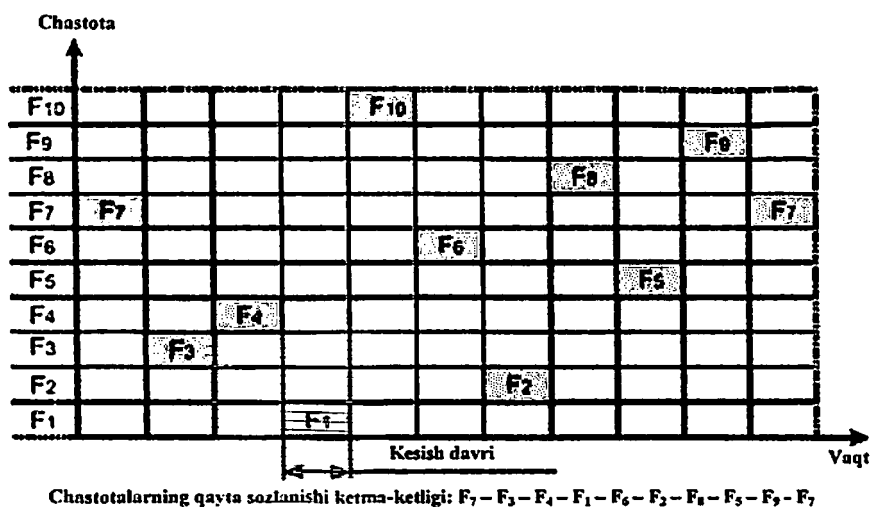
- chiziqli chastotaviy modulyatsiyalash usuli bilan spektrni kengaytirish (inglizcha *chirp spread spectrum, CSS*). Usulning mohiyati tashuvchining chastotasini chiziqli qonun bo'yicha qayta sozlashdan iborat. Usul radiolokatsiya va ayrim radiomodemlarda qo'llaniladi.

Dastlab kengaytirilgan spektr usuli razvedka va harbiy maqsadlarda yaratilgan. Usulning asosiy g'oyasi axborot signalini radiokanalning keng diapazoniga taqsimlashdan iborat, bu yakunda signalni so'ndirilishi yoki qo'lga kiritilishini sezilarli darajada murakkablashtiradi. Dastlabki ishlab chiqilgan kengaytirilgan spektr sxemasi chastotani qayta sozlash usuli sifatida ma'lum. Zamonaviy kengaytirilgan spektri sxemasi to'g'ridan-to'g'ri ketma-ket kengaytirish usuli hisoblanadi. Har ikkala usullar turli simsiz aloqa standartlari va qurilmalarida qo'llaniladi.

Chastota sakrashsimon qayta sozlanadigan spektrni kengaytirish (Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS)

Radioalmashinuvni qo'lga kiritish yoki tor polosali shovqin bilan so'ndirish mumkin bo'lmasligi uchun keng chastotalar diapazoni chegaralarida uzatishni amalga oshirish taklif etilgan [26]. Natijada signalning quvvati butun diapazon bo'yicha taqsimlangan va qandaydir ma'lum chastotani yashirin eshitish faqat uncha katta bo'lmagan shovqinni bergan. Tashuvchi chastotalarning ketma-ketligi faqat uzatkich va qabul qilgichga ma'lum bo'lgan psevdotasodifiy ketma-ketlik bo'lgan. Qandaydir tor diapazonda signalni so'ndirishga urinish signalni unchalik yomonlashtirmagan, chunki faqat ma'lumotlarning uncha katta bo'lmagan qismi so'ndirilgan.

Bu usulning g'oyasini 13.1-rasm ko'rsatadi.



13.1-rasm. Chastotani sakrashesimon qayta sozlanishi orqali spektrni kengaytirish

Qayd etilgan vaqt intervali davomida uzatish o'zgarmas tashuvchi chastotada olib boriladi. Har bir tashuvchi chastotada diskret ma'lumotlarni uzatish uchun *FSK* yoki *PSK* kabi standart modulyatsiyalash usullari qo'llaniladi. Qabul qilgich uzatkich bilan sinxronlashishi uchun, har bir uzatish davrini boshlanishini belgilash uchun qandaydir vaqt davomida sinxron bitlar uzatiladi. Shunday ekan bu kodlash usulining foydali tezligi sinxronlashtirishga doimiy ustama sarflar tufayli kichik bo'lib qoladi.

Tashuvchi chastota psevdotasodifiy sonlar algoritmi ishlab chiqaradigan chastotalar nimkanallari raqamlariga muvofiq o'zgaradi. Psevdotasodifiy ketma-ketlik boshlang'ich son deyiladigan ma'lum parametrغا bog'liq bo'ladi. Agar qabul qilgich va uzatkichga algoritm va boshlang'ich son ma'lum bo'lsa, u holda ular chastotani psevdotasodifiy qayta sozlanishi ketma-ketligi deyiladigan bir xil ketma-ketlikda chastotani o'zgartiradi.

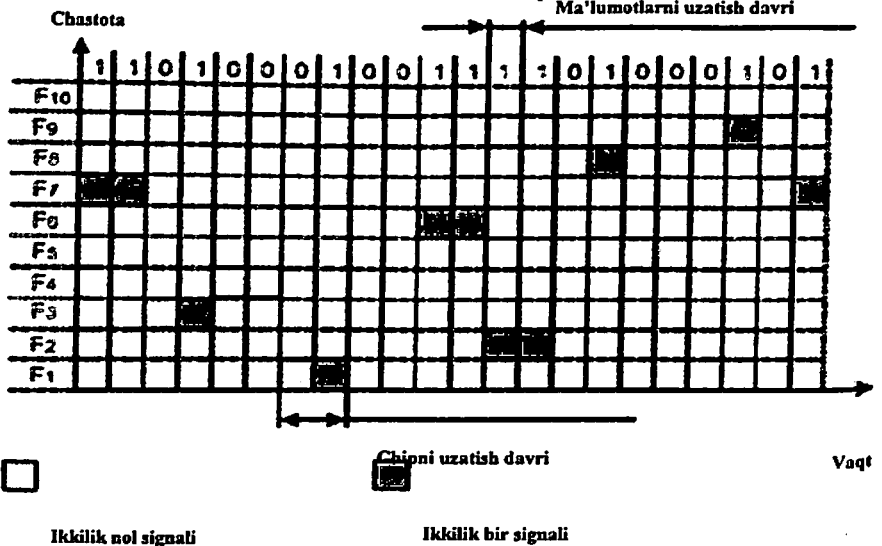
Agar nimkanallarni almashtirish chastotasi kanalda ma'lumotlarni uzatish tezligidan past bo'lsa, u holda bunday rejim spektrni sekin kengaytirish rejimi deyiladi (13.2a-rasm), aks holda spektrni tez kengaytirish rejimi deyiladi (13.2b-rasm).

Spektrni tez kengaytirish usuli halaqitlarga barqarorroq, chunki ma'lum kanalda signalni so'ndiradigan tor polosali halaqitlar bitni

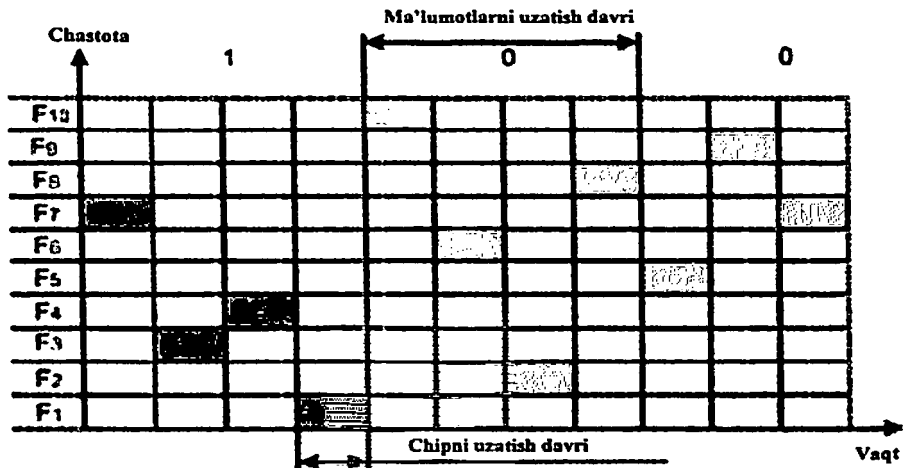
yo'qotilishiga olib kelmaydi, chunki uning qiymati turli chastotalar nimkanallarida bir necha marta takrorlanadi.

Bu rejimda simvollararo interferensiya samarasi namoyon bo'lmaydi, chunki yo'llardan biri bo'ylab kechikkan signalni kelishi vaqtiga tizim boshqa chastotaga o'tishga ulguradi. Spekrni sekin kengaytirish usuli bunday xossalarga ega emas, lekin ishlatishda oddiy va kam ustama narxlarga ega.

FHSS usulida chastotalar diapazonidan foydalanishga yondashish boshqa kodlash usullaridagi kabi emas, tor polosani tejamli sarflash o'rniga butun mumkin diapazonni egallashga urinish amalga oshiriladi. Bir qarashda bu unchalik samarali tuyulmaydi, axir vaqtning har bir momentida diapazonda faqat bitta kanal ishlaydi.



a) Spekrni sekin kengaytirish rejimi



b) Spekrtni tez kengaytirish rejimi

Ikkilik nol signali

Ikkilik bir signali

13.2-rasm. Ma'lumotlarni uzatish tezligi va nimkanallarni almashishi chastotasi orasidagi nisbat

Lekin bu hamma vaqt ham to'g'ri emas, kengaytirilgan spektr kodlaridan bir necha kanallarni keng diapazonda multiplekslash uchun ham foydalanish mumkin.

Xususan, *FHSS* usullari vaqtning har bir momentida har bir kanal o'z chastotasida ishlashi uchun har bir kanal uchun bunday psevdotasodifiy ketma-ketliklarni tanlash yo'li bilan (albatta, buni, agar kanallar soni chastotalar nimkanallari sonidan ortiq bo'lmasa amalga oshirish mumkin) bir necha kanallarni bir vaqtda ishlashini tashkil etishga imkon beradi.

Spekrtni to'g'ridan-to'g'ri ketma-ket kengaytirish (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS)

Spekrtni to'g'ridan-to'g'ri ketma-ket kengaytirish usulida ham bitta simsiz aloqa liniyasi uchun ajratilgan butun chastotalar diapazonidan foydalanadi. *FHSS* usulidan farqli ravishda butun chastotalar diapazoni chastotadan chastotaga doimiy qayta ulanishlar hisobiga emas, balki ma'lumotlar har bir biti N -bit bilan almashtirilishi hisobiga egallanadi, shuning uchun signal uzatilishining taktli tezligi N marta ortadi. Va bu, o'z navbatida, signal spektri ham N marta kengayishini anglatadi. Signal spektri butun diapazonni to'ldirishi

uchun ma'lumotlarni uzatish tezligi va N qiymatni mos ravishda tanlash yetarli bo'ladi [26].

FHSS usulidagi kabi *DSSS* usulida kodlashdan maqsad halaqitlarga qarshi barqarorlikni oshirish hisoblanadi. Tor polosali halaqitlar faqat signal spektrining ma'lum chastotalarini buzadi, shuning uchun qabul qilgich katta ehtimollik darajasida uzatilgan ma'lumotni to'g'ri taniy oladi.

Dastlabki ma'lumotlarning ikkilik birligini almashtiradigan kod kengaytiradigan ketma-ketlik, bunday ketma-ketlikning har bir biti chip deyiladi.

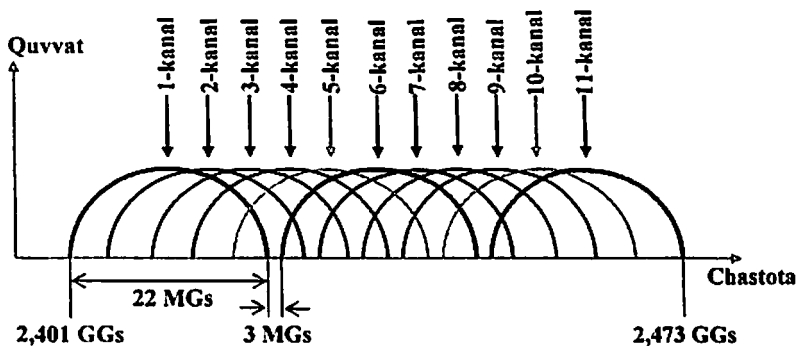
Shunga ko'ra, natijaviy kodni uzatish tezligi *chip tezligi* deyiladi. Ikkilik nol kengaytiradigan ketma-ketlikning invers qiymati bilan kodlanadi. Qabul qilgichlar uzatilayotgan ma'lumotlarni tushunish uchun uzatkich foydalanadigan kengaytiradigan ketma-ketlikni bilishi kerak.

Kengaytiradigan ketma-ketlikdagi bitlar soni dastlabki kodning kengaytirish koeffitsientini aniqlaydi. *FHSS* usulida bo'lganidek, natijaviy kodning bitlarini kodlash uchun istalgan modulyatsiyalash, masalan, *BFSK* ishlatilishi mumkin.

Kengaytish koeffitsienti qanchalik katta bo'lsa, natijaviy signalning spektri shunchalik keng va halaqitlarni so'ndirish darajasi shunchalik yuqori bo'ladi. Lekin bunda kanal egallaydigan spektr diapazoni ortadi. Odatda kengaytirish koeffitsienti 10 dan 100 gacha qiymatlarga ega.

DSSS usuli spektrni tez kengaytirish usuliga qaraganda halaqitlarga nisbatan kam barqarorlikka ega, chunki quvvatli tor polosali halaqitlar spektrning bir qismiga, demak, birlarni yoki nollarni tanib olish natijasiga ta'sir qiladi.

DSSS simsiz lokal tarmoqlar 22 MGs kenglikdagi kanallardan foydalanadi, Shu tufayli ko'plab simsiz lokal tarmoqlar o'sha bir qamrab olish zonasida ishlashi mumkin. Shimoliy Amerika va Yevropaning katta qismida, shu jumladan O'zbekistonda 22 MGs chastotali kanallar 2,4 - 2,473 gigagersli diapazonda uchta bir-birlariga qoplanmaydigan uzatish kanallarini yaratishga imkon beradi. Bu kanallar 13.3-rasmda keltirilgan.



13.3-rasm. DSSS texnologiyasida ishlatiladigan kanallar

13.2. MIMO va Beamforming texnologiyalari

MIMO - Multiple Input Multiple Output

MIMO texnologiyasi Wi-Fi texnologiyalarining rivojlanishiga katta ta'sir ko'rsatdi. Bir necha yillar oldin, hech kim o'tkazish qobiliyati sekundiga yuzlab megabit bo'lgan simsiz qurilmalar bo'ladi deb o'ylamagan edi. 802.11n standartdan boshlab yangi yuqori tezlikda aloqa standartlarining paydo bo'lishi asosan MIMO texnologiyasiga bog'liq [28].

MIMO texnologiyasining berish mumkin eng oddiy ta'rifi ma'lumotlarni ko'p oqimli uzatish hisoblanadi. Qisqartma inglizchadan "bir nechta kirishlar, bir nechta chiqishlar" sifatida tarjima qilinadi. Uning avlodidan (Single Input/Single Output) farqli ravishda MIMO qo'llanadigan qurilmalarda signal bitta radiokanalda bir nechta qabul qilgichlar va uzatkichlar yordamida uzatiladi.

MIMO texnologiyasining asosiy xususiyatlaridan biri bu uzatish va qabul qilishga ishlaydigan antennalarni soni hisoblanadi. U $N \times M$ bilan belgilanadi, bu yerda N - uzatish antennalarining soni, M - qabul qilish antennalarining soni. Masalan, 3×2 turdagi MIMO radiotizimda 3 ta uzatish antenasi va 2 ta qabul qilish antenasi bo'lishini anglatadi. Bundan tashqari, MIMO texnologiyasida fazoviy multiplekslash qo'llaniladi. Boshqacha aytganda, bir nechta paketlar ma'lumotlarini bir vaqtda bitta kanal orqali uzatish texnologiyasi hisoblanadi. Kanalning bu "zichlashtirilishi" tufayli uning o'tkazish qobiliyati ikki baravar yoki undan ortiq bo'lishi mumkin.

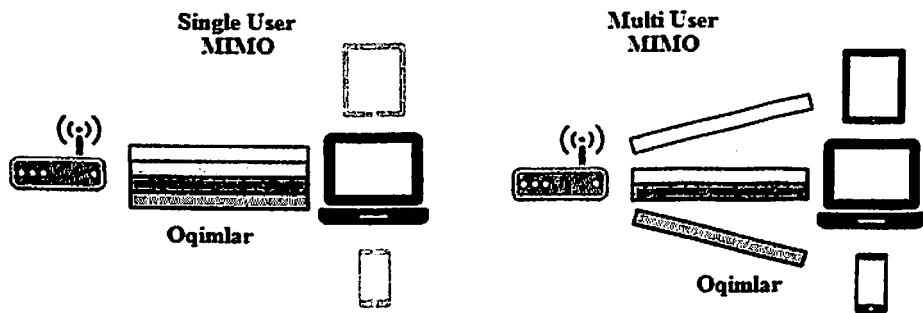
Wi-Fi ma'lumotlarni simsiz texnologiyasi yuqori talabga ega bo'lishi bilan oq tezlikka talablar ham tez orta boshladi. Birinchi marta MIMO texnologiyasi 802.11n standartida paydo bo'ldi, bu simsiz ulanishning kanal tezligini 54 Mbit/s dan 600 Mbit/sgacha oshirishga imkon berdi. 802.11n standarti ham 20 MGsli standart kanal kengligidan, ham 40 MGsli keng polosali liniyadan foydalanishga imkon beradi. Shunday qilib, hozirda ishlatilayotgan bir necha barobar oshirilgan kanallar o'tkazish qobiliyatini olish mumkin. MIMO texnologiyasini kengroq kanal o'tkazish qobiliyati bilan birlashtirish yordamida fizik uzatish tezligini oshirishning juda kuchli usuli olinadi.

MIMO texnologiyasining turlari

Ma'lumotlar bir vaqtning o'zida uzatiladigan turli foydalanuvchilar soni uchun ikkita turlar texnologiyalar mavjud (13.4-rasm) [25]:

- **SU-MIMO** tizimi yagona foydalanuvchi uchun tizim (Single User - SU) hisoblanadi. Ma'lum vaqt oralig'ida ma'lumotlar oqimlari faqat bitta foydalanuvchiga uzatilishida foydalaniladi. Texnologiya bitta qurilmaga ko'p kanalli kirish va chiqish oqimlarini taqdim etadi. Belgilangan Wi-Fi qurilmasi ma'lumotlarni qabul qilayotganda yoki olayotgan boshqa foydalanuvchilar kutish rejimida bo'ladi.

- **MU-MIMO** tizimi bir nechta foydalanuvchilar uchun tizim (Multi User - MU) hisoblanadi. Bir nechta foydalanuvchilariga bir vaqtda ma'lumotlar oqimlarini olish imkonini beradi. U SU-MIMO texnologiyasiga asoslanadi, lekin ulanish nuqtasiga bir vaqtning o'zida bir nechta qurilmalar bilan aloqa o'rnatishga imkon beradi. MU-MIMO tizimi bir vaqtda 4 ta ma'lumotlar oqimini uzatish bilan 4 ta bir vaqtdagi bog'lanishlarni hosil qiladi. Natijada, foydalanuvchilar ulanishni bo'lishmaydi va tarmoqning unumdorligi yaxshilanadi.



13.4-rasm. SU va MU-MIMO texnologiyalari o'rtasidagi farq

Texnologiyaning o'ziga xos xususiyatlari

802.11ax standarti paydo bo'lishidan oldin MU-MIMO faqat 5 gigagersli diapazonda ishlagan. 802.11ax paydo bo'lishi bilan MU-MIMO 2,4 gigagersli diapazonda ham mumkin bo'ldi. Tarmoq qurilmalari bozorida bu texnologiyani qo'llaydigan ikkita diapazonli routerlar tobora ko'payib bormoqda.

MU-MIMO texnologiyasi Beamforming texnologiyasidan foydalanadi. Bu texnologiya tufayli signallar xaotik ravishda tarqalmaydi, balki simsiz qurilma yo'nalishi bo'yicha tarqaladi. Bu yo'naltirilganlik signalni uzatish masofasini va ma'lumotlarni uzatish tezligini oshirishga imkon beradi [28].

Afsuski, cheksiz ko'p foydalanuvchilarga va ma'lumotlar oqimlariga xizmat ko'rsatish mumkin emas. Masalan, uchta oqimlarni qo'llaydigan router faqat uchta Wi-Fi qurilmalari bilan bir vaqtda kechikishsiz ishlashi mumkin.

Usulning afzalliklaridan foydalanish uchun qabul qilish qurilmasi MU-MIMO texnologiyasini qo'llashi kerak. Bunday holda, bitta antenna yetarli bo'ladi va foydalanuvchi qurilmasi ma'lumotlar oqimini routerdan qabul qiladi.

Smartfonlar, routerlar, ulanish nuqtalari va boshqa tarmoq qurilmalarini ishlab chiqaruvchi kompaniyalar bu texnologiya qo'llashni allaqachon ularga kiritgan. Ishlab chiqaruvchilarning kafolat berishlaricha, ko'plab zamonaviy qurilmalarda ular MU-MIMO texnologiyasini qo'llalash uchun apparatlar talablarini ham hisobga oldi va endi qurilmadagi dasturiy ta'minotni yangilash yetarli bo'ladi va foydalanuvchi bu texnologiyani qo'llashni oladi.

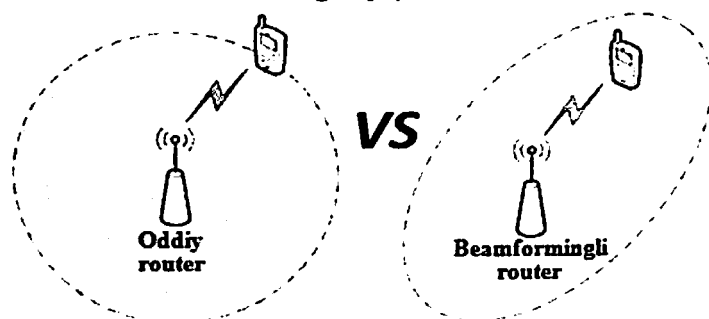
MU-MIMO arxitekturasi yordamida uzatiladigan signalni qo'lga kiritish qiyin, bu simsiz tarmoqning xavfsizligini oshiradi.

Texnologiyalarni rivojlantirishning dastlabki bosqichlarida MIMO texnologiyasini qo'llaydigan va qo'llamaydigan qurilmalarni birlashtirish qiyin edi. Biroq, hozirgi vaqtda bu juda dolzarb emas, deyarli har bir zamonaviy simsiz qurilmalarni ishlab chiqaruvchilari o'z qurilmalarida bu texnologiyadan foydalanadi. Shuningdek, ko'p sonli qabul qilgichlar va uzatkichlar yordamida ma'lumotlarni uzatish texnologiyasining paydo bo'lishidagi muammolardan biri bu qurilmaning narxi bo'ldi.

Beamforming – nurni avtomatik nurlantirish

So'nggi Wi-Fi-marshrutizatorlarida ko'pincha "Beamforming" deyiladigan "opsiyani" ko'rish mumkin (13.5-rasm). Beamforming zamonaviy Wi-Fi qurilmalarining texnik ko'rsatkichlariga ko'ra, nurlantiriladigan signalni odatdagidek barcha tomonlarga emas, balki abonentlar tomonga yo'naltirishga imkon beradigan texnologiya hisoblanadi. Bu signal-shovqin nisbatini va natijada ma'lumotlarni uzatish tezligini oshiradi [28].

Bu ayniqsa, signallarga turli xil to'siqlar va litsenziyalanmaydigan 2,4 va 5 gigagersli chastotalar diapazonida ishlaydigan boshqa ko'plab radiohalaqitlar manbalari bo'ladigan joylarda dolzarb.



13.5-rasm. Beamforming – nurni avtomatik shakllantirish

Shuni ta'kidlash kerakki, beamforming texnologiyasini qurilmalarga joriy etishda asosiy qiyinchilik - bu to'g'ri dasturiy ta'minot bilan birgalikda antennani sozlashning murakkabligi hisoblanadi. Routerlarning qimmat bo'lmagan modellarida beamforming texnologiyasining bo'lishi ko'pincha shunchaki marketing ishi hisoblanadi. Xonaning olis joylarida qabul qilish barqarorligini sezilarli darajada oshirishga erishilmaydi. Beamforming bu qurilmalarning ikkinchi avlodida (wave 2) 802.11ac standartidan beri standartning bir qismi bo'lib qoldi.

Wi-Fi tarmoqlarida modulyatsiyalash va kodlash sxemalari

Modulation and Coding Scheme (modulyatsiyalash va kodlash sxemalari) - MCS modulyatsiyalash va kodlash sxemalarining umumiy qabul qilingan qisqartmasi bo'lib, bu bir vaqtning o'zida bir nechta signallarni uzatish parametrlarini bildiradi [25].

Modulyatsiyalash turi. Modulyatsiyalash ma'lumotlarni uzatish usuli hisoblanadi. Modulyatsiyalash qanchalik murakkab bo'lsa,

ma'lumotlarni uzatish tezligi shunchalik yuqori bo'ladi. Murakkabroq modulyatsiyalash yaxshi uzatish sharoitlari, past halaqitlar sathlari va signallarni o'tishi yo'lida to'siqlarni bo'lmasligini talab qiladi.

Ma'lumotlarni kodlash tezligi. Bu parametr ma'lumotlar oqimining qancha qismi "foydali" ma'lumotlarini uzatish uchun ishlatilishini ko'rsatadi. Bu qiymat kasr ko'rinishida, masalan, ishlatilgan ma'lumotlar oqimining 5/6 yoki 83,3% qismi ifodalanadi.

Fazoviy oqimlar soni. Hozirgi vaqtda MIMO texnologiyasidan foydalanish bilan 8 tagacha fazoviy oqimlarni uzatish mumkin. Aslida, bu o'sha bir chastotalar polosasini bir nechta ma'lumotlar oqimlarini uzatish va qabul qilish uchun ishlatishga imkon beradi.

Uzatish kanalining kengligi. Bu qiymat uzatish uchun qanday kanal kengligidan foydalanilishini aniqlaydi. Kanal kengligi 2,4 gigagersli diapazon uchun maksimal 40 MGs va 5 gigagersli diapazon uchun 160 MGs bo'lishi mumkin. 60 gigagersli diapazonda kanal kengligi 2 gigagersgacha bo'lishi mumkin (802. 11ad/ayy standarti).

Himoya intervalining davomiyligi. Himoyalash intervali aslida istalgan xato ma'lumotlarni inkor qilish uchun paketlarning uzatilishi orasidagi juda qisqa pauza hisoblanadi. Kattaroq himoya intervali ishonchliroq simsiz aloqani ta'minlaydi.

MCS indeksi qanchalik yuqori bo'lsa, yuqorida sanab o'tilgan uzatish parametrlari shunchalik "murakkab" bo'ladi. Turli xil Wi-Fi standartlari uchun MCS indeksleri 13.1-jadvalda keltirilgan.

Wi-Fi tarmoqlarida MCS kodlash

Wi-Fi standartlari uchun MCS qiymatlari

SNR signal/shovqin	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Modulatsiya
802.11b 20 MHz	None	None	None	MCS 1	MCS 2	MCS 3	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 1	None = Grey
802.11ag 20 MHz	None	MCS 1	MCS 2	MCS 3	MCS 2	MCS 2	MCS 2	MCS 2	MCS 3	MCS 3	QPSK = Orange
802.11n 20 MHz	None	MCS 1	MCS 2	MCS 3	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 2	MCS 2	QPSK = Orange
802.11n 40 MHz	None	None	None	None	MCS 1	MCS 2	MCS 3	MCS 1	MCS 1	MCS 1	16-QAM = Yellow
802.11ac 20 MHz	None	MCS 1	MCS 2	MCS 3	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 2	MCS 2	16-QAM = Yellow
802.11ac 40 MHz	None	None	None	None	MCS 1	MCS 2	MCS 3	MCS 1	MCS 1	MCS 1	256-QAM = Green
802.11ac 80 MHz	None	None	None	None	None	None	None	MCS 1	MCS 1	MCS 1	256-QAM = Green
802.11ac 160 MHz	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None

SNR signal/shovqin	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	802.11b
802.11b 20 MHz	MCS 2	MCS 2	MCS 2	MCS 2	MCS 2	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 1 - DQPSK
802.11ag 20 MHz	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 6	MCS 6	MCS 7	MCS 2 - DQPSK
802.11n 20 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 5	MCS 5	MCS 6	MCS 3 - DQPSK
802.11n 40 MHz	MCS 1	MCS 2	MCS 2	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 3 - DQPSK
802.11ac 20 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 5	MCS 5	MCS 6	
802.11ac 40 MHz	MCS 1	MCS 2	MCS 2	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 4	MCS 4	
802.11ac 80 MHz	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 2	MCS 2	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	
802.11ac 160 MHz	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 1	MCS 2	MCS 2	MCS 3	

SNR signal/shovqin	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	802.11g
802.11b 20 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 1 - BPSK
802.11ag 20 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 1 - BPSK
802.11n 20 MHz	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 2 - QPSK
802.11n 40 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 7	MCS 7	MCS 3 - QPSK
802.11ac 20 MHz	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 8	MCS 8	MCS 4 - 16-QAM
802.11ac 40 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 5 - 16-QAM
802.11ac 80 MHz	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 6 - 64-QAM
802.11ac 160 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 4	MCS 4	MCS 5	MCS 5	MCS 6	MCS 6	MCS 7 - 64-QAM

SNR signal/shovqin	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	802.11n
802.11b 20 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 1 - QPSK
802.11ag 20 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 1 - QPSK
802.11n 20 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 2 - QPSK
802.11n 40 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 3 - 16-QAM
802.11ac 20 MHz	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 4 - 16-QAM
802.11ac 40 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 5 - 64-QAM
802.11ac 80 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 6 - 64-QAM
802.11ac 160 MHz	MCS 6	MCS 6	MCS 6	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 8	MCS 8	MCS 8	MCS 7 - 64-QAM

SNR signal/shovqin	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	802.11ac
802.11b 20 MHz	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 3	MCS 1 - QPSK
802.11ag 20 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 2 - QPSK
802.11n 20 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 3 - 16-QAM
802.11n 40 MHz	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 7	MCS 3 - 16-QAM
802.11ac 20 MHz	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 4 - 16-QAM
802.11ac 40 MHz	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 5 - 64-QAM
802.11ac 80 MHz	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 6 - 64-QAM
802.11ac 160 MHz	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 9	MCS 7 - 64-QAM

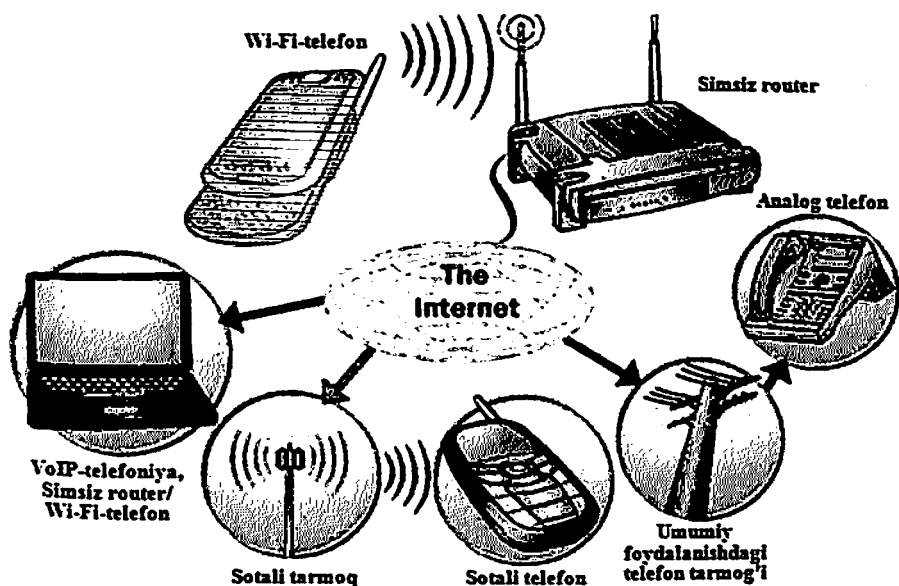
13.3. Wi-Fi texnologiyasining afzalliklari va kamchiliklari

Wi-Fi texnologiyasining afzalliklari

Kabellarsiz tarmoqni qurish imkoniyatini beradi, bu tarmoqni qurish yoki kengaytirish xarajatlarini kamaytirishi mumkin (13.6-rasm).

Kabellarni o'tkazish mumkin bo'lmaydigan joylarda, masalan, binolardan tashqarida va tarixiy ahamiyatga ega binolarda simsiz tarmoqlar orqali xizmat ko'rsatish mumkin. Tarmoqqa mobil qurilmalarni ulanishiga ruxsat etadi.

Wi-Fi qurilmalari bozorda keng tarqalgan. Qurilmalarning Wi-Fi logotipi bilan majburiy sertifikatlanishi tufayli qurilmalarning moslashuvchanligi kafolatlanadi [25].



13.6-rasm. Wi-Fi texnologiyasining afzalliklari

Wi-Fi texnologiyasining kamchiliklari

- Turli mamlakatlardagi chastotalar diapazonlari va ishlash chegaralari bir xil emas. Ko'pgina Yevropa mamlakatlarida AQShda ta'qiqlangan ikkita qo'shimcha kanallarga ruxsat beriladi; Yaponiyada diapazonning yuqori qismida yana bir kanal mavjud, boshqa davlatlar, masalan, Ispaniya past chastotali kanallardan foydalanishni ta'qiqlaydi. Bundan tashqari, ba'zi bir mamlakatlar, masalan, Rossiya, Belorusiya va Italiyada barcha tashqi Wi-Fi tarmoqlarini ro'yxatdan o'tkazish talab qilinadi yoki Wi-Fi operatorini ro'yxatdan o'tishini talab qilinadi [28].

- boshqa standartlarga nisbatan yuqori quvvat iste'moli, bu batareyaning ishlash muddatini qisqartiradi va qurilmaning haroratini oshiradi.

- eng ommaviy WEP shifrlash standarti hatto to'g'ri konfiguratsiyada (algoritmning kuchsizligi tufayli) nisbatan osonlikcha buzib kirilishi mumkin. Yangi qurilmalar mukammalroq WPA va WPA2 ma'lumotlarini shifrlash protokollarini qo'llashiga qaramay, ko'plab eski ulanish nuqtalari uni qo'llamaydi va ularni almashtirish kerak. 2004 yilning iyun oyida IEEE 802.11i (WPA2) standartining qabul qilinishi yangi apparatlarda xavfsizroq sxemani yaratdi. Har ikkala sxemalar odatda foydalanuvchilar tomonidan tayinlanadigan parolga qaraganda qat'iyroq parolni talab qiladi. Ko'plab tashkilotlar suqulib kirishni oldini olish uchun qo'shimcha shifrlashdan (masalan, VPNdan) foydalanadi.

- Wi-Fi cheklangan ishlash radiusiga ega. Oddiy 802.11b yoki 802.11g standartlaridagi Wi-Fi-router binolarda 45 m va ochiq havoda 500 m ishlash radiuslarida ishlaydi. Wi-Fi qurilmalari orasidagi mikroto'liqlik yoki oyna signalni kuchsizlantiradi. Masofa chastotaga ham bog'liq.

- yopiq yoki shifrlashni ishlatadigan ulanish nuqtasi va bitta yoki qo'shni kanallarda ishlaydigan ochiq ulanish nuqtasi signallarining ustma-ust tushishi ochiq ulanish nuqtasiga ulanishni ta'qiqlashi mumkin. Bu muammo, masalan, ko'plab aholi o'zlarining Wi-Fi ulanish nuqtalarini o'rnatadigan katta ko'p qavatli uylarda ulanish nuqtalarning katta zichligida yuzaga kelishi mumkin.

- turli ishlab chiqaruvchilarning qurilmalari o'rtasida to'liq mos kelmaslik yoki standartga to'liq mos kelmaslik cheklangan bog'lanish imkoniyatlarining cheklanishi yoki tezlikni pasayishiga olib kelishi mumkin.

- yomg'ir yog'ayotgan paytda tarmoqning unumdorligi pasayadi.

- yomon ob-havo sharoitlarida yo'qotishlarni kamaytirish uchun Wi-Fi tarmog'ini hisoblashda uzatkich quvvatining uchdan bir qismigacha bo'lgan qurilmalarni o'rnatish qabul qilingan.

- katta hajmdagi xizmat ma'lumotlarining ulanishi tufayli kichik ma'lumotlar paketlarini uzatishda qurilmaning ortiqcha yuklanishi.

- real vaqtda media-oqimlardan foydalanadigan ilovalarning (masalan, IP-telefoniyada ishlatiladigan RTP protokolining) ishlashi uchun past yaroqlilik: foydalanuvchi nazorat qilmaydigan qator omillarga (atmosfera halaqatlari, landshaft va boshqalarga) bog'liq bo'lgan ma'lumotlarni uzatishdagi bo'lishi mumkin katta yo'qotilishi tufayli media-oqimning sifatini oldindan aytib bo'lmaydi. Bu kamchilikka qaramay, 802.11b/g qurilmalari asosidagi ko'plab VoIP

qurilmalari ishlab chiqariladi, ular shu jumadan korporativ segmentga yo'naltirilgan: ammo, aksariyat hollarda, bunday qurilmalar uchun hujjatlarda aytiladiki, aloqa sifati radiokanalning barqarorligi va sifati orqali aniqlanadi.

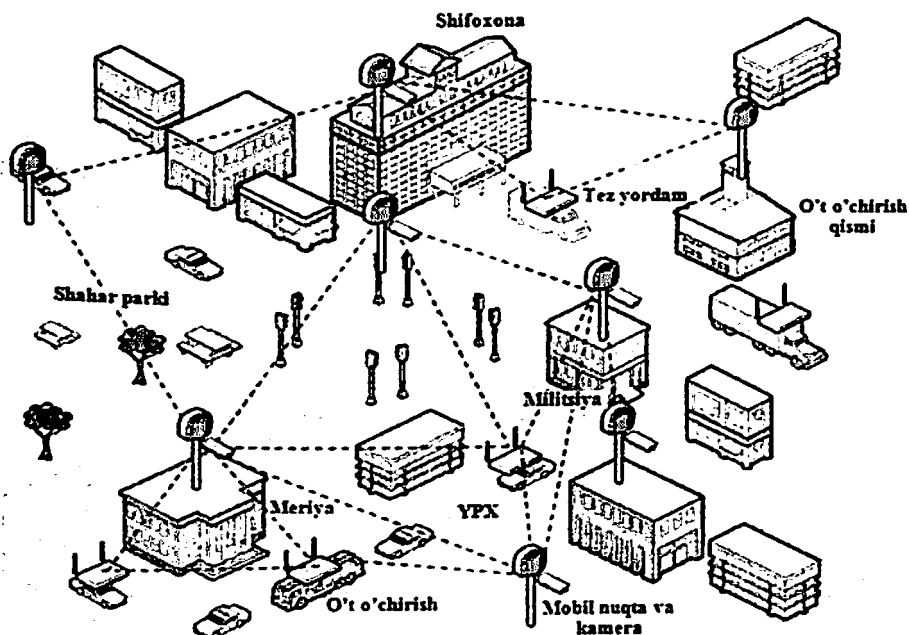
13.4. Wi-Fi Mesh-tizimlarning (tarmoqlarning) qo'llanishi

Wireless mesh networks uzluksiz simsiz ulanish amalga oshiriladigan texnologiya hisoblanadi. Mesh tarmoqlar butun shaharlarni osongina, samarali va muammosiz ravishda bog'lashi mumkin. To'rtli tarmoqda (Mesh) tarmoq bog'lanishi katta maydonlarda tarmoq bog'lanishlarini birgalikda ishlatish uchun bir-birlari bilan aloqa qiladigan o'nlab yoki hatto yuzlab simsiz tarmoq tugunlari orasida taqsimlanadi. To'rtning tugunlari simsiz marshrutizator kabi ishlaydigan kichik radiouzatkichlar hisoblanadi. Tugunlar foydalanuvchilar bilan simsiz aloqa o'rnatish uchun, eng muhimi, bir-birlari bilan simsiz aloqa o'rnatish uchun 802.11a/b/g/n/ac/s sifatida ma'lum bo'lgan umumiy Wi-Fi standartlaridan foydalanadi [28].

Tugunlar dasturiy ta'minot yordamida dasturlashtirilgan bo'lib, dasturiy ta'minot ularga katta tarmoq bilan qanday o'zaro ta'sirlashish kerakligini ko'rsatadi. Ma'lumotlar tarmoq bo'ylab A nuqtadan B nuqtaga, simsiz ravishda to'rtning bir tugunidan ikkinchisiga uzatiladi. Tugunlar avtomatik ravishda dinamik marshrutlashtirish deyiladigan jarayonda eng tez va xavfsiz yo'lni tanlaydi. Aksariyat an'anaviy simsiz ulanish nuqtalari hali ham o'z signallarini uzatish uchun Internetga ulangan bo'lishi kerak.

Simsiz Mesh tarmog'ida faqat bitta tugun tarmoqqa bog'lanishga, masalan, Internet-modemga ulanish kerak. Keyin bu simli tugun Internetga simsiz bog'lanishni atrofdagi boshqa barcha tugunlarga uzatadi. Keyin bu tugunlar o'zlariga eng yaqin tugunlarga simsiz bog'lanishdan foydalanadi.

Tugunlar qanchalik ko'p bo'lsa, ulanish shunchalik katta masofalarga tarqaladi, kichik ofisga yoki hatto butun shaharga xizmat qila oladigan simsiz "bog'lanish buluti" yaratiladi (13.7-rasm).



13.7-rasm. Wi-Fi Mesh-tarmoqlarning qo'llanishi

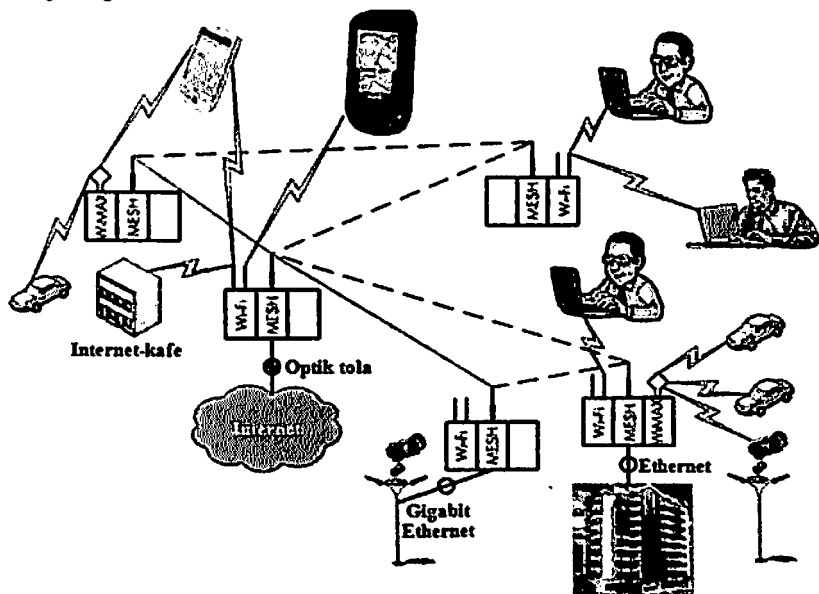
Tarmoq arxitekturası

Mesh tarmoqlari lokal va taqsimlangan shahar tarmoqlarini qurishda, multimediali sensorlar tarmoqlarini joylashtirishda va boshqalarda keng qo'llaniladi. Mesh tarmoqlarni qurishning asosiy prinsipi adaptiv o'z-o'zidan arxitekturani tashkil etish hisoblanadi. U "har bir har bir bilan" tarmoq topologiyasini amalga oshirish, alohida komponentlar ishdan chiqqanda tarmoqning yashovchanligi, tarmoqning tarmoqning masshtablanuvchanligi (o'z-o'zini tashkil qilish rejimida axborot qamrab olish maydonini kengaytirishish), trafikni dinamik marshrutlashtirish, tarmoqning holatini nazorat qilish va boshqalarni ta'minlaydi [28].

Mesh-tarmoq tugunlari qo'shni tugunlar orasidagi masofa 500 m dan oshmasligi uchun ko'p qavatli binolarda, minoralarda va boshqalarda joylashgan bo'lishi kerak. Abonentlar tarmoqning ma'lum tugunlariga (yoki har biriga) simli, Wi-Fi-, WiMAX- yoki LTE-tarmoq bo'yicha ulanadi (13.8-rasm). Ba'zi tugunlar global tarmoqqa simli ulanishga ega bo'lishi mumkin. Shunday qilib, boshqa abonentlarga yoki global tarmoqqa tushishdan oldin abonent ma'lumotlari transport tarmog'i orqali ko'p bosqichli yo'lni bosib o'tishi mumkin.

Tarmoqdagi barcha boshqarish, muvofiqlashtirish va marshrutlashtirish funksiyalari bitta ildiz tugun tomonidan amalga oshiriladi. IEEE 802.11s standartdagi mesh-tarmoqning algoritmlaridan sezilarli farq shunda va tarmoqqa ayrim cheklovlarni qo'yadi. Biroq, magistral tarmoq uchun ildiz tuguni deyarli hech qachon o'zgarmaydi va tarmoqdan chiqmaydi deb aytish mumkin.

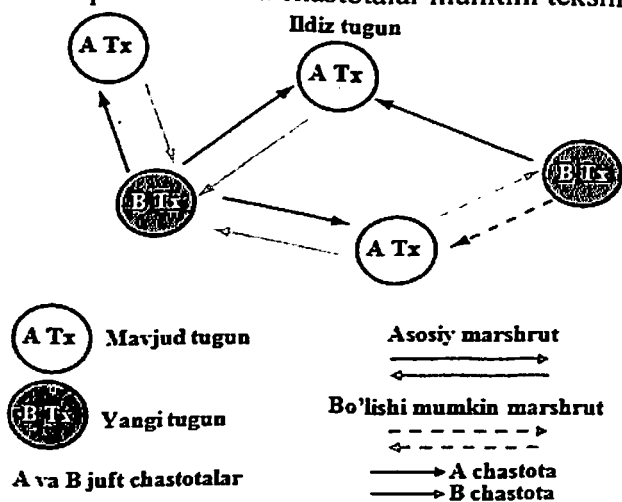
Ildiz tugunining vazifasi tarmoqdagi mavjud ma'lumotlar oqimlari orasidagi vaqt resurslarini hisoblash va taqsimlash (tugunlar o'rtasida jadvallarni tarqatish), shuningdek, o'zlarining qo'shni tugunlar va ular bilan aloqa sifati to'g'risida tugunlardan olingan ma'lumotlarga asoslanish bilan tarmoq bo'yicha marshrutlar ma'lumotlarini yaratish va tarqatish hisoblanadi. Bunda tarmoq alohida paketlar bilan emas, balki aynan ma'lumotlar oqimlari (IEEE 802.16 terminologiyasidagi xizmat oqimlari) bilan ishlashga qaratilgan, chunki alohida paketga resurslarni ajratish o'ta katta va vaqt talab qiladigan vazifa hisoblanadi. Tarmoqdagi barcha tugunlar ular manbai hisoblanadigan ma'lumotlar oqimlarining paydo bo'lishi, o'zgarishi va yo'q bo'lib ketishi to'g'risida ildiz tuguniga xabar beradi.



13.8-rasm. Tarmoq arxitekturasi varianti

Ildiz tuguni ma'lum bir algoritmgaga muvofiq avtomatik ravishda tayinlanadi. Tarmoqdagi har qanday tugun ildiz tugun funksiyalarini bajarishi mumkin. Agar topologiyaning o'zgarishi natijasida ildiz tuguni tarmoqning o'zidan chiqib ketsa, u holda barcha tugunlar bir-birlariga bog'liq bo'lmagan holda ma'lum bir sxema bo'yicha yangi ildiz tugunini belgilaydi va unga resurslarni taqsimlash uchun so'rovlar yuboradi. Bo'lajak ildiz tugun buni aniqlash bilanoq yangi funksiyalarni bajarishni boshlaydi. Tarmoqda faqat ikkita chastotalar nomillari ishlatiladi, lekin o'sha bir chastota turli xil qurilmalar orqali qabul qilish va uzatish uchun ishlatilishishi mumkin (13.9-rasm).

Bu chastotalardan ko'p karrali foydalanish imkoniyatini ta'minaydigan milimetrlil diapazonlar signalining tez so'nishi tufayli bo'lishi mumkin. Shunday qilib, har bir qurilma ikkita bo'lishi mumkin dupleks juft chastotalaridan birini tanlashi kerak. Tarmoqqa ulanganda qurilma qabul qilish va uzatish uchun chastotasini to'g'ri tanlashi kerak. Bunda ma'lum vaqtda har ikkala chastotalar muhitini tekshiradi.



13.9-rasm. Dupleks juft chastotalarning tayinlanishi

Topologiya o'zgartirishida yoki tarmoq yuklama notekis bo'lganda, ildiz tugun tarmoq tugunlarining ayrimlari uchun chastotalar juftlarini o'zgartirishi mumkin. Bu holda, ildiz tugun tugunlarga o'zgartirish chastota juftlarini ko'rsatadigan yangi tarmoq topologiyasini yuboradi va bu o'zgarishlar kuchga kiradigan vaqtni ko'rsatadi.

O'ta yuqori tezlikli keng polosali simsiz mesh-tarmoq mavjud texnologiyalarga nisbatan qator muhim afzalliklarga ega. Ularga qurishning yuqori tezligi, chastotalarni rejalashtirishga zaruratning yo'qligi, qurilmalarning arzon narxiga erishish imkoniyati, arxitekturaning tez moslashuvchanligi va adaptivligi kiradi.

Mesh-tarmoq magistral aloqa liniyalarini qurish bo'yicha barcha boshqa texnologiyalardan sezilarli darajada ustun, ammo uning afzalligi Wi-Fi va WiMAX qurilmalarini ulanish imkoniyati bilan katta maydonlarni qamrab oladigan tugunlarning to'r shaklida joylashishida ancha katta darajada namoyon bo'ladi.

Tarmoqlarni nafaqat tez, balki tayyor bo'lmagan maydonlarda, shu jumladan avtomobillarda ham qurish mumkin. Binobarin, barcha tugunlar retranslyatorlar hisoblanadi, tarmoq istalgan ko'p to'siqli joylarda, shu jumladan zich shahar qurilishida muvaffaqiyatli ishlaydi. Bunday tarmoq butun zamonaviy kontentni uzatishga imkon beradi.

Nazorat savollari

1. IEEE 802.11 standartlar oilasi nimani anglatadi?
2. Spektrni kengaytirishni tavsiflang.
3. Chastotani sakrashsimon qayta sozlash bilan spektrni kengaytirish (FHSS) usulining o'ziga xos xususiyatlari.
4. Spektrni to'g'ridan-to'g'ri kengaytirish (DSSS) usulining o'ziga xos xususiyatlari.
5. IEEE 802.11 standartlarida MIMO texnologiyasidan foydalanish.
6. SU va MU-MIMO texnologiyalari qanday farq qiladi?
7. IEEE 802.11 standartlarida Beamforming texnologiyasidan foydalanish.
8. Wi-Fi-mesh tarmoqlari nima uchun ishlatiladi?
9. Mesh-tarmoq arxitekturasini keltiring va tushuntiring.

14. WiMAX STANDARTI (IEEE 802.16)

14.1. "So'nggi mil" simsiz texnologiyalarining evolyutsiyalanishi

Rivojlanish tarixi

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) - bu 802.16 aloqa standartidi bo'lib, uning asosiy spetsifikatsiyalari IEEE tomonidan birinchi marta 2001 yilda nashr etilgan. Bu 50 kmdan ortiq ishlash radiusiga bo'lgan va keng polosali simsiz ulanish xizmatlarini (Broadband Wireless Access, BWA) taqdim etadigan shahar mashtabidagi simsiz tarmoqlarni qurish uchun birinchi standart hisoblanadi [24].

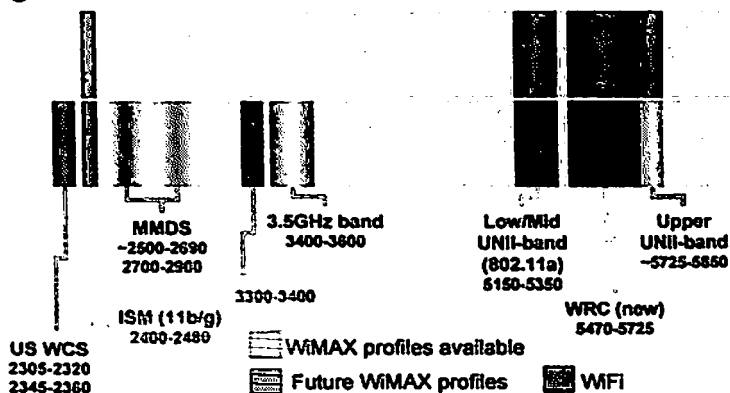
IEEE 802.16 standartining tarixi 2001 yildan boshlanadi. 2001 yil dekabrda dastlab 10-66 GGsli chastotalar diapazonini ko'zda tutadigan IEEE 802.16-2001 standartining birinchi versiyasi qabul qilindi.

Bu standart "nuqta-ko'p nuqta" topologiyali keng polosali simsiz ulanishni tashkil qilishni tavsifladi va shahar mashtablarida statsionar simsiz tarmoqlarini (Metropolitan Area Network, MAN) yaratishga mo'ljallangan. Aynan shuning uchun bu standart yana WirelessMAN nomini oldi. Fizik darajada IEEE 802.16-2001 standarti faqat bitta tashuvchi chastotadan (Single-Carrier, SC) foydalanishni ko'zda tutdi, buning natijasida protokol nomiga SC harflari qo'shildi, ya'ni WirelessMAN-SC bo'ldi.

WiMAX texnologiyasi DSL (Digital Subscriber Line) raqamli liniyalardan texnik yoki iqtisodiy sabablarga ko'ra foydalanib bo'lmaydigan hollarda keng polosali ulanishni ta'minlaydi. Undan so'nggi millar muammosini hal qilishda ovozli va keng polosali aloqa operatorlari va GSM/Edge, Wi-Fi va 3G/4G texnologiyalarini to'ldirishga mobil ulanish uchun foydalanishi mumkin.

10-66 GGsli chastotalar diapazonida aloqani tashkil qilish faqat qisqa to'lqin uzunliklarining tez so'nishi tufayli signallarni uzatkich va qabul qilgich orasidagi to'g'ri ko'rinish zonasida bo'lishi mumkin. Bu WirelessMAN-SC protokolining xususiyatlaridan biri edi. Lekin bunday xususiyatlarga (ya'ni qabul qilgich va uzatkichning to'g'ridan-to'g'ri ko'rinishi talablari va qaytishlarda ishlashning mumkin emasligiga) ega bo'lgan chastotalar diapazoni radioaloqaning asosiy muammolaridan biri - signallarni ko'p nurli tarqalishidan qochishga imkon berdi. Bu chastotalar diapazonida ishlatilishi mumkin bo'lgan aloqa kanallarining kengligi yetarlicha katta (odatdagi qiymatlari 25 yoki 28 MGs), bu

ma'lumotlarni yuqori uzatish tezligiga (taxminan 120 Mbit/sga) erishishga imkon beradi.



14.1-rasm. WiMAX chastotalar diapazonlari

Biroq, keyinchalik chastotalar diapazoni 2-11 GGsli (802.16d) diapazonga o'zgartirildi va endi WiMAX chastotalari Wi-Fi (2.4 va 5 GGsli) va UWB texnologiyalari chastotalari bilan qoplanadi.

802.16a standartining asosiy 802.16 standartidan asosiy farqi qabul qilgich va uzatkich orasida to'g'ri ko'rinishni talab qilmaydigan boshqa chastotalar diapazonidan foydalanish edi. Bunday simsiz tarmoqlarning qamrab olish zonasi 802.16 tarmoqlaridagiga qaraganda ancha keng bo'ldi.

802.16a standartining mantiqiy davomi 802.16d standarti bo'ldi, u binolarning ichida qayd etilgan ulanishni amalga oshirish imkoniyatini taqdim etdi.

WiMAX kanallari kengligi 1,5 dan 20 MGSacha bo'lgan butun standartlar oilasi hisoblanadi. 2004 yil iyun oyida qabul qilingan IEEE 802.16d spetsifikatsiyalariga muvofiq, uch xil fizik darajalar (PHY) ko'zda tutilgan. Ulardan birinchisi, 256-nuqtali FFT (FFT - Fast Fourier Transform, Fur'e tez o'zgartirishi) OFDM majburiy hisoblanadi. Shuningdek, WiMAX oilasida ikkita ixtiyoriy standartlar SC (Single-Carrier, bitta tashuvchili) va 2048 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) standartlari mavjud.

Ortogonal tashuvchilar bo'yicha multiplekslashdan (OFDM) tashqari, WiMAX texnologiyasiga ko'p sonli BPSK, QPSK, QAM16 va QAM64 modulyatsiyalash sxemalarini qo'llash qo'yilgan.

WiMAX texnologiyasining yana bir muhim farqi bir-birlari bilan ko'rinish liniyasida bo'lmagan terminallar orasida aloqa o'rnatish imkoniyati hisoblanadi. Bunga to'siqlardan signallarni aylanib o'tishi va qaytishidan, shuningdek, bitta terminalga yo'naltirilgan ma'lumotlarni manzil bilan ko'rinish liniyasida bo'lgan bir nechta boshqa terminallarga retranslyasiyalashdan foydalanish yo'li bilan erishiladi.

14.2. IEEE 802.16 standartining arxitekturasi

WiMAX tarmog'i arxitekturasi asosiy prinsiplari

WiMAX tarmog'i simsiz va asosiy (tayanch) segmentlar birikmasi hisoblanadi. Birinchisi IEEE 802.16 standartida tavsiflangan, ikkinchisi esa WiMAX forum spetsifikatsiyalari orqali belgilanadi.

Asosiy segment IP-protokollar (IETF RFC) va EthYernet (IEEE 802.3-2005) standartlariga asoslangan. Tarmoq arxitekturasi, shu jumladan autentifikatsiyalash, kriptohimoyalash, rouming, xendover va boshqa mexanizmlar WiMAX Forum Network Architecture hujjatlarida tavsiflangan [24].

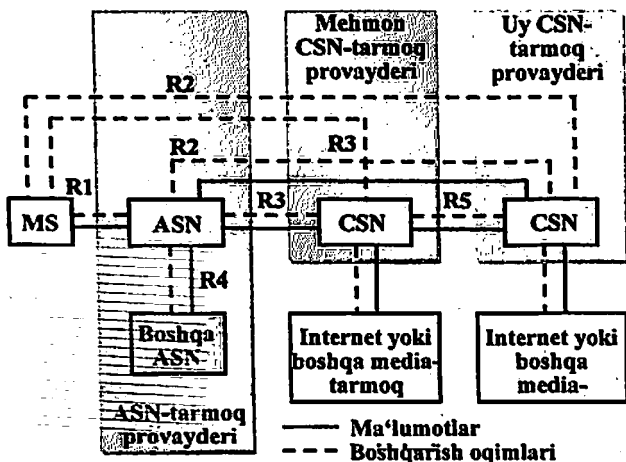
WiMAX tarmog'ining spetsifikatsiyalari paketlarni kommutatsiyalash texnologiyasi, IP va Ethernet protokollariga asoslanadi va zarurati bilan to'ldiriladi. Masshtablanuvchanlik va tez moslashuvchanlik abonentlar zichligi, geografik qamrab olish zonasining kengligi (tuman, shahar yoki shahar atrofidagi tarmoqlar), chastotalar diapazonlari, tarmoq topologiyasi (ierarxik, tekis, mesh va boshqalar), abonentlarning mobilligi (qayd etilgan, mobil, ko'chma) kabi ekspluatatsion parametrlar bo'yicha bo'lishi mumkin.

Asosiy tarmoq modeli

WiMAX tarmog'ining asosiy modeli (AM) WiMAX tarmoq arxitekturasi mantiqiy ko'rinishi hisoblanadi. AM uchta asosiy elementlar - abonent (mobil) stansiyalar to'plami (MS), ulanish tarmoqlari to'plami (ASN servislarga ulanish tarmog'i) va bog'lanish tarmoqlari to'plamini (CSN) o'z ichiga oladi. AM tarkibiga yana funksional modullarni bog'lanishi bo'lib o'tadigan asosiy nuqtalar (R1-R5) kiradi (14.2-rasm). ASN tarmoq (tarmoqlar) bir yoki bir nechta WiMAX servis-provayderlariga (NSP) radiotarmoqqa ulanishni taqdim etadigan tashkilot ulanish tarmog'i provayderiga tegishli bo'ladi [24].

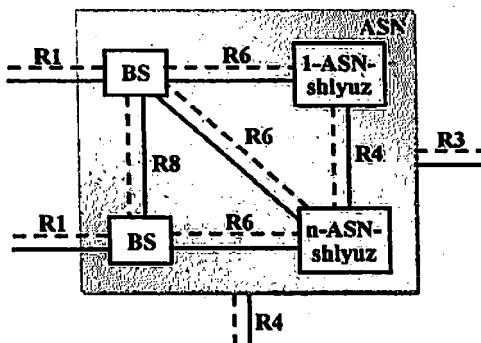
ASN ulanish tarmog'i IEEE 802.16 standarti bo'yicha simsiz ulanish bazaviy stansiyalar to'plami (BS) va transport IP-tarmog'i

(ya'ni lokal yoki global axborot uzatish tarmog'i bilan) bilan aloqa uchun shlyuzlardan (14.3-rasm) iborat.



14.2-rasm. Standartga muvofiq WiMAX-tarmoqning asosiy modeli

ASN shlyuzi, shuningdek, bitta ASN tarmoqning asosiy stansiyalarini boshqa ulanish tarmoqlari va CSN bog'lanish tarmog'iga bog'laydigan mantiqiy qurilma hisoblanadi. ASN shlyuzi ham ma'lumotlarni uzatish kanallari darajasida, ham boshqaruv darajasida bog'langanlikni ta'minlaydi. Shunisi e'tiborga loyiqlik, har bir MS uchun bazaviy stansiya mantiqan bitta shlyuz bilan bog'langan. Ammo aslida har bir MS uchun ASN shlyuz funksiyalari bir yoki bir nechta ulanish tarmoqlariga tegishli bo'lgan bir nechta shlyuzlar o'rtasida taqsimlanishi mumkin.



14.3-rasm. ASN ulanish tarmog'ining mantiqiy modeli

ASN shlyuz ikkita funksional elementlar - qarorlar bloki (DP – Decision Point) va ijro bloki (EP – Enforcement Point) guruhlarining kombinatsiyasi sifatida opsional berilishi mumkin. YER ma'lumotlar oqimini uzatish bilan bog'liq funksiyalarni amalga oshiradi, DPga esa ma'lumotlarni uzatish bilan bevosita bog'liq bo'lmagan funksiyalar (masalan, tarmoqning radioresurslarini boshqarish kontrollerining funksiyalari) yuklangan. Bu ikkita funksional modul R7 tanyach nuqtasi orqali ulangan.

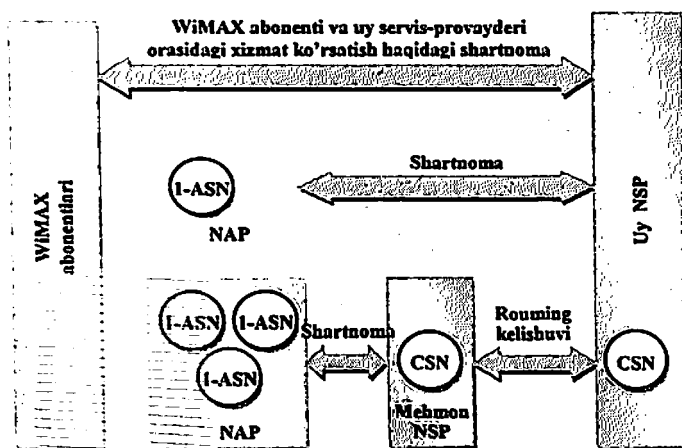
Umuman olganda, funksiyalarni real shlyuzlar va bazaviy stansiyalar orasida taqsimlanishi ASN profillari deyiladi.

CSN bog'lanish tarmog'i mualliflashtirish, autentifikatsiyalash va ulanishni boshqarish (AAA), WiMAX abonentlarini global IP-tarmoqlariga ulash, IP-telefoniya, umumiy telefon tarmoqlariga ulanish, Internet va xususiy tarmoqlar ulanish va boshqalar kabi xizmatlarni taqdim etish funksiyalarini amalga oshiradigan WiMAX operatorining tarmog'i hisoblanadi.

CSN tarmoqda tarmoq sessiyasi davrida mobil abonentlarga IP-manzillar va boshqa tarmoq parametrlarini taqdim etish, abonent profillariga ulanish va saqlashni siyosati/nazorati serveri, ulanish va bog'lanish tarmoqlari orasida ma'lumotlarni uzatish (tunnellashtirish), WiMAX abonentlari billingi va operatorlararo hisoblar, roumingda turli CSN tarmoqlar orasidagi ma'lumotlarni tunnellashtirish, MS bitta ASN chegaralaridan chiqqanda mobillikni ta'minlash kabi funksiyalar amalga oshirilgan. "Nuqta-nuqta" ulanish, mualliflashtirish va multimediali IP-servislarga ulanish, trafikni qonuniy qo'lga kiritish funksiyalari va boshqalar kabi WiMAX xizmatlari ta'minlanadi.

CSN tarkibiga mualliflashtirish/autentifikatsiyalash/ulanish funksiyalari uchun marshrutizatorlar, serverlar (va proksi-serverlar), foydalanuvchilar ma'lumotlar omborlari, shlyuzlar va boshqalar kabi elementlar kirishi mumkin.

WiMAX tarmog'ining asosiy modelida mobillikni qo'llashga bog'liq holda, mos ravishda H-CSP va V-CSP uy va mehmon servis-provayderlar tushunchalari kiritilgan (14.4-rasm).



14.4-rasm. WiMAX servis tarmoqlari operatorlari, ulanish tarmoqlari va abonentlar orasidagi o'zaro ta'sirlashish modeli

Uy NSP operatori WiMAX abonentlari bilan xizmat ko'rsatish shartnomasiga ega bo'lgan operator hisoblanadi. Aynan u mualliflashtirish, autentifikatsiyalash va ulanishni nazorat qilish (shu jumladan billing va abonent to'lovlarini yig'ish) funksiyalarini amalga oshiradi. Roumingni qo'llash uchun WiMAX uy servis-provayderi boshqa NSP operatorlar bilan rouming shartnomalarini tuzadi.

NSP (V-NSP) mehmon operatori WiMAX-abonentga rouming xizmatlarini ko'rsatadigan operator hisoblanadi. Avvalo, V-NSP bunday abonentga AAA funksiyalarini, shuningdek barcha WiMAX-tarmoq xizmatlariga to'liq yoki qisman ulanish imkoniyatini taqdim etadi. Bunda trafikni marshrutlashtirishning turli xil variantlari - uyga bog'lanish tarmog'i yoki to'g'ridan-to'g'ri mehmon CSN-tarmog'i orqali bo'lishi mumkin.

WiMAX tarmog'ining asosiy modelidagi tayanch nuqtalari bazaviy modullar orasidagi aloqa kanallari hisoblanadi. Ular, ayniqsa agar tayanch nuqtasi bilan bog'langan modullar konstruktiv ravishda bitta qurilmada joylashgan bo'lsa, fizik interfeys bo'lishi shart emas, standart interfeyslar hisoblanadi,.

R1 tayanch nuqtasa mobil stansiya va ASN ulanish tarmog'i orasidagi aloqa kanali hisoblanadi. Bu IEEE 802.16 standartiga mos keladigan simsiz interfeys hisoblanadi.

R2 tayanch nuqtasa MS va CSN o'rtasidagi kanal hisoblanadi. U MSni autentifikatsiyalash, mualliflashtirish va IP-konfiguratsiyalashga bog'liq protokollar va protseduralarni o'z ichiga oladi. Bu mutlaqo mantiqiy interfeys hisoblanadi.

R3 tayanch nuqtasi ASN va CSN o'rtasidagi AAA protseduralarni bajarilishi, turli xil siyosatlar va mobillikni boshqarishni bajarilishi uchun boshqarish protokollari to'plamiga ega. Shuningdek, u ASN va CSN orasida ma'lumotlar uzatish (shu jumladan tunnellashtirish) funksiyalarini qo'llaydi. R4 tayanch nuqtasi turli ASN-tarmoqlarning ASN-shlyuzlari yoki bitta ASN-tarmoq chegaralaridagi ASN-shlyuzlar orasidagi aloqa kanali hisoblanadi. R5 tayanch nuqtasi uy va mehmon servis-provayderi orasidagi aloqa kanali hisoblanadi.

R6 tayanch nuqtasi BS va ASN-shlyuz orasida interfeys bo'lib xizmat qiladi. R7 tayanch nuqtasi ikkita funksiyalar (ma'lumotlarni uzatish kanali bilan bog'langan va u bilan bog'lanmagan) guruhlarini ulash uchun ASN-shlyuz ichidagi qandaydir virtual kanal sifatida tavsiflanadi. R7 protokollarini aniqlashtirish kutilmoqda.

R8 tayanch nuqtasi bazaviy stansiyalar orasidagi to'g'ridan-to'g'ri aloqa kanali hisoblanadi. U boshqarish xabarlarini uzatishni va opsional ravishda ma'lumotlarni to'g'ridan-to'g'ri translyasiyalashni qo'llashi kerak (tezkor va uzluksiz xendover uchun).

ASN profillari

ASN profillari deb ASN-tarmoqlarning mantiqiy funksiyalarini fizik qurilmalar o'rtasida taqsimlanishiga aytiladi. Standartda ASN profillarining uchta (A, B va C) turlari tavsiflangan. B profil ishlab chiqaruvchining to'liq erkinligini nazarda tutadi, unga ham barcha funksiyalarning bitta qurilmada jamlanishi, ham ularning ixtiyoriy taqsimlanishi mos keladi [24].

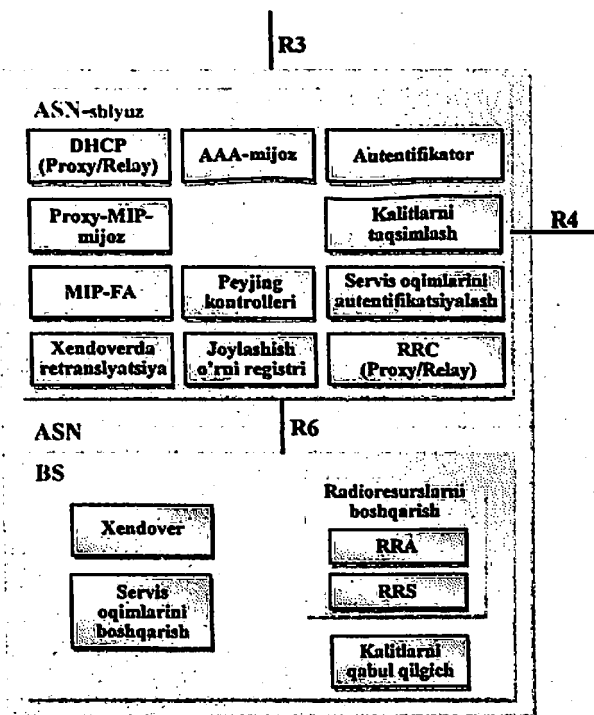
A va C profillari aniqroq. Tavsiflash darajasida ular juda o'xshash, farq shundaki, radio resurslar kontrolleri (RRC) va xendoverni boshqarish funksiyalari A profilda ASN-shlyuzga, C profilda esa bazaviy stansiyaga beriladi (14.5-rasm).

Mobillikni ta'minlash

Tarmoq resurslarini taqsimlashning bir necha xil variantlari bo'lishi mumkin: bir nechta CSN-provayderlar bitta ASN-tarmog'idan foydalanadi, bir nechta ASN-tarmoqlar (bir yoki bir nechta operatorlar) turli CSN-provayderlar bilan o'zaro ta'sirlashishadi, bitta operatorga ASN va CSN tegishli bo'ladi va hokazo (14.6-rasm) [24].

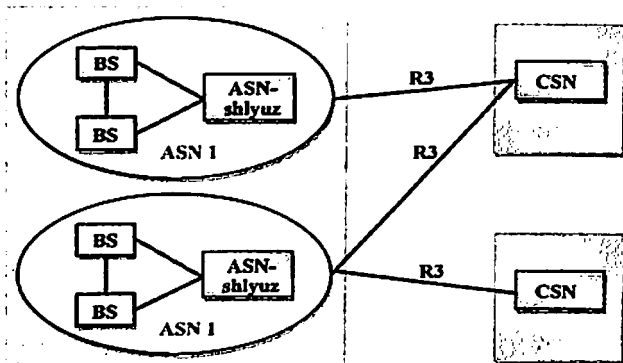
Mobillikni ta'minlash uchun mobil IP-tarmoqlarning (MIP) spetsifikatsiyalari yaratilgan. Mobil IP-tarmoqlarda qurilmalarning mobilligini ta'minlash masalasi ikkita asosiy mexanizmlar - global qo'shimcha IP-manzillarni tayinlash yoki tashqi agentdan foydalanish asosida yechiladi.

Mobil IP protokoli har bir qurilmada ikkita IP-manzillar – unga uy tarmog'ida tayinlangan asosiy ((NoA) va qo'shimcha (CoA) IP-manzillar bo'lishini ko'zda tutadi. Agar qurilma yangi tarmoqda (tashqi tarmoqda) bo'lsa, unga global qo'shimcha IP-manzil tayinlanishi mumkin (masalan, DHCP manzillarni dinamik tayinlash protokoli asosida). Qurilma bu manzilni o'zining uy agentiga (NA – home agent) – marshrutizatorga xabar qiladi, u bu qurilmaning asosiy IP-manziliga barcha xabarlarni qo'lga kiritadi va ularni qo'shimcha IP bo'yicha (odatda, IPdan IPga tunnellashtirish va inkapsulyatsiyalash rejimida) yo'naltiradi [3].

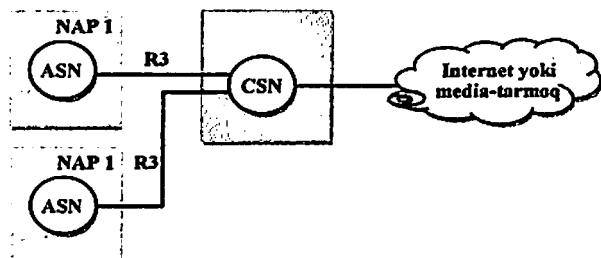


14.5-rasm. S ASN-profiliga muvofiq bazaviy stansiya va ASN-shlyuz orasida asosiy mantiqiy funksiyalarni taqsimlanishi

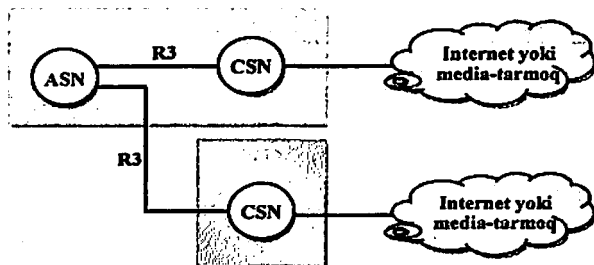
Ikkinchi mexanizm tashqi tarmoqda tashqi agent (FA, foreigion agent) ishlatilishidan iborat. Bu tashqi tarmoqqa ulanganda qurilma ro'yxatdan o'tkaziladigan marshrutizator hisoblanadi. FA qo'shimcha IP-manzillar sifatida qurilmaga o'z IP-manzillar to'plamidan manzilni tayinlaydi.



Bir nechta NSP bir nechta provayderlarning ASN-tarmoqlarini



Bitta NSP bir nechta provayderlarning ASN-tarmoqlarini



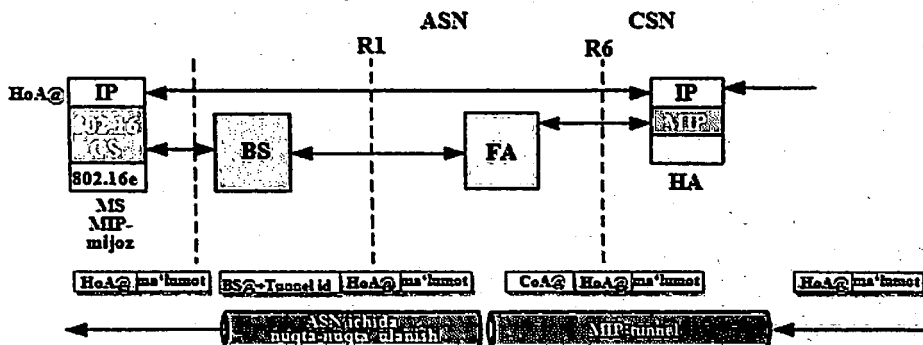
Boshqa provayderning CSN tarmog'iga ulangan bitta operatorning ASN va CSN tarmoqlari

14.6-rasm. ASN- va CSN-tarmoqlarining ayrim o'zaro ta'sirlashish variantlari

Xabarlarini uzatishda uy agenti inkapsulyatsiyalangan paketlarni tashqi agentga uzatadi (uning manzili CoA funksiyasini bajaradi), u inkapsulyatsiyalangan paketlarning qobig'ini tashla yuborish bilan ularni manzillashtirish jadvaliga muvofiq qabul qilish qurilmasiga uzatadi (14.7-rasm).

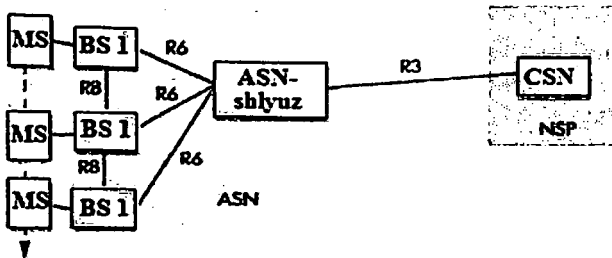
Qo'shimcha CoA manzil faqat tarmoq bo'yicha o'zaro ta'sirlashish uchun xizmat qiladi. Mobil qurilmada va tarmoqning boshqa tugunlarida bajariladigan barcha foydalanuvchilar ilovalari asosiy IP-manzildan foydalanadi.

WiMAX tarmog'i MIP protokollari stekini qo'llashga qaratilgan. Biroq, WiMAX tarmoqlarida barcha abonent qurilmalari ham mobil IPni qo'llashi shart emas. Bunday qurilmalar uchun DHCP (IETF RFC4361) dinamik konfiguratsiyalash protokoli asosida IP-manzillarni tayinlash mexanizmi bo'lishi mumkin. Binobarin, DHCP-server ham uy tarmog'ida, ham mehmon tarmog'ida bo'lishi mumkin. Uni ASN tarmog'iga joylashtirilishi ham mumkin, bu holda abonent stansiyasining IP-manzili haqidagi ma'lumotlar uy tarmog'iga ulanishida va autentifikatsiyalanishida uzatiladi.



14.7-rasm. MIP qo'llanadigan WiMAX-tarmoqlarda paketlarni uzatish. MIP-mijoz MSda amalga oshirilgan

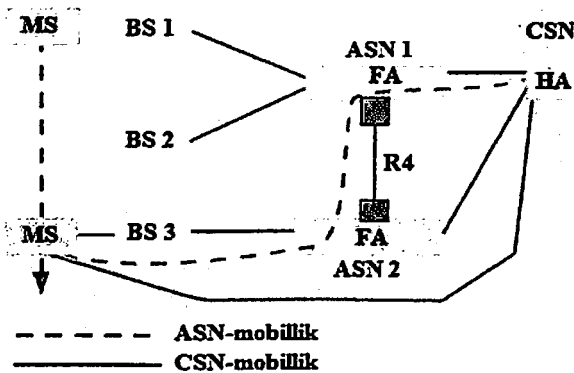
WiMAX-tarmoqlarda mobillikning ikki turi - mikro va makroiobillik (ASN-mobillik va CSN-mobillik) ajralib turadi. ASN-mobillikda MS bitta ASN-tarmoq chegaralarida harakatlanadi (14.8-rasm). Bunda MSga bitta tashqi agent (eng oddiy holda ASN-shlyuz) xizmat ko'rsatadi va CSN-tarmoq nuqtai nazaridan qurilmaning hech qanday harakatlanishi kuzatilmaydi (unga mashrut o'zgarishsiz qoladi).



14.8-rasm. Bitta ASN tarmog‘i chegaralarida xendoverda ASN-mobillik

Shunday qilib, ASN-mobillik uchun MIP darajasi protokollarini qo‘llash talab qilinmaydi. ASN-mobillik darajasida bitta ASN-tarmoq chegaralarida xendover amalga oshiriladi. Bunda jarayonga faqat R6 interfeyslari (BS shlyuzlari orasidagi) va R8 (bazaviy stansiyalar orasidagi) jalb qilinadi.

MS bitta ASN chegaralaridan chiqish bilan boshqa ASN chegaralarida bo‘ladigan alohida ASN-mobillikni aytib o‘tamizg (14.9-rasm). Bunda MS yangi tashqi agentga ulanadi, ammo bu FAdan ma’lumotlar oldingi tashqi agentga R4 kanal orqali uzatiladi.



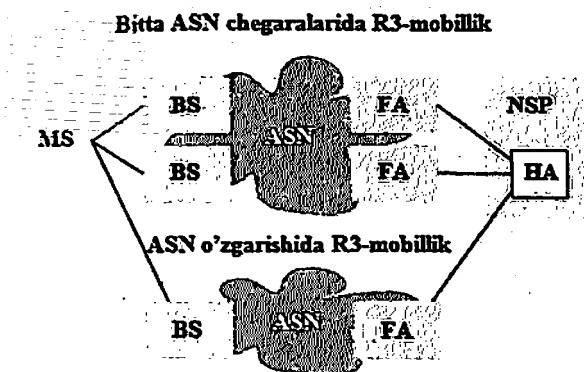
14.9-rasm. ASN-tarmoqlar o‘zgarganda ASN-mobillik. ASN-mobillik modelidan CSN-mobillikka o‘tish ko‘rsatilgan

Ravshanki, bu holda CSN (ya’ni uy agenti) nuqtai nazaridan hech qanday o‘zgarishlar ro‘y bermadi.

Makromobillik NA bilan R3 kanal orqali bog‘langan tashqi agentning o‘zgarishini anglatadi. Bu ham bitta ASN-tarmoq chegaralarida, ham turli ASN-tarmoqlar orasida harakatlanishda bo‘lishi

mumkin (14.10-rasm). Tashqi agentning o'zgarishi, o'z-o'zidan MSning CoA-manzilini o'zgarishiga olib keladi. Bu holda o'zgarishlar tarmoq darajasiga, ya'ni R3 interfeys darajasiga ta'sir qiladi. Shuning uchun bu mobillik turi R3-mobillik deb ham ataladi.

Binobarin, MSlar mobil IP funksiyalarini qo'llamasligi mumkin, WiMAX standarti ikkita CSN-mobillik ko'rinishlari - MIP mijozlarni qo'llash (CMIP) va proksi-mobil IP (PMIP) ko'rinishlarni ko'zda tutdi. Birinchi holda, MIP-mijoz har bir mobil stansiyada amalga oshiriladi, ikkinchi holda mobil tugun sifatida butun ASN-tarmog'iga qaraladi va tashqi agent MIP-mijoz bo'lib, MIP proksi-server funksiyalarini bajaradi.



14.10-rasm. CSN-mobillikning mantiqiy modeli

Shuni ta'kidlash kerakki, turli mobillik mexanizmlari bitta integratsiyalangan tarmoq doirasida ishlatilishi mumkin. Masalan, xendoverda MS harakatlanishida, dastlab ASN-mobillik mexanizmlari (bitta ASN-tarmoq chegaralarida bitta BSdan ikkinchi BSga qayta ulanish), keyin esa CSN-mobillik ishlatilishi mumkin. Bundan tashqari, bog'lanishni optimallashtirish mumkin. Shunday qilib, 14.9-rasmda ASN-mobillikdan CSN-mobillikka o'tish tasvirlangan, bu ma'lumotlarni uzatish marshrutini sezilarli darajada kamaytiradi.

Radioresurslarini boshqarish

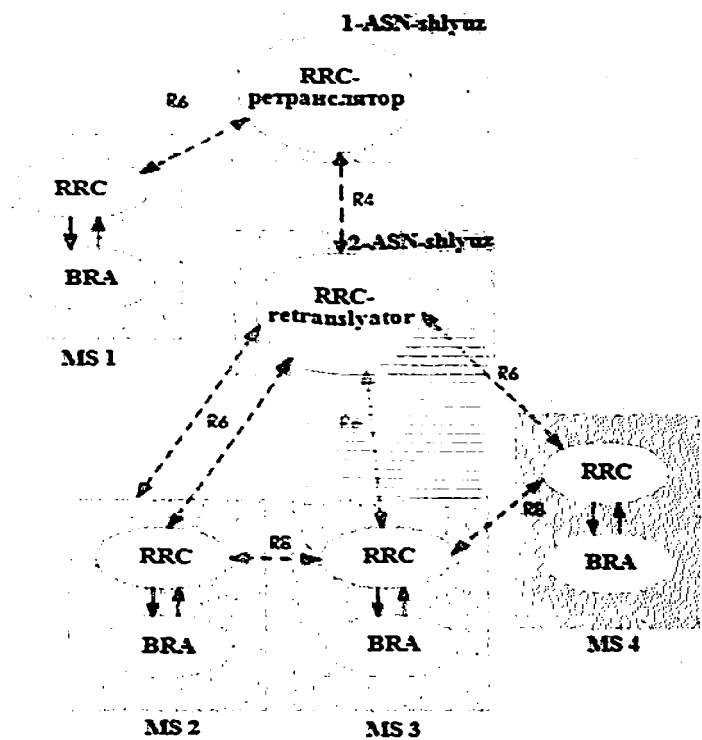
Radioresurslarni samarali boshqarish funksiyasi har qanday simsiz tarmoqdagi eng muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Binobarin, IEEE 802.16 standarti faqat bitta BSning atrofdagi abonentlar stansiyalari bilan o'zaro ta'sirlashishni hisobga olishi sababli, bir nechta bazaviy stansiyalarning birgalikdagi ishlashi masalalari WiMAX-tarmoqlar standartlari doirasiga kiradi. Bu funksiyalar ASN-segmentda, fizik

jihtadan bazaviy stansiyada (S profil) yoki ASN-shlyuzda (A profil) jamlangan [24].

Radioresurslarini boshqarish funksiyalarini ikkita mantiqiy qurilmalar – radioresurslar kontrolleri (RRS) va radiovositalar agenti (RRA) amalga oshiradi. Har bir BSda (va faqat BSda) o'z RRAGA ega bo'lishi kerak. Aksincha, RRC kontroller ham baza stansiyada, ham ASN-tarmoqning chegaralaridagi ASN-shlyuzlarda yoki alohida serverlarda joylashgan bo'lishi mumkin. Ammo C ASN-profil haqiqiy standartga aylanganligi sababli, faqat BSda RRC funksiyalarini joylashtirilishini ko'rib chiqamiz. Bu holda qo'shimcha mantiqiy qurilma – retranslyatorga ehtiyoj vujudga keladi, u ASN shlyuzlarida joylashadi va RRC-kontrollerlar orasida boshqarish ma'lumotlarini almashlash uchun xizmat qiladi (14.11-rasm). Bunday holda, almashlash R6 va R4 interfeyslari orqali amalga oshiriladi. Biroq, agar BSLar bir-birlari bilan R8 kanal orqali to'g'ridan-to'g'ri bog'langan bo'lsa, bu BSLarning RRC-kontrollerlari orasida bu interfeys orqali ham xabarlar almashlash mumkin.

Radiovositalar agentining asosiy funksiyalari BS atrofidagi radioholat to'g'risidagi ma'lumotlarni to'plash va boshqarish hisoblanadi. Bu o'lchovlarning turlari va ularni amalga oshirish uslubi IEEE 802.16 standartida ko'rsatilgan.

Bundan tashqari, RRAlar yuqori darajalar protokollarining parametrlarini o'lchash, masalan, MAC-qatlam paketlarini uzatish xatoliklarining intensivligi darajasi haqida ma'lumotlarni ham to'playdi. Bu qurilmaning vazifasiga RRCdan radiointerfeys bo'yicha mobil stansiyalarga boshqarish ma'lumotlarini uzatish ham kiradi. Bu turdagi ma'lumotlarga o'ziga xos misol qo'shni BSLar va ularning parametrlari ro'yxati hisoblanadi. O'z navbatida, RRC kontrollerning asosiy vazifasi unga bog'langan RRAlardan ma'lumotlarni to'plash va saqlash, boshqa RRCLar bilan o'zaro ta'sirlashish hisoblanadi.



14.11-rasm. Radioresurslarni boshqarish tizimining asosiy modeli (C ASN-profil uchun)

Shunday qilib, radioresurslarini boshqarishning asosiy vazifasi radiotarmoqlarining xarakteristikalarini o'lash, barcha BSlardan bu parametrlarni to'plash va ularni umumiy tarmoq ma'lumotlar omborida saqlash protseduralarini tashkil etish hisoblanadi. Bu ma'lumotlar xendoverni boshqarish, QoS xizmat ko'rsatish sifatini ta'minlash va boshqalar uchun ishlatiladi.

O'lanadigan/saqlanadigan parametrlarning asosiy turlari tarmoqdagi mobil stansiyalarning fizik parametrlari, MS bilan aloqa sifatini baholash, bazaviy stansiyalarning mavjud resurslari (yuqoriga va pastga kanallar uchun alohida-alohida 200 ta freymilar bo'yicha o'rtachalashtirilgan subkanallar va simvollar soni). Bundan tashqari, standartda BS signallarining quvvati sathi va interferensiya darajasi kabi parametrlarni o'lash imkoniyatini belgilangan.

Berilgan BS sektoridagi subkanallarni qayta konfiguratsiyalash, BS signalingning maksimal quvvatini o'zgartirish, BS resurslarini

taqsimlash jadvallarini o'zgartirish, shu jumladan vaqt bo'yicha duplekslash (TDD) rejimidagi yuqoriga va pastga subkadrlar orasidagi nisbatni o'zgartirish, qo'shni BSlar orasida yuqoriga/pastga kanallarning deskriptorlarini (UCD/DCD) translyasiyalash, keng tarqatiladigan ma'lumotlarini o'zgartirish va boshqalar kabi boshqarish xabalarini uzatish ko'zda tutiladi.

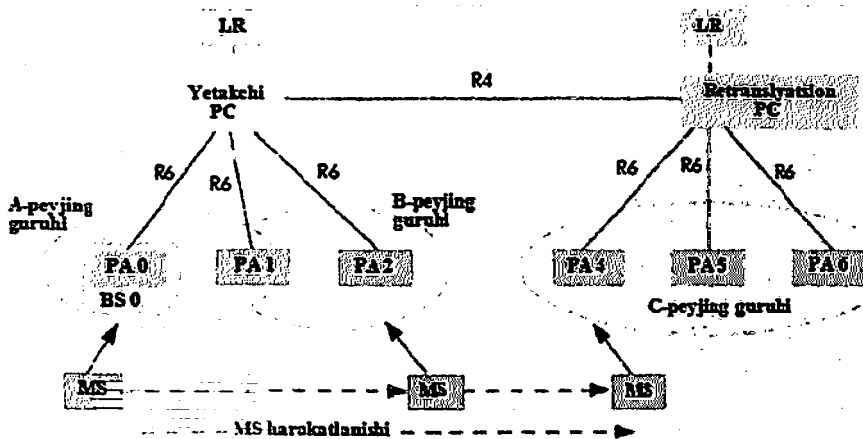
Kutish va peyjing rejimi

WiMAX mobil tarmoqlarining muhim o'ziga xos xususiyati kutish rejimi (idle mode) va unga bog'liq peyjing rejimini qo'llash hisoblanadi. Bu rejimning funksiyalari IEEE 802.16e standartida tavsiflangan, lekin ularni amalga oshirish faqat tarmoq qurilmalari yordamida amalga oshiriladi [24].

Qisqa muddatli eferni tekshirish davrida MS o'zining peyjing guruhidan chiqib ketgan yoki ketmaganligini aniqlaydi va agar u chiqib ketgan bo'lsa, yangisi peyjing guruhida ro'yxatdan o'tadi. Kutish rejimini qo'llash WiMAX tarmog'ining uchta mantiqiy elementlariga yuklangan (14.12-rasm). Ular peyjing agenti (RA – Paging Agent), peyjing kontrolleri (RS – Paging Controller) va joylashish o'rni registri (LR – Location Register) hisoblanadi.

Peyjing agenti bazaviy stansiyaning mantiqiy funksiyasi hisoblanadi. U radiotarmoq peyjing protokollari (IEEE 802.16e standartining MAC-darajasi) va WiMAX tayanch tarmog'i protokollarini moslashtirishni ta'minlaydi. WiMAX tayanch tarmog'i peyjing kontrollerini qo'llaydi. U ham to'g'ridan-to'g'ri BSda (B ASN-profil) va undan tashqarida (S profil) joylashishi mumkin. Ikkinchi holda, RA va RS orasidagi aloqa uchun R6 interfeysi ishlatiladi.

MSga nisbatan peyjing kontrolleri yyetakchi (bazaviy) yoki retranslyatsion bo'lishi mumkin. Har bir mobil stansiya kutish rejimida faqat bitta yyetakchi RS bilan bog'langan. U MSning joylashish o'rni haqidagi ma'lumotlarni saqlaydi va yangilaydi. Agar MS R6 kanali bo'yicha to'g'ridan-to'g'ri bog'lanmagan yyetakchi RS bilan bog'lanmagan BSning ishlash zonasida bo'lsa, MSning joylashish o'rni haqidagi ma'lumotlarni R4 kanallari bo'yicha o'z yyetakchi RSga uzatadigan retranslyatsion peyjing kontroller (yoki bir nechta kontrollerlar) ishlatiladi (14.12-rasm).



14.12-rasm. Peyjing modeli

Joylashish o'rnini registri har bir yyetakchi RS bog'langan taqsimlangan ma'lumotlar ombori hisoblanadi. Bu ma'lumotlar bazasida har bir MS uchun joriy peyjing guruhi, peyjing sikli va surilish, oxirgi BS identifikatori va so'nggi retranslyatsion RS kabi ma'lumotlar saqlanadi. Kutish holatida bo'lgan MS uchun LRda yana shuningdek tarmoq sozlamalari (IEEE 802.16e bo'yicha) va bu MSning servis oqimlari to'g'risidagi ma'lumotlar saqlanadi. Bu ma'lumotlar yetakchi RS orqali MSning joylashish o'rnini aniqlash va unga xabarlarini uzatish, shuningdek kutish rejimidan chiqqandan keyin unga tarmoqqa qayta ulanishni osonlashtirish uchun ishlatiladi.

Xizmat ko'rsatish sifati

Binobarin, WiMAX tarmoqlari dastlab operatorlik sinfidagi tarmoqlar sifatida qaralgan, QoSni ta'minlash masalasi ularda birinchi o'rinda turadi. IEEE 802.16 standarti QoS masalalarini ma'lum bir servis oqimi bilan bog'laydi. Har bir ulanish berilgan QoS parametrlarida o'z servis oqimi orqali xizmat ko'rsatiladi. WiMAX abonentiga bunday servis oqimlarining berilgan to'plami - QoS profili mumkin bo'ladi (14.13-rasm). Bu haqdagi ma'lumotlar abonentlarni boshqarish tizimida (masalan, AAA-server ma'lumotlar bazasida yoki maxsus siyosat serverida) saqlanadi [24].

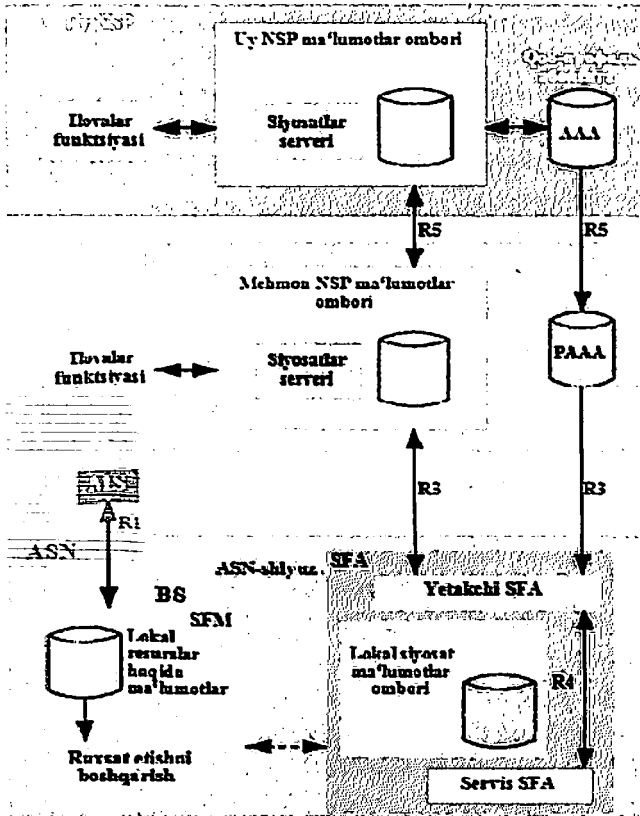
Statsionar QoS boshqaruv modelida abonent stansiyasi aloqa seansi davomida servis oqimlarining parametrlarini o'zgartira olmaydi yoki yangi servis oqimlarini yarata olmaydi. Biroq, dinamik QoS boshqaruv modelida abonent stansiyasi yoki bazaviy stansiya servis

oqimlarini dinamik o'zgartirishi, yaratishi yoki yo'q qilishi mumkin. Yangi servis oqimlarini qayta ulash/yaratish, masalan, MS ilovalar darajasida istalgan CSN funksiyalariga kirganda sodir bo'lishi mumkin. Shunday qilib, WiMAX tarmog'i yer usti segmentining vazifasi har bir abonentga nisbatan IEEE 802.16 standartida aniqlangan servis oqimlarini boshqarishni ta'minlash hisoblanadi.

QoS funksiyalarini amalga oshiradigan WiMAX tarmog'ining asosiy elementlari servis oqimini boshqarish moduli (SFM – Service Flow Management) va servis oqimini mualliflashtirish moduli (SFA – Service Flow Authorization), shuningdek, abonentning ruxsat etilgan resurslari to'g'risidagi ma'lumotlarni saqlash tizimi hisoblanadi (14.13-rasm).

SFM moduli har doim BSda joylashgan. U servis oqimlarini yaratish, o'chirish, ruxsat berish yoki o'zgartirish uchun javobgar. Tuzilmaviy jihatdan SFM ruxsat etishni boshqarish boshqarish (AS – admission control) funksiyasi va lokal resurslar haqida ma'lumotlar omborini o'z ichiga oladi. AC funksiyasi lokal radio va boshqa resurslar haqidagi ma'lumotlarni tahlil qilish asosida yangi servis oqimi qo'shilishi mumkinligini aniqlaydi.

SFA moduli ma'lum bir abonentning QoS parametrlari haqida ma'lumotlar bilan doimiy ravishda berilgan BSning SFMni bilan ta'minlash uchun mo'ljallangan. Ya'ni, u BS va AAA-serverda yoki abonentning uy CSN-tarmog'idagi o'xshash qurilmada saqlanadigan abonentlar parametrlari haqidagi global ma'lumotlar ombori orasida ko'prikk bo'lib xizmat qiladi. Bu qurilma ASN-shlyuzda joylashgan. Binobarin, gap mobil abonentlari haqida ketayotgan ekan, yetakchi (asosiy) va servis SFA tushunchasi kiritilgan.



14.13-rasm. QoS ta'minlash tizimi

Yetakchi SFA MS tarmoqqa ulanganda aniqlanadi va u qayta ro'yxatdan o'tguncha o'zgar olmaydi (u butun seans davomida o'zgarishsiz qoladi). Yetakchi SFAda abonent tarmoqda ro'yxatdan o'tganida uning QoS profiliga oid ma'lumotlar uzatiladi. Agar MS boshqa ASN-shlyuz zonasida bo'lsa, u endi yangi SFA bilan o'zaro ta'sirlashishadi. Joriy momentda MS bilan bog'langan bunday SFA servis SFA deb ataladi. Servis SFA R4 kanallari bo'yicha MS va uning yetakchi SFA orasida (aniqrog'i, joriy momentda MS ishlaydigan bazaviy stansiyaning SFM moduli va bu MS uchun yetakchi SFA orasida) retranslyator funksiyasini bajaradi. Yetakchi va servis SFMning funksiyalariga tarmoq resurslarini yuklash va taqsimlashga bog'liq bo'lgan bu ASN-tarmoq uchun lokal QoS siyosatini amalga oshirish kiradi.

14.3. Mobil va statsionar WiMAX standartlarini taqqoslash

Barcha 802.16 standartlari abonentlari qurilmalari yoki tarmoqlar (masalan, lokal tarmoqlar yoki muassasalar ATSlari) va transport tarmog'i (umumiy foydalanishdagi telefon tarmoqlari yoki Internet) orasidagi aloqa traktidagi uchta interfeyslarni birlashtiradigan yagona etalon model asosida ishlab chiqilgan. Birinchi radiointerfeys abonentlar qabul qilish/uzatish tugunining bazaviy stansiya bilan o'zaro ta'sirlashishini aniqlaydi, ikkinchi interfeys radiotugunlar va ulardan keyingi tarmoqlar – abonentlar va transport tarmoqlari orasidagi signallar almashinuvi bilan qamrab oladigan ikkita komponentlarni o'z ichiga oladi (bu interfeysning spetsifikatsiyalarini batafsil ishlab chiqishda boshqa IEEE qo'mitalari ham qatnashadi). Uchinchi qo'shimcha radiointerfeysning spetsifikatsiyalari tizimning qamrab olish zonasini oshirish va signal yo'lidagi to'siqlarni chetlab o'tish uchun retranslyatorlar yoki reflektorlardan foydalanishni aniqlaydi [24].

2003 yilning aprel oyida Nokia, Harris Corp., Ensemble va Crosspan firmalari tomonidan WiMAX Forum (Worldwide Interoperability for Microwave Access, Mikroto'lqinli ulanish uchun global ulanish) tashkil etilgan. Bu konsorsiumning asosiy maqsadi simsiz keng polosali ulanish texnologiyalari uchun zamonaviy foydalanuvchi har qanday transport texnologiyasiga qaraganda farqni sezmaydigan o'tkazish qobiliyatli standartni yaratish bo'ldi. WiMAX forumning asosiy vazifasi sifatida WiFi Alliance uyushmasi tomonidan IEEE 802.11 WLAN (Wireless Local Area Networks, Simsiz lokal tarmoqlar) uchun amalga oshirilganidek qadamlarni amalga oshirish bilan aniqlanishi mumkin:

- standartlarni aniqlash va uyg'unlashtirish;
- turli yetkazib beruvchilar qurilmalarining o'zaro ta'sirlashishini sertifikatlashtirish;
- WiMAX texnologiyasini ilgari surish.

Umuman olganda, keng polosali ulanish standartlari bo'yicha IEEE 802.16 ishchi qo'mitasi WiMAX Forum konsorsiumi bilan birgalikda 2005 yil oxiriga kelib quyidagi 802.16 turkumdagi standartlarni ishlab chiqdi (14.1-jadval):

- **IEEE 802.16 yoki IEEE 802.16-2001** - 2001 yil dekabrda tasdiqlangan, WMAN sohasidagi birinchi "nuqta-ko'p nuqta" standarti bo'lib, 10 dan 66 GGsgacha bo'lgan spektrda ishlashga mo'ljallangan edi. Natijada, bu uzatkich va qabul qilgichni to'g'ri ko'rinish zonasida

(*LOS, Line of Sight*) joylashishini talab qildi, bu ayniqsa, shahar sharoitlarida texnologiyadan foydalanishda yetarlicha sezilarli kamchilik hisoblanadi. Tavsiflangan spetsifikatsiyalarga muvofiq, 802.16 tarmog'i 60 ta mijozga T-1 tezligida (1,554 Mbit/s) xizmat ko'rsatishi mumkin edi. Bu standart yaxshi ishlab chiqilmagan va tasdiqlanganidan keyin ham ko'plab ochiq masalalar qoldi.

- **IEEE 802.16a** - 2003 yilning yanvar oyida tasdiqlangan birinchi "tugallangan" standart bo'ldi, bunda avvalgi standartning ko'plab kamchiliklari bartaraf etildi. Shuningdek, unga juda ko'p sonli yangi funksional imkoniyatlar qo'shildi, xususan, oldingi standartga qaraganda asosiy qadamlardan biri ishchi chastotani 2-11 GGsgacha tushirish va natijada bilvosita ko'rinish sohasida ishlash imkoniyatini amalga oshirish (NLOS, Near Line of Sight), shuningdek OFDM modulyatsiyalash prinsipidan foydalanish bilan spektrning litsenziyalanadigan va litsenziyalanmaydigan chastotalar diapazonida ishlashni ta'minlash qo'shildi. Bunday tarmoqdagi ma'lumotlarni uzatish tezligi 75 Mbit/sgacha yetishi mumkin.

- **IEEE 802.16REVd** yoki **IEEE 802.16-2004** - 2004 yilning iyulida tasdiqlangan, 802.16a standartining yangilangan va takomillashtirilgan versiyasi hisoblanadi. Bu standartning oldingi standartdan asosiy farqlari 2-11 GGsli chastota diapazonida statsionar ofis yoki uy terminallar qurilmalarini qo'llash va va to'g'ri ko'rinishni bo'lishi zarurati (NLOS) bo'lmaydigan yo'naltirilgan signalni shakllantirish va OFDM nimtashuvchilaridan foydalanish kabi qo'shimcha funksiyalarni qo'llash bo'ldi. IEEE 802.16-2004 uzatkich va undan 50 km radiusda joylashgan statsionar abonentlar qurilmalari orasida 70 Mbit/sgacha tezlikda ma'lumotlarni almashlash imkoniyatini nazarda tutadi. Bu standart yetarlicha kuchli taqsimlangan tuzilmaga ega bo'lgan korporativ tarmoqlarni qurish uchun juda mos keladi.

- **IEEE 802.16e** - 2005 yilning dekabrda tasdiqlangan, oxirgi foydalanuvchi mobilligiga e'tibor qaratish bilan oldingi standartlar g'oyalarini rivojlantirish hisoblanadi. IEEE 802.16e qurilmalari 2-6 GGsli chastotalarda ishlaydi va bilvosita ko'rish sharoitlarida ishlash imkoniyatini ta'minlaydi. Mijozlar qurilmalari ma'lumotlarni maksimal uzatish tezligi taxminan 20 Mbit/s bo'lganda bazaviy stansiyadan 5 kmgacha masofada bo'lishi mumkin. Bunda foydalanuvchi o'rtacha 1 dan 4 Mbit/sgacha bo'lgan o'tkazish qobiliyatiga ega bo'lgan kanalni oladi. Darhaqiqat, yuqori aholi zichligiga ega bo'lgan shaharlarda

ma'lumotlarni uzatish masofasi yuzlab metrlarni, aholi kam bo'lgan shahar atrofi hududlarida esa 1,5-3 kilometrni tashkil qilishi mumkin.

Mavjud Wi-Fi standartlari kam bo'lmagan ma'lumotlarni uzatish tezligini ta'minlashiga qaramay, ular ofis sharoitlarida ko'pincha 15 metrlardan oshmaydigan ma'lumotlarni uzatish masfasi bo'yicha cheklovlarga ega. Boshqacha aytganda, Wi-Fi texnologiyasiga asoslangan shaharlar masshtablaridagi barqaror qamrab olishni ta'minlash uchun kamida bir necha yuzlab ulanish nuqtalarini o'rnatish kerak bo'ladi. Bu yerda WiMAX texnologiyasining asosiy afzalligi amalga oshiriladi, u Wi-Fi texnologiyasidan farqli ravishda bino chegaralarida aloqa uchun texnologiyasi sifatida emas, balki aloqa masofasi uzaytirilgan keng polosali texnologiya sifatida ishlab chiqilgan.

Barcha afzalliklar i butun WiMAX oilasiga xos, ammo uning versiyalari bir-birlaridan sezilarli farq qiladi. Standartni ishlab chiquvchilar ham qayd etilgan, ham mobil ilovalar uchun optimal yechimlarni izlashdi, ammo barcha talablarni bitta standart doirasida moslashtirishga erishilmadi. Qator asosiy talablar mos tushsa-da, texnologiyalar bozorning turli qismlariga yo'naltirilganligi standartning ikkita alohida versiyalarini yaratilishiga olib keldi (aniqrog'i, ularni ikki xil standartlar deb hisoblash mumkin). WiMAX spetsifikatsiyalarining har biri o'z ishchi chastotalar diapazonlari, o'tkazish polosasi kengligi, nurlantirish quvvati, uzatish va ulanish usullari, signallarni kodlash va modulyatsiyalash usullari, radiochastotalardan takroran foydalanish printsiplari va boshqa ko'rsatkichlarni aniqlaydi. Shuning uchun IEEE 802.16e va d standartlari versiyalariga asoslangan WiMAX-tizimlari deyarli moslashuvchan emas.

802.16e standartining raqobatchilari uchinchi avlod mobil texnologiyalarining barchasi (masalan, EV-DO, HSPA) hisoblanadi.

14.1-jadval.

802.16 standartlarining xarakteristikalari

	802.16	802.16a	802.16REVd	802.16e
Tasdiqlan	2001 yil	2003 yil	2004 yil ivul	2005 yil
Spektr	10 - 66 GGs	11 GGsdan	11 GGsdan	2 - 6 GGs
Ko'rinish	To'g'ri ko'rinish, LOS	Bilvosita, yaqin zona uchun LOS	Bilvosita, yaqin zona va ofis, uy	Bilvosita, NLOS
Modulyatsiya	QPSK, 160 QAM va	OFDM 256, OFDMA+	OFDM 256, OFDMA +	OFDM 256, OFDMA +

Tezlik	32-134	1 - 75	1 - 75	15
Mobillik	yo'q	yo'q	yo'q	ha,
Kanal kanaligi	20, 25 va 28 MCo	1,25-20 MCo	1,25-20 MCo	5 MGsdan yuqori
Yacheyka ning radiusi	1 dan 5 kmgacha	5 dan 8 kmgacha, mos antenna va	5 dan 8 kmgacha, mos antenna va	1 dan 5 kmgacha
Terminal qurilmalari		Chiqariladiga n antennali	O'rnatilgan antennali	PC-karta

Ikki texnologiyalarning asosiy farqi shundaki, qayd etilgan WiMAX faqat "statik" abonentlarga xizmat ko'rsatishga imkon beradi, mobil WiMAX esa soatiga 120 km/soat tezlikda harakatlanadigan foydalanuvchilar bilan ishlashga mo'ljallangan. Mobillik rouming funksiyalarining mavjudligi va abonentlarning harakatlanishida bazaviy stansiyalar orasida "uzluksiz" qayta ulanishni (sotali aloqa tarmoqlarida bo'lgani kabi) bildiradi. Alohida hollarda mobil WiMAX qayd etilgan foydalanuvchilarga xizmat ko'rsatish uchun ham ishlatilishi mumkin.

Qayd etilgan WiMAX texnologiyasining afzalliklariga quyidagilar kiradi:

- ishlatiladigan signallarni modulyatsiyalash va kodlash turlari hisobiga yuqori o'tkazish qobiliyati. Bu o'tkazish polosasiga qat'iy talablarni qo'yadigan va statsionar modemni o'rnatish imkoniyatiga ega bo'lgan korporativ foydalanuvchilar uchun juda muhim;

- tayyor qurilmalarni yetkazib beruvchilarning keng tanlovi (802.16d spetsifikatsiyasi 802.16e spetsifikatsiyasidan oldin paydo bo'lgan). Foydalanuvchilar o'zlarining aniq talablariga eng mos keladigan tarmoqni qurishlari mumkin;

- o'zaro moslashuvchanlikka sinovdan o'tgan qurilmalarning mavjudligi. WiMAX Forum certified sertifikatlari turli ishlab chiqaruvchilar qurilmalarining to'liq moslashuvchanligini kafolatlaydi.

O'z navbatida, mobil WiMAX texnologiyasining afzalliklari quyidagilardan iborat:

- bazaviy stansiyalar orasida o'rnatilgan ulanishni "uzatish" (xendover) hisobiga mobilni ta'minlash. To'g'ri, bunda bazaviy stansiyaning ishlash radiusi kamayadi, ammo bu kamchilik bazaviy stansiyaning arzonligi bilan qoplanadi. Dastlabki hisob-kitoblár shuni ko'rsatadiki, mobil va statsionar WiMAX variantlari asosida shahar

miqyosidagi tarmoqni yaratishda asosiy qurilmalarning narxi taxminan bir xil bo'ladi;

- SOFDMA usuli va adaptiv antennalar ta'minlaydigan binolar ichidagi eng yaxshi qamrab olish. Bu juda muhim, chunki foydalanuvchilar asosan bazaviy stansiyaning ko'rinish zonasidan tashqarida binolarni ichida bo'ladi. Qayd etilgan variantdan foydalanishda qamrab olish yetishmovchiligi tashqi antennani o'rnatish bilan qisman qoplanadi;

- SOFDMA usuli bo'yicha subkanallardan foydalanish operatorga ajratilgan chastota resursidan unumli foydalanishga imkon beradi va uni foydalanuvchilarning so'roviga binoan taqdim etadi. Bu bo'sh chastotalarning etishmasligi sharoitlarida juda muhim imkoniyat hisoblanadi;

- abonentlar qurilmalari - modemlar, noutbuklar uchun kartalar, PDA va smartfonlarning katta tanlovi (qayd etilgan WiMAX uchun abonentlar qurilmalarining doirasi modemlar va PCMCIA-kartalari bilan cheklangan). Bu xizmatlarni aniqroq darajalashtirish va simsiz aloqa operatorlarining takliflarini bozorning turli segmentlariga moslashtirish imkonini beradi;

- qo'shni sotalarda chastotalardan takroran foydalanish mumkin, bu ajratilgan chastotalar resurslaridan foydalanish samaradorligini oshirishga olib keladi va tarmoqning chastotaviy rejalashtirish zaruratini yo'q qiladi.

802.16 oilasidagi turli xil standartlar bozorning turli xil segmentlariga yo'naltirilgan. Shunday qilib, 802.16-2004 standarti qayd etilgan foydalanuvchilar uchun so'nggi millar yechimini ta'minlaydi, shu bilan bir vaqtda 802.16e standarti esa mobil abonentlariga xizmat ko'rsatishga mo'ljallangan (14.14-rasm). Bunda IEEE 802.16 oilasining ma'lum bir standartining uzatish tezligi va ishlash masofasi kabi parametrlar tizimni sozlash parametrlariga sezilarli bog'liq. Masalan, 802.16-2004 yil uchun:

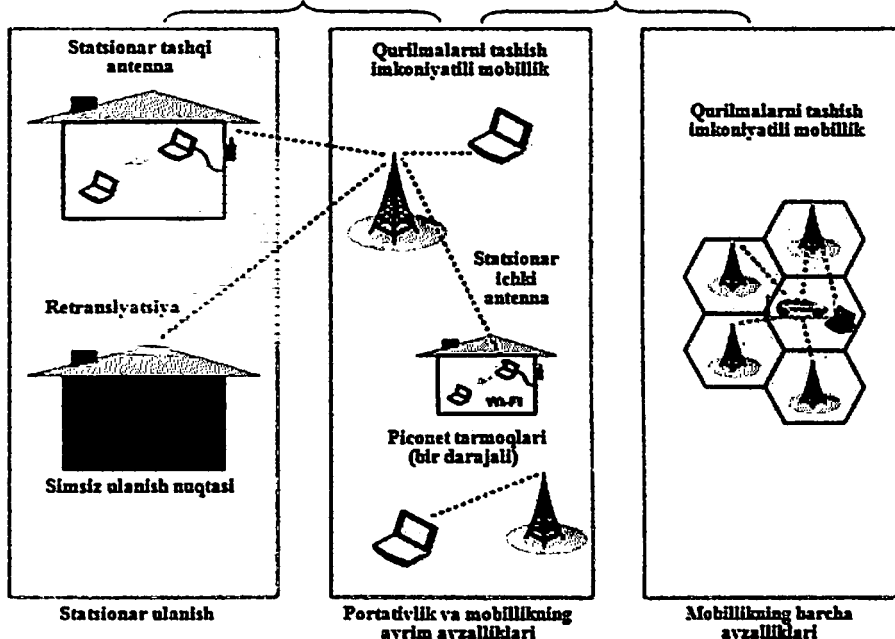
- bazaviy stansiya tomonidagi 75 Mbit/s tezlik faqat ideal sharoitlarda 20 MGs kanal kengligida ta'minlanishi mumkin. Chastotalar sohasida davlat tomonidan tartibga solish ko'pincha ma'lumotlarni uzatish tezligini sezilarli darajada pasaytirish bilan kanalning maksimal kengligiga cheklovlarni qo'yishi mumkin;

- 50 kmli maksimal ishlash masofasiga faqat qator parametrlarning optimal qiymatlari va yetarlicha past ma'lumotlarni uzatish tezligida (bir necha Mbit/s) erishish mumkin; tijorat tizimlarining ishlash

masofasi to'g'ri ko'rinish zonasida bo'lmagan (NLOS) ofis/uy foydalanuvchilari uchun o'rtacha 5 kilometrni va bazaviy stansiya bilan to'g'ri ko'rinish zonasida bo'lgan (LOS) tashqi antennaga ulangan foydalanuvchilar uchun 15 kilometrni tashkil etadi.

IEEE 802.16-2004

IEEE 802.16e



14.14-rasm. IEEE 802.16-2004 va IEEE 802.16e standartlarining qo'llanishi sohalarini taqqoslash

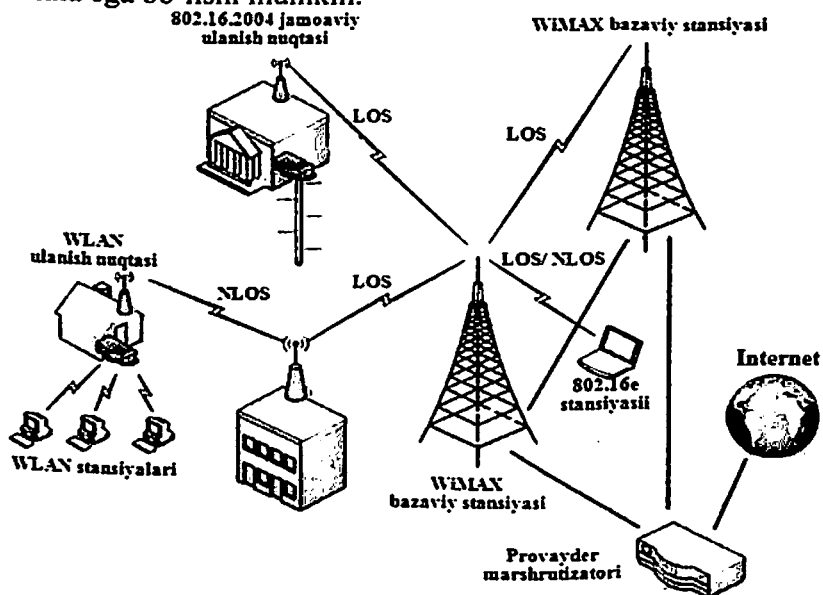
Yo'naltirilgan antennalardan foydalanish va parametrlarni to'g'ri tanlash operatorlarga turli foydalanuvchilar uchun turli quvvatli kanallarni taqdim etishga imkon beradi, masalan:

- bazaviy stansiyadan katta olisdagi (o'nlab kilometrlardagi) foydalanuvchilarga ham telefon aloqasi, ham Internetga ulanish uchun yetarlicha yuqori tezlikni ta'minlash mumkin, buning uchun foydalanuvchi tomonidan bazaviy stansiyaning to'g'ri ko'rinish zonasida tashqi yo'naltirilgan antenna bo'lishi kerak, binobarin, antenna jamoaviy ulanish nuqtasi sifatida ishlatilishi mumkin;

- bazaviy stansiyadan unchalik olisda bo'lmagan (5 kmdan 20 kmgacha) foydalanuvchilarga tashqi antennadan foydalanish bilan aloqa xizmatlariga keng polosali ulanish imkoniyatini ta'minlash mumkin, buning uchun foydalanuvchi tomonidan bazaviy stansiya to'g'ri ko'rinish

zonasida tashqi antenna bo'lishi kerak, binobarin, antenna jamoaviy ulanish nuqtasi sifatida ishlatilishi mumkin;

- bazaviy stansiyaga yetarlicha yaqin (5 kmgacha) bo'lgan foydalanuvchilarga ichki antennadan foydalanish bilan aloqa xizmatlariga keng polosali ulanish ta'minlanishi mumkin, bunda foydalanuvchi signalning sathiga bog'liq ravishda cheklangan mobillikka ega bo'lishi mumkin.



14.15-rasm. WiMAX tarmog'ida keng polosali simsiz ulanishni tashkil etish

14.2-jadvalda qayd etilgan va mobil WiMAX texnologiyalari versiyalarining umumiy xususiyatlari, 14.3-jadvalda esa mavjud va yangi paydo bo'layotgan xizmatlarning taxminiy tasniflanishi keltirilgan. WiMAX variantini tanlashga maqsadli auditoriya turi, mumkin chastotalar diapazoni, ajratilgan radiokanallarning kengligi, aloqa xizmatlarini litsenziyalash va tartibga solish xususiyatlari ta'sir qiladi.

14.2-jadval

Qayd etilgan va mobil WiMAX texnologiyalari versiyalarining umumiy xususiyatlari

Xususiyatlari	Mijoz uchun ahamiyati
Global standart	Bitta yetkazib beruvchiga bog'liqlikni yo'q qiladi. Tarmoq miqyosida tejashga imkon beradi
Yuqori o'tkazish qobiliyati	O'tkazish qobiliyatiga sezgir xizmatlarni amalga oshirishga imkon beradi
Katta ishlash zonasi radiusi	Katta radioqamrab olish ega tarmoqlarni tejimli qurishga imkon beradi
Yagona IP-platforma	IP asosida keng xizmatlar va ilovalar to'plamini joriy etishga imkon beradi
Nuqtalar orasida to'g'ri ko'rinish talab	Shahar qurilishlari sharoitlari va past-balandlikli joylar uchun mos keladi
Xizmat ko'rsatish sinflari bo'yicha QoSni ta'minlash	O'tkazish qobiliyatidan foydalanishni optimallashtiradi
Radiokanalda ma'lumot uzatishda kichik	Kechikishlarga sezgir bo'lgan ilovalarni joriy etishga imkon beradi
Yuqori spektral samaradorlik	Mavjud radiochastota resursidan samarali foydalanish

14.3-jadval.

Mavjud va paydo bo'layotgan xizmatlarning taxminiy tasniflanishi

Uzatiladigan ma'lumotlar turi	Xizmatlar toifasi	Qayd etilgan WiMAX	Mobil WiMAX
Axborotlar	Internet –ulanish, e-mail	++	++
	VPN	++	++
	Ma'lumotlar ombori, portallarga ulanish	+	++
	Ma'lumotlarni to'plash	+	++
	Telemetriya	++	+
	Aktivlar ustidan nazorat	-	+

Tovush	VoIP	++	++
	PTT (guruhli chaqirish)	-	++
	FMC	-	++
Video	Radiochaqiruv	+	++
	Videokonferensiya		
	Videokuzatuv	++	+
Joylashgan o'rin	Axborot xizmatlari	-	++
	Xodimlar va texnikani boshqaruv	-	+
	Chaqiruvlarni adaptiv marshrutlashtirish	-	++

++ xizmatga talab katta: + o'rtacha talab: - qo'llanilmaydi

Nazorat savollari

1. WiMAX texnologiyasini tavsiflang.
2. WiMAX uchun qanday chastotalar diapazonlari ajratilgan?
3. WiMAX tarmog'ining asosiy modelini keltiring va tushuntiring.
4. WiMAX servis tarmoqlari operatorlari, ulanish tarmoqlari va abonentlar orasidagi o'zaro ta'sirlashish modelini keltiring va tushuntiring.
5. C ASN-profilga muvofiq bazaviy stansiya va ASN-shlyuzi orasida asosiy mantiqiy funksiyalarni qanday taqsimlanadi?
6. ASN- va CSN-tarmoqlarning o'zaro ta'sirlashish variantlarini keltiring va tushuntiring.
7. MIP qo'llanidigan WiMAX-tarmoqlarda paketlarni uzatish qanday amalga oshiriladi.
8. WiMAX-tarmoqda QoSni ta'minlash tizimi qanday ishlaydi?
9. IEEE 802.16 e va d texnologiyalari orasidagi asosiy farqlar.
10. Qayd etilgan WiMAX standartlarining (802.16a va IEEE 802.16-2004 standartlarining) afzalliklari va kamchiliklari.
11. Mobil WiMAX standartining (802.16e standartining) afzalliklari va kamchiliklari.
12. Qayd etilgan va mobil WiMAX versiyalarining umumiy xususiyatlari.
13. Qayd etilgan va mobil WiMAX versiyalarida qanday xizmatlar mavjud.

15. TURLI SIMSIZ ALOQA TEXNOLOGIYALARINING XUSUSIYATLARI

15.1. O'ta keng polosali signallardan (UWB) foydalaniladigan ma'lumotlarni uzatish texnologiyasi

Zamonaviy sharoitlarda ma'lumotlarni uzatish tizimlarining samaradorligi va funktsionalligiga qo'yiladigan talablar (halaqitbardoshlikni oshirish, maxfiylik, elektromagnit moslashuvchanlik va boshqalar) ko'p jihatdan radioelektron vositalarning (RES) ishlash sifatiga bog'liq. Bu muammoni bo'lishi mumkin yechish usullaridan biri yangi noan'anaviy signallar turlaridan foydalanish hisoblanadi. Bunday signallar, xususan, o'ta keng polosali (Ultra Wideband, UWB) signallar hisoblanadi [29].

An'anaviy tor polosali va keng polosali signallardan ularning asosiy ustunligi shundaki, UWB signallar ko'p hajmli ma'lumotlarni tashiydi va shu bilan birga so'ndirishdan yashirinlik va barqarorlikka ega. Olinadigan afzalliklar uchun to'lov UWB signallar uchun ham an'anaviy signallarni generatsiyalash, nurlantirish, qabul qilish va ishlov berish usullarining, ham Fur'e o'zgartirishga asoslangan texnik vositalar, elementlar va qurilmalarning rezonans xususiyatlaridan foydalanishning qo'llanib bo'lmasligi hisoblanadi.

UWB signallardan foydalanishning fizik asoslari

Ultra Wideband atamasi hozirgi vaqtda bir qator radiotexnika tushunchalari - tashuvchisiz radiosignal, o'ta keng polosali radiosignal, juda qisqa radioimpuls, vaqt impulsi (time domain, "chip") tushunchalarini anglatadi. Bu signal keng polosali hisoblanadi, chunki uning polosasi kengligini signal spektrining markaziy chastotasi qiymatiga nisbati birdan katta (radioaloqada an'anaviy foydalaniladigan radiosignallar uchun bu nisbat sezilarli past) qiymatni tashkil qiladi [29].

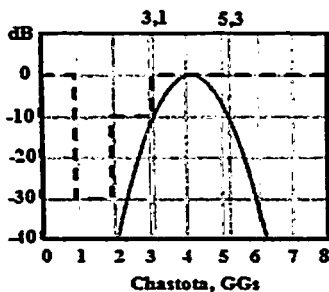
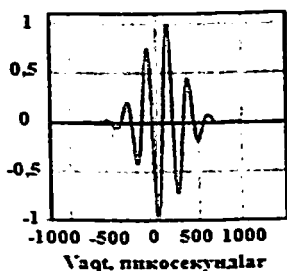
"O'ta keng polosali signallar" atamasining ta'rifi birinchi bo'lib AQSh mudofaa vazirligining DARPA agentligi tomonidan 1990 yilda kiritilgan va 2000 yilda AQSh Federal aloqa komissiyasi (FCC) tomonidan o'zgartirilgan. FCC ta'rifiga ko'ra, UWB signallarga spektral polosasi 1,5 GGsdan kichik bo'lgan barcha signallar, shuningdek spektral polosasining kengligi markaziy chastota qiymatining kamida 25% bo'lgan signallar kiradi. Bu ta'rif hozirgi vaqtda UWB signallar va tizimlarining rivojlanish darajasiga bog'liq.

Texnologiyaning yangi to'liq nomi Ultra Wideband Pulse Technology – o'ta keng polosali impulsli texnologiya hisoblanadi. Bu texnologiyani shakllantirishning navbatdagi bosqichi 2003 yil fevral oyida boshlandi, bunda IEEE xususan, UWB texnologiyasiga asoslangan va Wireless Metropolitan Area Networks (WMAN) shahar miqyosidagi simsiz tarmoqlarni qurilishida foydalanishga mo'ljallangan 802.16a simsiz standartini tasdiqladi.

Ma'lumki, UWB tizimlarida ma'lumotlarni uzatish uchun 0,20-1,5 ns davomiyligidagi o'ta qisqa "Gauss" impulslari yoki davomiyligi 2 ns dan 1 mksgacha bo'lgan xaotik impulslar qo'llaniladi. AQSh Federal aloqa komissiyasining ta'rifiga ko'ra o'ta keng polosali deb nisbiy chastotalar diapazoni 0,25 dan yuqori bo'lgan yoki spektr kengligi 500 MGsdan katta bo'lgan signal yoki tizim hisoblanadi. Oddiylik uchun UWB-uzatkichning ta'rifi taklif qilingan: o'ta keng polosali UWB uzatkichlarga polosasi markaziy chastotaning 25% dan katta qismini tashkil qiladigan uzatkichlar kiradi. Biroq, UWB uchun juda qat'iy chegaralar o'rnatildi: diapazon 3,1 GGsdan 10,6 GGsgacha, zichlik -41 dBm/MGsdan (~ 10-4 mVt/MGsdan) past bo'lishi kerak (boshqa mamlakatlarda bu yanada qat'iyroq bo'lishi mumkin). Aytgancha, 3,1 GGsdan past chastotalar GPS global joylashishni aniqlash tizimining aniqligiga sezilarli ta'siri uchun UWB uchun ta'qiqlangan.

UWB texnologiyasi boshqa barcha kommunikatsion tizimlaridan tubdan farq qiladigan simsiz aloqa texnologiyasi hisoblanadi. Bu farq shundan iboratki, UWB texnologiyasi radiochastotaviy tashuvchisiz simsiz kommunikatsiyalarni ta'minlaydi. Buning o'rniga u davomiyligi bir nanosekundan kichik bo'lgan modulyatsiyalangan energiya impulslarini ishlatadi. Fur'e tahliliga ko'ra ideal impuls (ya'ni berilgan amplitudali va cheksiz kichik davomiylikli to'lqin) cheksiz o'tkazish polosasini ta'minlaydi. Natijada uzatish an'anaviy radiochastotaviy sinusoidal to'lqinlariga o'xshamaydi. Buning o'rniga ular impulslar ketma-ketligiga o'xshaydi.

Individual UWB impulsiga misol 15.1-rasmda keltirilgan. Ma'lumotlar passiv pauzali amplitudaviy manipulyatsiyalash yordamida uzatiladi. Bu turdagi manipulyatsiyalash o'ta keng polosali aloqa tizimlarining barcha afzalliklarini saqlanishida ma'lumotlarga ishlov berishning oddiyligini ta'minlaydi. UWB tizimlarining axborot sig'imi hozirda ma'lum bo'lgan simsiz aloqa tizimlaridan ustun bo'lib, bu juda yuqori o'tkazish qobiliyatiga ega bo'lgan tezkor simsiz tarmoqlarni yaratishga imkon beradi.



15.1-rasm. UWB signalining vaqt bo'yicha yoyilishi (chapda) va chastotaviy xarakteristika (o'ngda)

UWB texnologiyasidan foydalanish bilan qurilgan tarmoqlarda simsiz aloqa uchun juda yuqori tezlik - 480 Mbit/sgacha tezlik, to'g'ri 3 metrgacha bo'lgan juda qisqa masofalarda ta'minlanadi. 10 metrgacha bo'lgan masofalarda texnologiya atigi 110 Mbit/sgacha tezlikka erishishga imkon beradi, bu ham umuman olganda kam emas. Biroq, bu yerda asosiy muammo - o'tkazish qobiliyatining masofasi ortishi bilan keskin pasayishi yotadi, bu pasayish esa hatto 100 mlargacha masofalarda 54 Mbit/sgacha o'tkazish qobiliyatini ta'minlaydigan 802.11a/g simsiz standartlaridan ancha past. Bu shunga bog'liqlik, havodagi elektromagnit nurlanishning dispersiyasi tor polosali signallarga qaraganda keng polosali signalning sezilarli buzilishlariga olib keladi. Buzilishlar masofaning ortishi bilan to'planadi va yakunda qabul qilgichning kirishidagi signalning sathi juda past bo'ladi. Ma'lumotlarni katta tezliklarda uzatish va joylashish o'rni aniqlash bo'yicha xizmatlarni amalga oshirish uchun yetarlicha katta maydonlarda UWB texnologiyasining qo'llanishi yetarlicha yaqin joylashgan ulanish nuqtalari bilan ma'lumotlar uzatish tarmog'ini yaratishni talab qiladi.

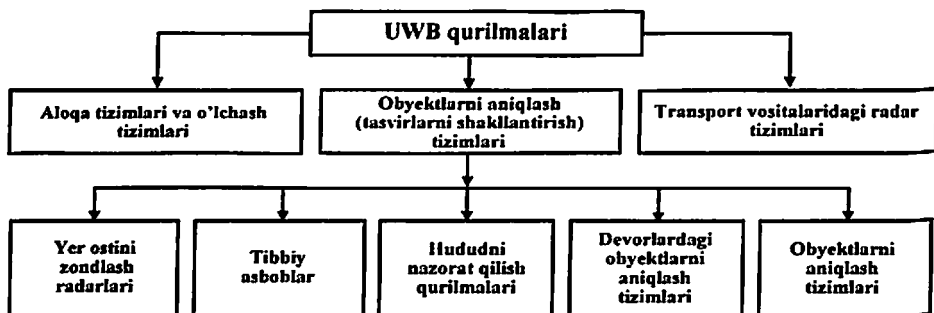
Binolarda o'ta keng polosali xaotik radioimpulslarning tarqalishida interferensiyaning deyarli yo'qligi, shuningdek binolarning devorlarida o'ta keng polosali xaotik signallarning past (tor polosali signallarga qaraganda) so'nishi kuzatiladi.

Binolarda polosali signallarning tarqalishida qaytgan nurlarning kogerent qo'shilishiga bog'liq bo'lgan murakkab interferensiyalar manzara paydo bo'ladi. Bu manzara signallarni so'nishida va uzatgichga nisbatan qabul qilgich pozitsiyasining sezilarsiz o'zgarishida aloqa sifatining keskin o'zgarishida namoyon bo'ladi.

15.2. O'ta keng polosali signallarning qo'llanishi sohalari

UWB qurilmalari uchta toifalarga bo'linadi (15.2-rasm). Ular uchun qurilmalarning keltirib chiqaradigan bo'lishi mumkin potensial halaqitlarni hisobga oladigan texnik standartlar va foydalanishga cheklashlar o'rnatilgan.

UWB texnologiyasining xususiyatlari uni amalda joriy etish afzalliklarini aniqlaydi [29].



15.2-rasm. FCC tasniflashi bo'yicha UWB qurilmalarining turlari

1. Ma'lumotlarni katta uzatish tezliklari. An'anaviy tizimlarda ishchi chastota va spektrning ajratilgan kengligi asosan aloqa kanalining o'tkazish polosasini aniqlaydi va uzatkichning quvvati esa uning ishlash masofasini aniqlaydi. UWB texnologiyasida bu ikkita tushunchalar birbirilari bilan uzviy bog'liq bo'lib, aloqa masofasi va uzatish tezligi orasida mavjud imkoniyatlarni qayta taqsimlashga imkon beradi. Natijada, uzatkichlarning mos quvvatlarida UWB-tizimlari uzoq masofalarda past tezlikda ishlay oladi, qisqa masofalarda esa hatto o'rtacha juda past o'rtacha nurlanish quvvatlarida juda yuqori tezliklarni (500 Mbit/sgacha va undan yuqori) olish mumkin. O'tkazish qobiliyati bo'yicha UWB-tizimlari IEEE 1394 (FireWire) va USB 2.0 kabi zamonaviy simli interfeyslar bilan raqobatlasha oladi va raqamli tasvirlar va videoni uzatish uchun ishlatilishi mumkin [29].

2. Yuqori halaqitbardoshlik. Binobarin, UWB-signal keng chastotalar spektrida taqsimlangan ekan, cheklangan quvvatli tor polosali halaqitlarning unga ta'siri korrelyatsion ishlov berish natijasida sezilarsiz bo'lib qoladi. Bundan tashqari, juda qisqa impulslardan foydalanish ularni yuqori sig'imda generatsiyalashga imkon beradi, bunda impulsning yig'indi davomiyligi umumiy aloqa vaqtining 1% dan

kamrog'ini tashkil qilishi mumkin va shunday qilib 99% dan ortiq shovqin strobirlash bilan shunchaki "kesib tashlanadi" [29].

3. Radioto'lqinlarining ko'p nurli tarqalishi sharoitlarida barqaror aloqa. Qabul qilish antenanasiga ham uzatkichdan to'g'ridan-to'g'ri signalni, ham atrofdagi predmetlardan qaytgan signallarni kelishiga bog'liq bu samara ta'sir istalgan tizimlarda radioqabul qilish sharoitlarini yomonlashtiradigan eng muhim omillardan biri hisoblanadi. Bunday kanallarda buzilishlarning hosil bo'lishi bitta signalni deyarli teng amplitudali, lekin faza bo'yicha farqlanadigan boshqa signal bilan ustma-ust tushishiga bilan bog'liq [29].

Natijada, bitta nurni boshqa nur tomonidan qisman yoki to'liq so'ndirilishi bo'lib o'tadi. Bugungi kunga kelib bu samarani kamaytirish uchun qator turli usullar ishlab chiqilgan, ammo an'anaviy texnologiyalarning hech biri bir necha nanosekundardagi kechikishlarga ega bo'lgan qaytgan signallar bilan kurasha olmaydi, bu binolar ichida radioto'lqinlarining tarqalishi hollari uchun o'ziga xos hisoblanadi.

Bunday sharoitlarda UWB texnologiyasining prinsipial farqi shu hisoblanadiki, u juda katta signallar spektridan foydalanadi va shuning uchun barcha signallarni boshqa signallar bilan o'zaro kompensatsiyalanishi ehtimoli juda past.

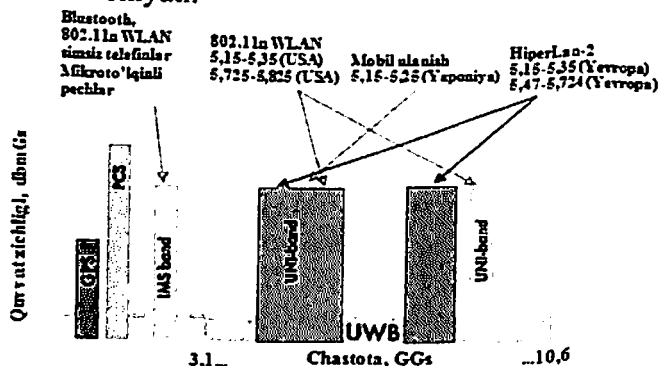
Bundan tashqari, uzatish uchun juda qisqa impulslar ishlatiladi, demak, simvollararo buzilishlar ham bo'lmaydi, qabul qilingan impulsning energiyasi deyarli har doim navbatdagi impuls kelishi momentigacha butunlay so'nishga ulguradi va qabul qilgichning korrelyatorida odatda signalga bog'liq bo'lmagan halaqit sifatida shunchaki filtrlanadi.

4. Qo'lga kiritishdan aloqaning yuqori himoyalanganlik darajasi. An'anaviy radiotizimlarning qabul qilgichlari UWB-signallarni tasodifiy halaqitlar sifatida qabul qiladi, bundan tashqari ular ko'pincha tabiiy shovqinlarda amplituda bo'yicha yashiringan bo'lib qoladi. Turli o'ta keng polosali tizimlar umumiy soni, asosan, juda katta bo'lgan kodlovchi psevdotasodifiy ketma-ketliklarni qurish uchun turli xil algoritmlardan foydalanadi. Shu sababli, turli tizimlardagi kodlarning tasodifiy mos tushishi deyarli bo'lmaydi, kodni maqsadli tanlash juda qiyin va ko'p vaqt talab qiladigan masala hisoblanadi [29].

5. Yuqori elektromagnit moslashuvchanlik. Shovqin-sifat tuzilma, odatda UWB-tizimlari signallarining yetarlicha past sathlari va kodlashdan foydalanish boshqa qurilmalar uchun halaqitlarni hosil

qilmaydi, bu 15.3-rasmda tasvirlangan. Gorizontaal uzlukli chiziq FCC tomonidan aniqlangan halaqit qiluvchi signal quvvati spektral zichligining ruxsat etiladigan qiymatini bildiradi. Ko‘rinib turibdiki, UWB mavjud tizimlarga halaqit qilmasligi kerak, ammo ular UWB qabul qilgichigaga yaqin bo‘lganda uni to‘shishi mumkin [29].

6. Ham UWB tizimlarining yaqinida, ham an’anaviy tizimlar bilan birgalikda radiochastota spektrining o‘sha bir oralig‘idan ko‘p karrali takroran foydalanish imkoniyati va bunda kelib chiqadigan litsenziyasiz asosda ishlash imkoniyati.



15.3-rasm. Ma’lum texnologiyalar va UWB teznologiyasi chastotalari polosalarining nisbati

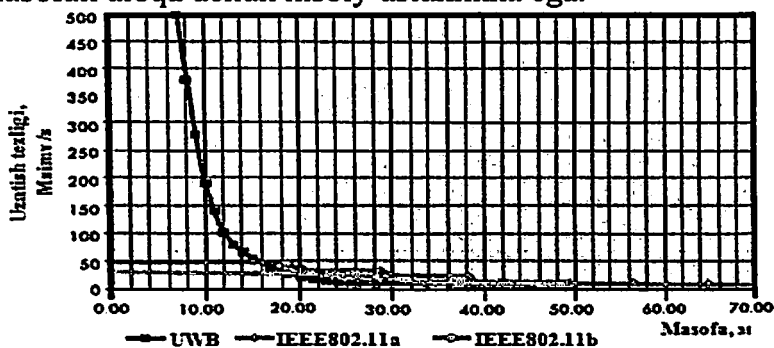
Zamonaviy “Radioaloqa reglamenti”ga muvofiq, butun radiochastotalar spektri turli xil xizmatlar o‘rtasida taqsimlangan va o‘ta past chastotalardan o‘ta yuqori chastotalargacha butun diapazonda deyarli bo‘sh oraliqlar qolmagan. Ammo, yuqorida ta’kidlanganidek, turli kodlar ketma-ketliklarini ishlatadigan turli UWB-tizimlar bir-birlarining ishlashiga halaqit qilmasdan o‘sha bir chastotalarda ishlashi mumkin.

Bundan tashqari, UWB tizimlarining o‘ziga tortadigan xususiyati shundaki, ularning ishlashi uchun maxsus ajratilgan chastota diapazoni talab qilinmaydi, ular boshqa tizimlar egallagan spektrning oraliqlaridan bu tizimlarga halaqitlarni hosil qilmasdan foydalanishi mumkin. Bu shundan iboratki, hatto efirga uzatiladigan yetarlicha yuqori yig‘indi quvvatga (va demak, bo‘lishi mumkin ishonchli qabul qilish sezilarli masofalariga) ega bo‘lish bilan o‘ta keng chastota polosasiga taqsimlangan UWB-signallar bu spektrning har bir nuqtasida juda past satha ega bo‘ladi.

Amalda, u turli xil uy, ofis va ishlab chiqarish qurilmalari (mobil telefonlar, kompyuterlar, televizorlar, turli xil mashinalar va boshqalar) uchun ruxsat etiladigan yon nurlanishlar darajasidan oshmaydi, demak, mavjud qoidalarga muvofiq, ruxsat etilgan hisoblanadi. Boshqacha aytganda, rasmiy ravishda, UWB tizimlari, qabul qilingan qoidalarni buzmaslik sifatida hech qanday maxsus litsenziyalar olmasdan foydalanilishi mumkin.

7. UWB signallarining turli xil to'siqlar orqali yuqori singish qobiliyati ularning turli sharoitlarda - ichki va hattoki Yerning kichik qatlamida ishonchli tarqalishini ta'minlaydi. Aynan o'ta keng polosasilik tufayli turli xil muhitlarda qisqa impulsli signallarning so'nishi juda past, chunki ularning so'ndirilishi odatda butun diapazonda bo'lib o'tmaydi. Aynan shuning uchun hatto past quvvatlarda bunday signallar, masalan, yer osti radiolokatsiyasi va devorlar orqali kuzatish maqsadlarida samarali ishlatilishi mumkin [29].

UWB-signal devorlarga va boshqa to'siqlardan sezilarli yaxshi o'tadi, bu UWB asosidagi tarmoqlarni ofis tarmoqlari uchun foydalanishni o'ziga tortadigan qiladi. 15.4-rasmdan ko'rinib turibdiki, bu jihatdagi texnologiya boshqa ma'lum texnologiyalarga qaraganda qisqa masofali aloqa uchun nisbiy ustunlikka ega.



15.4-rasm. Taqqoslanadigan texnologiyalar uchun uzatish tezliklarining masofaga bog'liqligi

8. Masofani juda yuqori aniqlik bilan o'lchash imkoniyati. Impulslarning juda qisqa davomiyligi bir necha santimetr gacha bo'lgan xatolik bilan masofalarni aniqlashga imkon beradi [29].

9. Past nurlanish quvvatida ishlash imkoniyati, bu ma'lumotlarni past qo'lga kiritish ehtimolligida radiosignallarni uzatishning maxfiyligiga qo'shimcha ravishda qurilmalarning hajmini kichraytirish

va tejamli energiya iste'molini ta'minlaydi. UWB texnologiyasi an'anaviy tizimlar bilan taqqoslaganda sezilarli darajada pastroq uzatkichlar quvvatlari bilan, demak, kam energiya sarflarida ishlashga imkon beradi. Bundan tashqari, UWB tizimlari atigi 0,5-1% impulsli ketma-ketlikning to'ldirish koeffitsientida juda qisqa impuls bilan ishlaydi, bu ham o'z navbatida UWB qurilmalarining energiya iste'molini kamaytiradi [29].

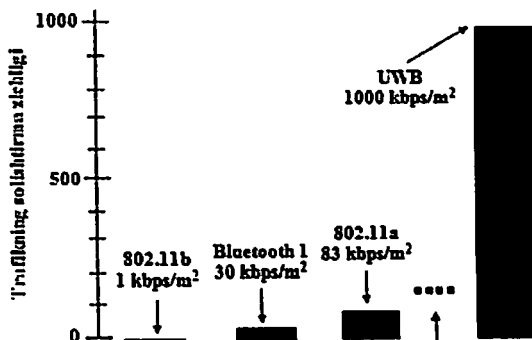
10. Qabul qilish va uzatish qurilmalarning texnik jihatdan soddaligi va nisbiy arzonligi ularni turkum ishlab chiqarishning yuqori rentabelligini va iqtisodiy samaradorligini ta'minlaydi. UWB asosidagi qurilmalar an'anaviy qurilmalarga qaraganda texnik oddiy, chunki UWB tizimlarida quvvat kuchaytirgichlaridan foydalanishga zarurat yo'q, ularning qabul qilgichlari geterodinlar va chastotaviy filtrlash pretsizion elementlariga ega emas, signallarni modulyatsiyalash va demodulyatsiyalash tugunlari juda sodda va arzon [29].

Darhaqiqat, UWB tizimlarida uzatkich sxemasi juda sodda, chunki unda aslida kerakli shakldagi impuls hosil qilinadi va u darhol antennaga uzatilishi mumkin. UWB antennalar tizimlari bajarilishi bo'yicha juda sodda va to'g'ridan-to'g'ri bosma elektron platalarda ishlab chiqarilishi mumkin, signal plataning o'zidan efirga uzatilishi mumkin.

Qabul qilgichda signal spektrning ishchi zonasini ajratadigan keng polosali filtrdan o'tadi, kuchaytiriladi va korrelyatsion ishlov berish natijasida tayyor videoimpuls shaklini oladi, keyin dekodlash qurilmasiga beriladi. Shunday qilib, aytish mumkinki, har qanday murakkab tashqi chastotali filtrlash va kuchaytirish sxemalarisiz bitta kristalli qabul qilgichlarni yaratish imkoniyati haqidagida barcha radiomuhandislarning orzusi UWB bilan amalga oshadi.

11. Ma'lumotlarni uzatish yuqori potensial solishtirma zichligi (15.5-rasm). Bu ko'rsatkich simsiz aloqa tizimlarining samaradorligini tavsiflaydigan eng muhim mezonlardan biri hisoblanadi. U ishchi maydonning bir kvadrat metriga to'g'ri keladigan erishiladigan ma'lumotlar uzatish tezligining yig'indi qiymati sifatida aniqlanadi va "bit/s/m²" o'lchamga ega. UWB tizimlar bugungi kunda bu ko'rsatkichning eng yuqori qiymati - taxminan 1 Mbit/s/m² qiymatga ega (bu qiymat, masalan, radiusi 10 m bo'lgan, kamida 50 Mbit/s tezlikli oltita ma'lumotlar oqimi bo'lgan bitta sotada parallel uzatishning real imkoniyatidan osonlik bilan hisoblanadi). Masalan, Bluetooth texnologiyasining o'xshash parametrlari atigi kbit/s/m²ga

teng ekanligi va bugungi kunda eng zamonaviy ofisning odatdagi ehtiyojlari 50 kbit/s/m²dan oshmasligi ko'rsatilsa, bu qiymatning ko'lamini yanada aniqroq bo'ladi [29].



15.5-rasm. Amalga oshirilgan trafik zichligi bo'yicha texnologiyalarni taqqoslash

Boshqacha aytganda, UWB texnologiyasi kelajakdagi ehtiyojlar uchun sezilarli "zaxira"ni ta'minlay oladi. UWB texnologiyalarining barcha bu texnologik va ekspluatatsion afzalliklari ularni qo'llashning eng keng imkoniyatlarini oldindan belgilab beradi. Bu nafaqat mobil telefonlar yoki aloqa radiostansiyalari, balki hatto binolar ichida ishonchli ishlaydigan, halaqitbardosh va yuqori tezlikli lokal kompyuter tarmoqlari, mobil videotelefonlar va "talab bo'yicha video"ni olish personal simsiz qurilmalar va boshqalarni yaratish imkoniyati hisoblanadi.

UWB texnologiyasining texnik va ekspluatatsion afzalliklari bunday qurilmalar uchun juda ko'p qiziqarli qo'llanishlarni ishonchli tarzda taxmin qilishga imkon beradi, masalan, quyidagi sohalarida [29]:

- *Telekommunikatsiya.* Bu yerda qurilmalar ham ichki ishlash uchun, ham sezilar olis masofalarda (WAN, WLAN va boshqalar) aloqa uchun yaratilishi mumkin.

- *Radiolokatsiya.* UWB-lokatorlar yuqori aniqlikka ega va odatdagi radiolokatorlar ishlamay qolishi mumkin bo'lgan to'siqlarda ishlaydi. Ular har qanday materiallardan devorlar va konstruksiyalaridan ztish bilan binolar ichida ishlashi, yoki turli minerallarning sayoz qatlamlarini aniqlay oladigan, yer osti kommunikatsiyalarining joylashish o'rni va holatini xatosiz aniqlay oladigan, vayronalar yoki qor ko'chkisi ostida odamlarni topish va

boshqa yer ostini zondlash radarlari (Ground Penetrating Radars - GPR) bo'lishi mumkin.

- *Joylashish o'rnini aniqlash vazifalari.* Masofalarni santimetrlargacha aniqlikda o'lchash imkoniyati UWB tizimlaridan turli obyektlarning joylashish o'rni aniqlash, transport vositalari va sanoat robotlarini masofadan boshqarish, ularni aqlli logistika tizimlarida va boshqa ko'plab sohalarda qo'llash uchun keng foydalanishga imkon beradi.

- *Maxsus (davlat va harbiy) qo'llanishlar.* Radioqo'lga kiritish va radiosondirishdan yuqori darajada himoyalangan raqamli ovoz va ma'lumotlarni uzatish tizimi mavjud. Oniy spektrning markaziy chastotasi L-diapazonid joylashgana, signal polosasi kengligi taxminan 400 MGs. Radiouzatgichning maksimum chiqish quvvati qiymati 1 Vtni, o'rtacha past-balandlikli sharoitlarda shtirli antennada aloqa masofasi 1-2 kmni tashkil etadi. Nutqni almashlashda uzatish tezligi 128 kbit/s (CVSD voice), ma'lumotlarni uzatishda 115,2 kbit/sni tashkil etadi. Tarmoqdagi ko'p stansiyalari ulanish usuli CSMA-CD hisoblanadi. Ikki tomonlama radioaloqa ta'minlanadi.

UWB va boshqa texnologiyalarning o'tkazish qobiliyatini taqqoslash uchun 15.1-jadvalda keltirilgan bir nechta keng polosali simsiz tizimlarni olamiz [29].

Zamonaviy va istiqbolli tor polosali ma'lumotlarni uzatish tizimlarini UWB tizimlari bilan taqqoslash orqali shuni ta'kidlash mumkinki, mavjud EMM cheklolarida UWB-aloqani qo'llash ehtimoli qisqa masofalarda yuqori tezlikli aloqa bo'ladi. Tor polosali tizimlarga esa katta masofalarda pastroq tezlikli aloqa qoladi.

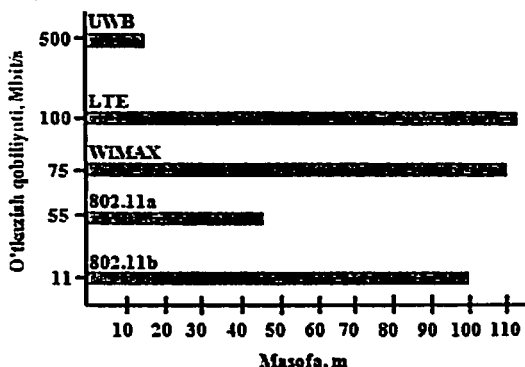
15.1-jadval

UWB qurilmalari va boshqa simsiz aloqa tizimlarining nisbiy texnik xarakteristikalari

Qurilma turi	Uzatish tezligi	Ishlash radiusi, m	Chastotalar dipazoni, GGs	Quvvat sathi	Modulyatsiya turi
UWB	500 Mbit/s	15	3,1-10,6	-30...40 dBm/MGs	RRM/boshqatur
LTE	100 Mbit/s	3000	2,7	-20 mVt/Mgs	64-QAM, OFDMA
WiMAX	75 Mbit/s	10000	1.5-11		OFDM

802.11a, WLAN	54 Mbit/s	50	5	200 mVt - 1 Vt	60-QAM, 16-QAM,
802.11b, WLAN	11 Mbit/s	100	2,4	100 mVt - 2 Vt	SSK (8 Complex

UWB texnologiyalari katta potentsialga ega, chunki UWB texnologiyasining axborot sig'imi boshqa mavjud va rivojlanayotgan texnologiyalarga qaraganda sezilarli darajada katta, bu esa tezkor yuqori o'tkazish qobiliyatiga ega bo'lgan simsiz tarmoqlarni yaratishga imkon beradi (15.6-rasm).

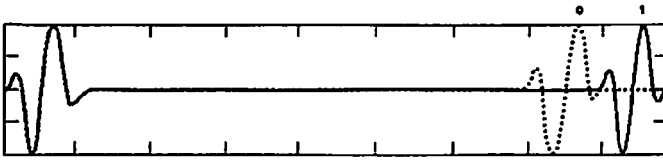


15.6-rasm. Turli simsiz texnologiyalarning maksimal masofasi va o'tkazish qobiliyati nisbiy diagrammasi

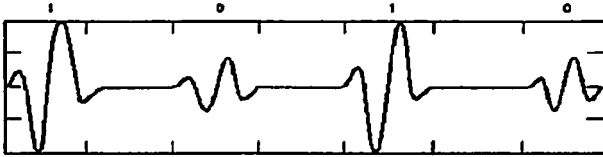
O'ta keng polosali aloqa sohasidagi izlanishlarni rag'batlantiruvchi kuch aniq bo'lib, bu barcha simsiz texnologiyalarni rivojlantirishning asosiy ustuvor yo'nalishi - simsiz aloqa kanalining o'tkazish qobiliyatini oshirish hisoblanadi.

O'ta keng polosali signallarni modulyatsiyalash usullari

UWB-tizimlarda 15.7-15.10-rasmlarda keltirilgan qator ma'lum modulyatsiyalash turlari - PPM (Pulse Position Modulation) impulsi-pozitsion modulyatsiyalash, PAM (Pulse Amplitude Modulation), amplitudaviy modulyatsiyalash, On-Off Keying (OOK) ulanish-uzilish manipulyatsiyalash, Bi-Phase Modulation (BPSK) ikkilik fazaviy manipulyatsiyalash qo'llaniladi [29].



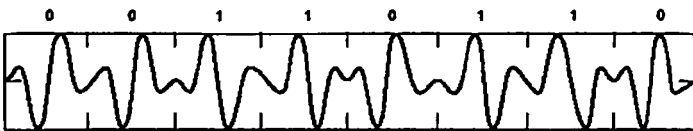
15.7-rasm. PPM impulsli-pozitsion modulyatsiyalash



15.8-rasm. PAM amplitudaviy modulyatsiyalash



15.9-rasm. OOK ulanish-uzilish manipulyatsiyalash



15.10-rasm. BPSK ikkilik fazaviy manipulyatsiyalash

PPM yoki SPPM (Single Pulse Position Modulation) modulyatsiyalash eng keng tarqalgan modulyatsiyalash hisoblanadi, bunda bittalik impuls vaqt oralig'ida berilgan holatiga nisbatan orqaga yoki oldinga suriladi va bu bilan ma'lumotlarning 1 yoki 0 bitini aks ettiradi (15.7-rasm).

Bunda vaqt bo'yicha surilish juda kichik tanlanadi va impuls davomiyligining 1/4 qismidan oshmaydi.

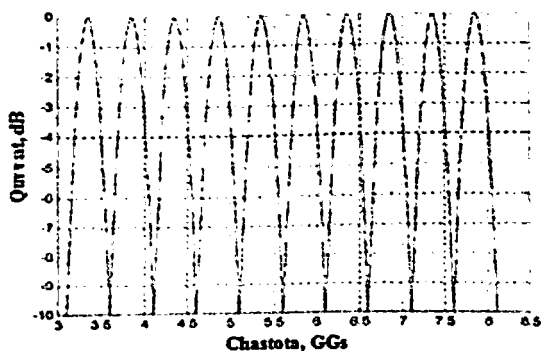
UWB texnologiyasining oshirilgan halaqitbardoshligi shu bilan aniqlanadiki, cheklangan shovqin quvvati va uning spektri kengligiga teng yoki kichik signal spektri kengligida UWB signallardan foydalanish tor polosali signallarga nisbatan signal/shovqin nisbatini sezilarli oshirishga imkon beradi.

Ko'p polosali UWB-texnologiya

Yuqorida aytib o'tilganidek, UWB-signallarga 3,1 dan 10,6 GGsgacha bo'lgan spektral diapazonda 500 MGsdan yuqori spektr kengligiga ega bo'lgan signallar kiradi, binobarin, signallarni o'zlarining impulsiv tabiatiga nisbatan cheklovlar mavjud emas, o'ta qisqa impulslardan foydalanish umuman shart emas. Bundan kelib chiqish bilan an'anaviy simsiz aloqa tamoyillariga asoslanishi bilan UWB-tizimlarni yaratish mumkin [29].

Bu yondashuv ko'p polosali o'ta keng polosali aloqa (Multi-bands UWB) deyiladigan yangi yo'nalishning paydo bo'lishiga olib keldi, uning g'oyasi shundan iboratki, mumkin UWB-chastotalar diapazonini bir nechta tor nimdiapazonlarga bo'lish hisoblanadi (15.12-rasm). Bunda nimdiapazonlarning chastotaviy bog'liq emasligini hisobga olish bilan uzatish bunday nimdiapazonlarning har birida bir vaqtning o'zida amalga oshirilishi mumkin.

Tabiiyki, har bir chastotalar nimdiapazoni uchun o'z signalni tashuvchi chastotasi mavjud. Bundan tashqari, chastotaviy nimdiapazonlardan har birida o'ta qisqa impulslardan endi foydalanish mumkin emas, chunki bu holda natijaviy signal spektri juda keng bo'ladi va ajratilgan chastotalar diapazoni chegaralaridan oshib ketadi. Masalan, 500 MGs kenglikdagi chastotalar nimdiapazonlarining qo'llanishida uzatiladigan signalning davomiyligi 2 ns (spektrning kengligi signal davomiyligiga teskari proporsional) tartibida bo'lishi kerak.



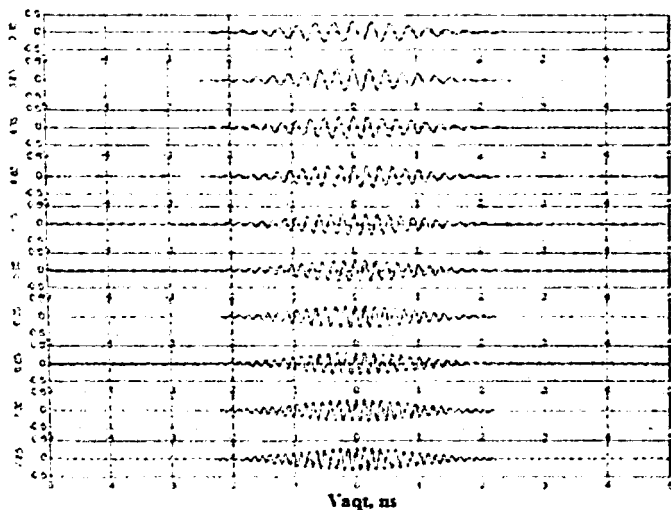
15.12-rasm. UWB-chastotalar diapazonini bir nechta tor pastki nimdiapazonlarga bo'lish

Tushunarliki, 2 ns vaqt oralig'ini to'ldirish uchun 3 GGsdan yuqori chastotali signallardan foydalanishda endi bittalik impuls emas,

balki 2 ns davomiyligidagi sinusoidal signal (to'liqin paketi) talab etiladi. Chastotalar nimdiapazonlarining har birida uzatish u yoki bu modulyatsiyalash usulidan foydalanish bilan yordamida amalga oshiriladi (15.13-rasm). Bir vaqtning o'zida ko'plab chastotalar nimdiapazonlaridan foydalanish nafaqat ma'lumotlarni uzatish tezligini oshirish, balki ko'p tomonlama ulanish muammosini yechish uchun ham qo'llanilishi mumkin.

Yuqori uzatish tezligi va masshtablanuvchanlikni ta'minlashdan tashqari, Multi-bands UWB-texnologiyasidan foydalanish turli xil simsiz aloqa protokollarining birgalikda ishlashi muammosini osonlikcha yechishga imkon beradi. Shunday qilib, UWB uchun ajratiladigan 3,1 dan 10,6 GGgacha spektral diapazonda 5 GGsli diapazon IEEE 802.11a standarti bilan band. 802.11a va UWB signallarining keraksiz interferensiyasi muammosini oldini olish uchun UWB chastotalar nimdiapazonlaridan birini 802.11a protokoli uchun bo'shatish bilan ishlatmaslik yetarli bo'ladi.

UWB tizimlarining asosiy avzalligi ma'lumotlarni uzatish tezligidan iborat, ammo signallarning past spektral zichligi tufayli UWB texnologiyasida ma'lumotlar uzatish tezligi qabul qilgich va uzatkich orasidagi masofaga juda bog'liq va 5 mgacha bo'lgan masofalarda 400-500 Mbit/slarni tashkil qiladi.



15.13-rasm. Chastotalar nimdiapazonlaridan har birida to'liqin paketlarini uzatish

MultiBand OFDM texnologiyasi

Ko'p polosali UWB texnologiyasiga odatiy misol Texas Instruments kompaniyasi tomonidan taklif qilingan UWB MultiBand OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) texnologiyasi hisoblanadi. IDF 2005 bahorgi forumi doirasida Intel korporatsiya UWB texnologiyasining eng muhim texnik spetsifikatsiyalarini ishlash chiqishning tugaganligi va standartlashtirish va tasdiqlash bilan Shug'ullanadigan WiMedia Alliance i Multi-band OFDM Alliance (MBOA) soha guruhlarining qo'shilganligini e'lon qildi [29].

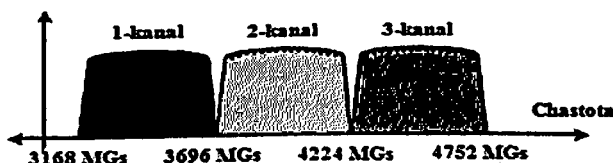
Ta'kidlanganidek, UWB texnologiyasi 3,1 dan 10,6 GGsgacha chastotalar diapazoni ajratilgan. Shu bilan birga, UWB-signalning quvvati spektral zichligiga $-41,5$ dBm/MGsga sathdagi qat'iy cheklashlarda yuqori spektral diapazondan foydalanish signalning so'nishi borligi sababli qiyinlashadi. Bu shundan iboratki, signal ochiq muhitda tarqalganda, tarqalishga yo'qotishlar quyidagi ifoda bilan tavsiflanadi:

$$P_L(f_g, d) = 20 \lg \left[\frac{4\pi f_g d}{c} \right]$$

bu yerda f_g - chastotalar diapazonining yuqori va pastki chegaralari orasidagi geometrik o'rtacha qiymat;

d - signallar uzatkichidan qabul qilgichgacha masofa.

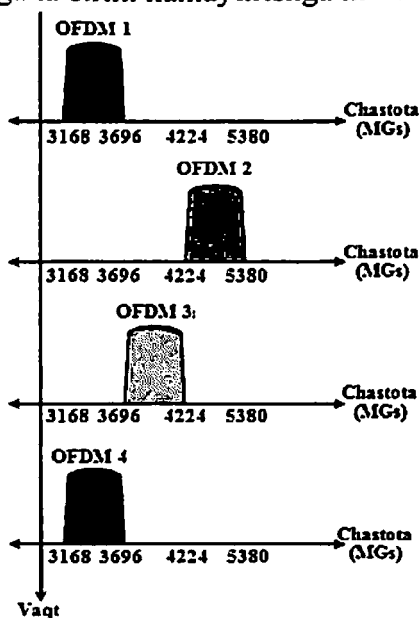
Bu formuladan ko'rinib turibdiki, chastotani ortishi bilan signalning so'nishi kuchayadi. Shuning uchun UWB MultiBand OFDM texnologiyasi butun spektral diapazondan emas, balki faqat 3168 dan 4752 MGsgacha bo'lgan chastotalardan foydalanish ko'zda tutilgan. Bundan tashqari, bu chastotalar diapazoni har birining kengligi 528 MGs bo'lgan uchta chastotalar kanallarga bo'linadi (15.14-rasm): 1-kanal - 3186-3696 MGs, 2-kanal - 3696-4224 MGs, 3-kanal - 4224-4752 MGs.



15.14-rasm. UWB MultiBand OFDM texnologiyasidagi uchta chastotalar kanallari

UWB MultiBand OFDM texnologiyasida uchta chastotalar kanallarining har birini nimkanallarga bo'lish uchun 128 ta chastotalar nimkanallari oynasili Fur'e tez teskari o'zgartirishidan foydalanadi, bunda ulardan 100 ta nimkanallar ma'lumotlarni uzatish uchun, 12 ta nimkanallar esa signalning fazalari va chastotalarni moslashtirish uchun ishlatiladi, qolgan nimkanallardan foydalanilmaydi.

UWB MultiBand OFDM texnologiyasining yana bir xususiyati uch chastotali kanallari (TFI-OFDM) bo'yicha OFDM-simvollarning vaqt bo'yicha navbatlashishi hisoblanadi, ya'ni birinchi simvol OFDM texnologiyasidan foydalanish bilan birinchi chastotalar kanalida, ikkinchi simvol uchinchi chastotalar kanalida, uchinchi simvol ikkinchi chastotalar kanalida, to'rtinchi simvol yana birinchi chastotalar kanalida va h.k. uzatiladi (15.17-rasm). Bu yondashuv butun chastotalar diapazonini bir tekis to'ldirishga va ko'p nurli interferensiyaning signallarni buzilishiga ta'sirini kamaytirishga imkon beradi.



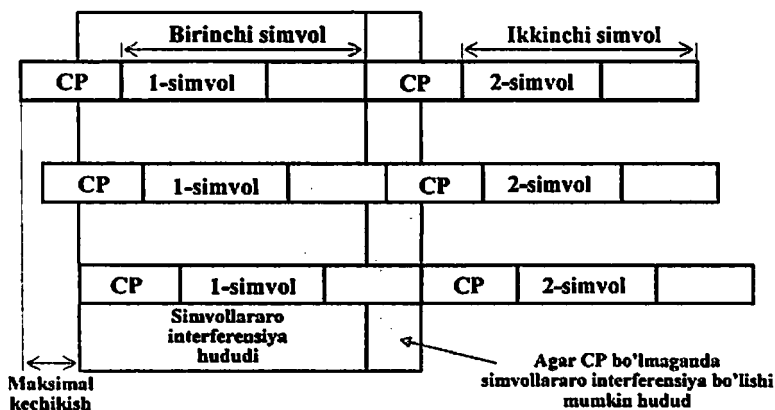
15.17-rasm. Usta chastotalar kanallari bo'yicha OFDM-simvollarning navbatlashishi

Bundan tashqari, OFDM texnologiyasida ko'p nurli interferensiyaga qarshi kurashish uchun himoya intervali (Guard Interval, GI) va siklli prefiks (Cycling Prefix) qo'llaniladi. 9,5 ns

himoya intervali bitta chastotalar kanalidan boshqa chastotalar kanaliga qayta ulanish uchun zarur bo'ladigan alohida OFDM-simvollarining kelishlari orasidagi vaqt oralig'i hisoblanadi.

60,6 ns davomiylidagi siklli prefiks g'ar bir OFDM-simvolning boshlanishiga qo'shiladi va bu simvolni oxirining siklli takrorlanishi hisoblanadi. Siklli prefiksning bo'lishi alohida simvollar orasida vaqt pauzalarini hosil qiladi va agar himoya intervalining davomiyligi ko'p nurli tarqalishi natijasida signalning kechikishi vaqtdan ortiq bo'lsa, u holda simvollararo interferensiya bo'lmaydi (15.18-rasm).

Siklli prefiks ortiqcha ma'lumotlar hisoblanadir va shu ma'noda foydali (ma'lumotlarni) uzatish tezligini pasaytiradi, ammo aynan u simvollararo interferensiyalar paydo bo'lishidan himoya qiladi. Ko'rsatilgan ortiqcha ma'lumotlar uzatkichda uzatiladigan simvolga qo'shiladi va qabul qilgichda simvolni qabul qilinishida tashlab yuboriladi.

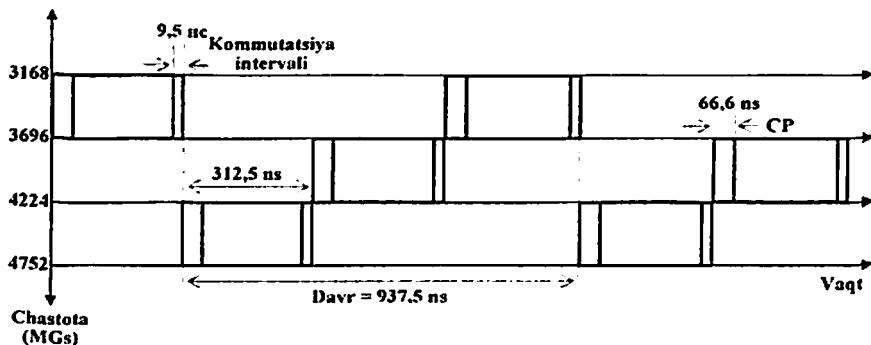


15.18-rasm. Siklli prefiks simvollararo interferensiyani oldini olishga imkon beradi

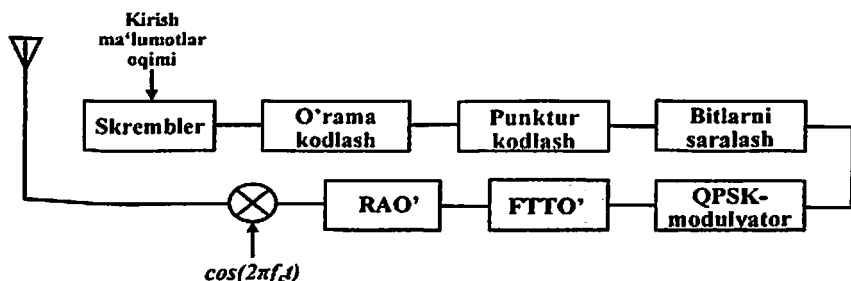
Siklli prefiks va himoya intervalini hisobga olganda OFDM-simvolning davomiyligi 312,5 nsni, uchta simvollarining takrorlanish davri esa 937,5 nsni tashkil qiladi (15.19-rasm).

UWB MultiBand OFDM texnologiyasida fizik darajada ma'lumotlarni uzatishda an'anaviy skremblirlash, o'rama kodlash, bitlarni saralash (Bit Interliving) va QPSK fazaviy modulyatsiyalash ishlatiladi (15.20-rasm).

Bitlarni saralash texnologiyasi alohida qiziqishni uyg'otadi. Bu saralash ham bitta OFDM-simvol (symbol Interleaving) chegaralarida, ham uchta OFDM-simvollar (tone Interleaving) chegaralarida amalga oshiriladi.



15.19-rasm. OFDM-simvollarning vaqt xarakteristiklari



15.20-rasm. Uzatkichning sxemasi

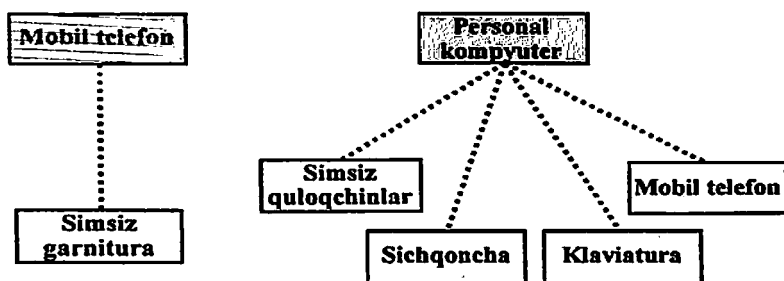
15.3. Bluetooth aloqa texnologiyasi

Bluetooth bir-birlaridan qisqa, odatda 10 m gacha bo'lgan masofalarda joylashgan qurilmalarni simsiz ulash texnologiyasi hisoblanadi. Lekin bu diapazon radioqabul qilgichning quvvati sinfiga bog'liq ravishda kattaroq bo'lishi mumkin (15.3-jadval) [30].

Bluetooth bir vaqtning o'zida bir nechta turli qurilmalar - personal kompyuterlar, mobil telefonlar, cho'ntak kompyuterlari, noutbuklar, printerlar, klaviaturalar, naushniklar va boshqalar orasida aloqa qilish uchun ishlatilishi mumkin. (15.24-rasm)

Bluetooth xarakteristikalari

Pokazatel	Radioqabul qilgich sinflari		
	I sinf	II sinf	III sinf
Maksimal quvvat, mVt	100	2,5	1
Maksimal quvvat, dBm	20	4	0
Ishlash radiusi, m	100	10	1



15.24-rasm. Bluetooth bo'yicha aloqani o'rnatish

OSI modeliga ko'ra, bu fizik daraja hisoblanadi.

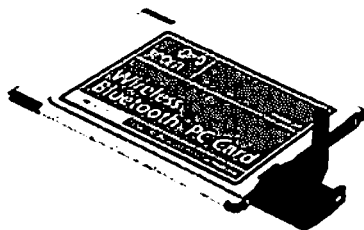
Bluetooth texnologiyasining asosiy qoidalari

Bluetooth texnologiyasi standartlashtirilgan, shuning uchun raqobatdosh kompaniyalarning qurilmalari moslashuvchan emasligi muammosi bo'lmastligi kerak [30].

Bluetooth yuqori chastotali (2,4 - 2,48 GGsli) qabul qilgichdan iborat bu kichik chip hisoblanadi (15.25-rasm).

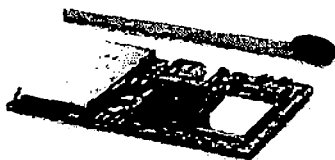
Energiya iste'moli (uzatkichning quvvati) 10 mVtdan oshmasligi kerak. Dastlab, texnologiyada 10 metrdan oshmaydigan masofalarda aloqa imkoniyati ko'zda tutilgan. Bugungi kunda ba'zi firmalar 100 metrlargacha masofalarda aloqa qila oladigan Bluetooth chiplarini taklif qilishmoqda. Radiotexnologiya sifatida Bluetooth to'siqlardan "aylanib o'tish" imkoniyatiga ega, shuning uchun ulanadigan qurilmalar to'g'ri ko'rinish zonasidan tashqarida bo'lishi mumkin. Ulanish Bluetooth qurilmalari ishlash zonasida bilan avtomatik ravishda amalga oshiriladi, binobarin, nafaqat nuqta-nuqta asosida (ikkita qurilma), balki nuqta-

ko'p nuqta asosida ham (bitta qurilma bir nechta boshqalar bilan ishlaydi) bo'lishi mumkin.



15.25-rasm. Bluetooth chipi

Bluetooth chipi barcha zamonaviy yo'nalishlarni hisobga olgan holda amalga oshirilgan. Chipning kattaligi (12.26-rasm) bir kvadrat santimetrdan kamni tashkil qiladi. Qo'llanadigan chastota quvvat sarfini 1 mVtgacha cheklashga imkon beradi. Bunday xarakteristikalar Bluetooth chiplarini mobil telefonlar va cho'ntak kompyuterlari kabi qurilmalarga integratsiyalashga imkon beradi.



15.26-rasm. Bluetooth chipi va yaqinida gugurt cho'pi

Bluetooth texnologiyasining ishlash prinsipi

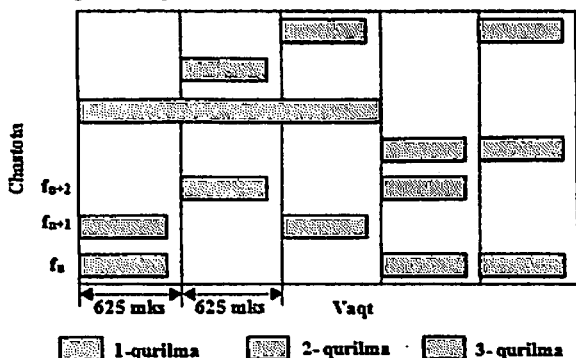
Bluetooth texnologiyasi ikki xil SCO (Synchronous Connection Oriented) sinxron va ACL (Asynchronous Connectionless) asinxron aloqa turlarini ko'zda tutadi. Birinchi tur SCO "nuqta-nuqta" simmetrik ulanishni o'rnatishga mo'ljallangan va asosan nutq xabarlarini uzatish uchun mo'ljallangan. Bunda ma'lumotlarni uzatish tezligi 64 kbit/sni tashkil qiladi. Ikkinchi tur ACL ma'lumotni paketli uzatish uchun mo'ljallangan. U "nuqta-ko'p nuqta" simmetrik va assimetrik ulanishlarni qo'llaydi. ACLda ma'lumotlarni paketli uzatish tezligi taxminan 721 kbit/sni tashkil qiladi. Ma'lumotlar paketlari qayd etilgan formatga ega. Blokning boshida 72 bitli ulanish kodi mavjud. U xususan, qurilmalarni sinxronlashtirish uchun ishlatilishi mumkin. Undan keyin paketning nazorat yig'indisi va uning parametrlari to'g'risidagi (masalan, ma'lumotlar blokini takroran uzatish to'g'risidagi) ma'lumotlarni o'z ichiga olgan 54-bitli paket sarlavhasi

keladi. Paketni to'g'ridan-to'g'ri uzatiladigan ma'lumotlarni o'z ichiga olgan maydon tugatadi. Bu maydonning o'lchami 0 dan 2745 bitgacha bo'lishi mumkin [31].

Bluetooth tizimlarini loyihalashning asosiy prinsipi chastotani sakrashsimon o'zgartirishda spektrni kengaytirish (FHSS - Frequency Hop Spread Spectrum) usulidan foydalanish hisoblanadi. Bluetooth radioaloqa uchun ajratilgan butun 2,402-2,480 GGsli chastotalar diapazoni N chastotalar kanallarga bo'linadi. Har bir kanalning polosasi 1 MGsni, kanallar oralig'i 140-175 kGsni tashkil etadi. Paket ma'lumotlarini kodlash uchun chastotaviy manipulyatsiyalash ishlatiladi.

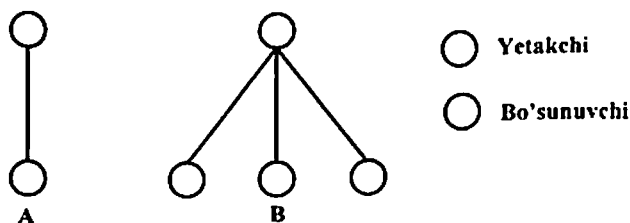
AQSh va Yevropa uchun $N = 79$. Ispaniya va Fransiya bundan mustasno, bu yerda Bluetooth uchun 23 ta chastotalar kanallari ishlatiladi. Kanallarni almashishi sekundiga 1600 marta tasodifiy qonun bo'yicha amalga oshiriladi. Doimiy chastotalarning almashishi Bluetooth radiointerfeysiga butun ISM diapazoni bo'yicha ma'lumotlarni translyasiya qilish va o'sha bir diapazonda ishlaydigan qurilmalar tomonidan halaqitlar ta'sirini oldini olish imkonini beradi. Agar bu kanal shovqinlashgan bo'lsa, u holda tizim boshqa kanalga o'tadi va bu halaqitsiz kanal topilmaguncha davom etadi.

15.27-rasmda bu uchta Bluetooth-modullarining bir vaqtda ishlashini tasvirlaydigan chastota-vaqt tekisligi keltirilgan. Modullar 625 mks davomiylikdagi taktlarda (slotlarda) ishlaydi. Har bir modulga har bir takt chegaralarida mos chastotalar kanali va uzatish yoki qabul qilish rejimi tayinlanadi.



15.27-rasm. Bluetooth modullarining ishlash chastota-vaqt diagrammasi

Istalgan Bluetooth-qurilmalari juftligi ulanganda ular pikotarmoqni hosil qiladi (15.28-rasm). Yetakchi vazifasini bajaradigan ulardan biri, chastotaning sinxronlashtirish va uni o'zgartirish signallarini shakllantiraradi. Odatda, eng quvvatli qurilmada, masalan, personal kompyuterda joylashgan qurilma yetakchi qurilma hisoblanadi. Boshqa qolgan barcha qurilmalar bo'ysunuvchi qurilmalar hisoblanadi.



A – bitta bo'sunuvchi qurilmali pikotarmoq;
B - bir necha bo'sunuvchi qurilmalarli pikotarmoq

15.28-rasm. Pikotarmoq

Pikotarmoq Bluetooth texnologiyasidagi asosiy kommunikatsiya shakli hisoblanadi. Pikotarmoq tarkibida 7 tagacha yetakchi qurilmalar bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, yetakchi qurilmaning yaqinida (ishonchli qabul qilish zonasida) umumiy soatga va umumiy chastotalarni almashishi ketma-ketligiga sinxronlashtirilgan, lekin yetakchi qurilma aktivlashtirmaguncha ma'lumotlarni almashlasha olmaydigan noaktiv bo'ysunuvchi qurilmalar bo'lishi mumkin.

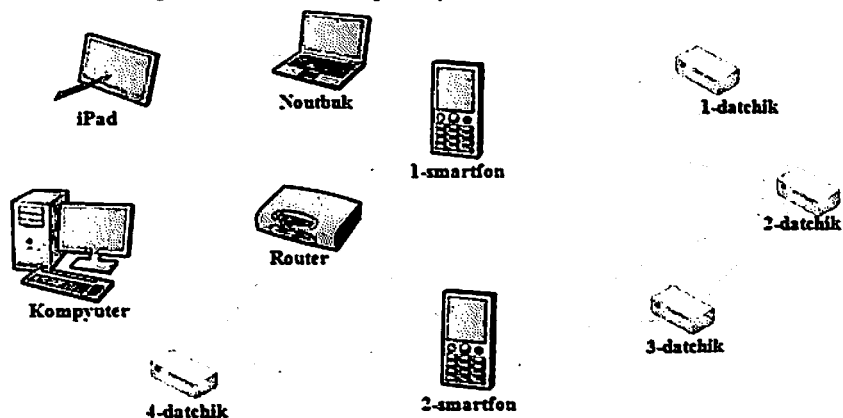
Agar tarmoqda 8 tadan ortiq qurilma bo'lsa, u holda ikkinchi pikotarmoq shakllantiriladi va hokazo. Oralarida ma'lumotlarni almashlash mumkin bo'lgan bir nechta (10 tagacha) bog'liq bo'lmagan va hattoki o'zaro sinxronlashtirilmagan pikotarmoqlar katta Scatternet tarmog'iga birlashtirilishi mumkin. Buning uchun pikotarmoqlarning har bir juftida kamida bittadan yetakchi qurilma bo'ladigan umumiy qurilma, ikkinchisida esa bo'ysunuvchi bo'ladigan umumiy qurilma bo'lishi kerak. Shunday qilib, alohida Scatternet tarmog'i chegaralarida bir vaqtda maksimal 71 ta qurilmalar bog'lanishi mumkin.

Bluetooth Mesh tarmog'i

Bluetooth standarti ma'lumotlarni uzatish uchun ko'plab yacheykalardan tashkil topgan virtual tarmog'idan foydalanadi. Tarmoqdagi ma'lumotlar manzilga etguncha bitta yacheykadan boshqa yacheykaga uzatiladi (15.29-rasm). Bluetooth Mesh standarti, masalan,

bitta xonadagi datchikdan ma'lumotlarni boshqa xonadondagi kompyuterga jo'natish zarur bo'lsa, ishlatilishi mumkin. Ma'lumotlar oraliq tugunlar - smartfonlar, planshetlar, kompyuterlar va texnologiyani qo'llaydigan istalgan boshqa qurilmalar orqali uzatiladi [31].

Shu jumladan, Bluetooth Mesh "aqlli" uy uchun narsalar Interneti (IoT) qurilmalarining o'zaro ta'sirlashiini tashkil etishda foydali bo'lishi mumkin. Datchiklar markaziy tugun bilan katta masofalarda aloqa qilish imkoniyatiga ega bo'ladi. Signallarni to'g'ridan-to'g'ri qabul qilgichga uzatish eng yaqin yacheykaga uzatishga qaraganda kattaroq energiya sarfini talab qiladi. Natijada, IoT qurilmalari bitta batareyada ularni simlarga ulanmasdan uzoqroq ishlashi mumkin. Bluetooth Meshning o'ziga xos xususiyati shundaki, u qurilmaning qo'shimcha "ichki tuzilishi"ni o'zgartirishni talab qilmaydi.



15.29-rasm. Bluetooth Mesh tarmog'i sxemasiga misol

15.4. HomerF aloqa texnologiyasi

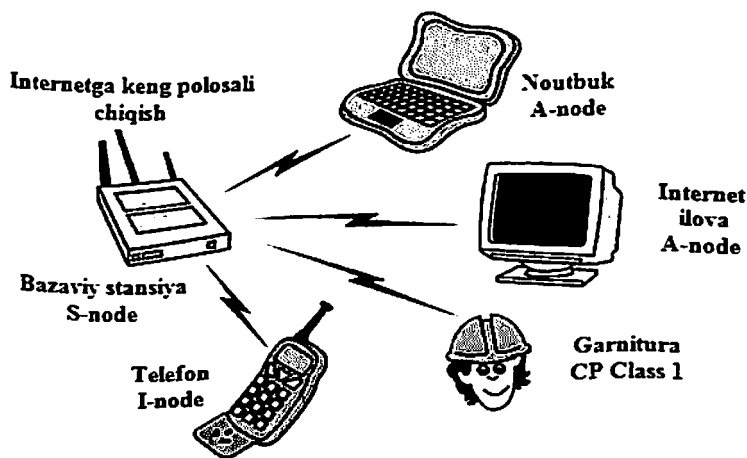
HomerF uy qurilmalari uchun simsiz tarmoq spetsifikatsiya bo'lgan. U 1998 yilda ishlab chiqilgan. Unda litsenziyalanmaydigan ISM 2,4 GGsli diapazonida ishlatiladi. Bu texnologiyani HomerF konsorsiumiga kiradigan 100 dan ortiq kompaniyalar qo'llamoqda. Bu kompaniyalarning ko'pchiligi, shuningdek, Bluetooth SIG maxsus ishchi guruhiga kiradi. HomerF texnologiyasi xususiy uylarda va kichik ofislarda simsiz tarmoqlarni qurishga mo'ljallangan [32].

HomerF spetsifikatsiyasi uy chegaralarida ovoz va ma'lumotlarni uzatish uchun simsiz tarmoqlarni qo'llaydigan umumiy interfeysni

aniqlaydigan qo'shma simsiz ulanish (Shared Wireless Access Protocol - SWAP) protokoliga asoslangan.

SWAP protokoli foydalanuvchilarga ham ma'lumotlar, ham ovozi oqimlarni, shuningdek umumiy foydalanishdagi kommutatsiyalanadigan telefon tarmog'i va Internet bilan o'zaro ta'sirlashishni qo'llaydigan tugallangan tarmoq echimini berish bilan turli xil ishlab chiqaruvchilarning turli elektron qurilmalarining o'zaro ta'sirlashishini ta'minlaydi. Masalan, SWAP protokolini raqamli abonentlar liniyasi (Digital Subscriber Line DSL) uchun shlyuz (15.31-rasm) simsiz qurilmalar uchun ulanish nuqtasini taqdim etishi mumkin, bunda raqamli abonentlar liniyasi yuqori tezlikli ma'lumotlarni uzatish, telefoniya va raqamli video xizmatlarini taqdim etadi.

AnyPoint Wireless Home Network binodagi simsiz qurilmalar uchun ulanish nuqtasi, shuningdek Internetga ulanish uchun DSL bog'lanish sifatida ishlaydi. SWAP protokolini qo'llash bilan shlyuz bir nechta abonentlar uchun bir vaqtda Internetga ulanish imkoniyatini beradi [32].



15.3-rasm. HomerF texnologiyasi bo'yicha qurilgan tarmoqning tuzilmasi

Quyida SWAP protokolini turli xil ilovalarda ishlatilishiga ba'zi bir misollar keltirilgan [32]:

- personal kompyuterlar, tashqi qurilmalar, simsiz telefonlar orasida ovoz va ma'lumotlarni uzatish uchun simsiz uy tarmog'ini qurish.

- ko'p sonli personal kompyuterlarga ega bo'lgan xonada fayllar/modemlar/printerlardan birgalikda foydalanish.
- kirish qo'ng'iroqlarini ko'p sonli simsiz telefon garnituralari, faks aloqa apparaturalari va ovozli pochta qutilariga (voice mailbox) qayta manzillashtirish.
- simsiz telefonlardan kelgan ovozli, faks va e-mail elektron pochta xabarlarini ko'rish.
- Ovozni aniqlash yordamida elektron tizimlarni faollashtirish.
- kompyuterda yoki Internet tarmog'ida guruhli kompyuter o'yinlari.

HomerF texnologiyasida chastota sakrashsimon qayta sozlanadigan spektrni kengaytirish usulidan foydalaniladi. Bu texnologiya har xil turdagi trafiklar - ma'lumotlar, ovoz va oqimli multimediani uzatish uchun mo'ljallangan. Ovozni tashishda uzatish muhitiga ulanish usuli sifatida DECT tarmoqlaridan olingan kanallar vaqt bo'yicha ajratiladigan ko'p tomonlama ulanish (Time Division Multiple Access - TDMA) usuli qo'llaniladi. Ma'lumotlar trafigini tashishda 802.11b tarmoqlaridagiga o'xshash tashuvchi nazorat qilinadigan va to'qnashuvlardan saqlanishli (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance - CSMA/CA) ko'p tomonlama ulanish usuli ishlatiladi.

2001 yil mart oyida HomerF 2.0 spetsifikatsiyalarining paydo bo'lishi maksimal uzatish tezligini 2 dan 10 Mbit/sgacha va keyinchalik 20 Mbit/sgacha oshirishga imkon berdi.

15.4-jadvalda HomerF 2.0 texnologiyasiga asoslangan qurilmalarning ishlash xarakteristikalari keltirilgan [32].

15.4-jadval

HomerF 2.0 texnologiyasining ishlash xarakteristikalari

Xususiyat/Funksiya	Xarakteristika
Aloqa turi	Spektrni kengaytirish (chastotan sakrashsimon qayta sozlash)
Chastotalar diapazoni	2,4 GGsli ISMdiapazoni
Uzatish quvvati	100 mVt
Ma'lumotlarni uzatish tezligi	10 Mbit/sek
Ishlash masofasi	Oddiy uy yoki hovlini qamrab oladi
Tarmoqdagi	Tarmoqdagi 127 tagacha qurilmalar soni

qurilmalar soni	
Ovoz kanallari	Oltitagacha
Ma'lumotlarni himoyalash	Blowfish kodlash algoritmlari (1 trilliordan ortiq kodlar)
Manzillashtirish	Har bir qurilma 48-bitli MAC-manzilgan ega, u boshqa qurilma bilan bog'lanishni o'rnatish uchun ishlatiladi

HomerF simsiz tarmoqlari maksimal 127 tugunga ega bo'lishi mumkin. Tugunlar quyidagi to'rtta asosiy turlarda bo'lishi mumkin:

- Ovoz va ma'lumotlar xizmatlarini qo'llash uchun ulanish nuqtasi;
- bazaviy stansiya bilan aloqa uchun TDMA-ulanishdan foydalanadigan nuqti terminali;
- baza stansiya va boshqa ma'lumotlar tugunlari bilan aloqa uchun CSMA/CA-ulanishni ishlatadigan ma'lumotlar tuguni;
- ham TDMA, ham va CSMA/CA usulidan foydalanishi mumkin bo'lgan integral tugun.

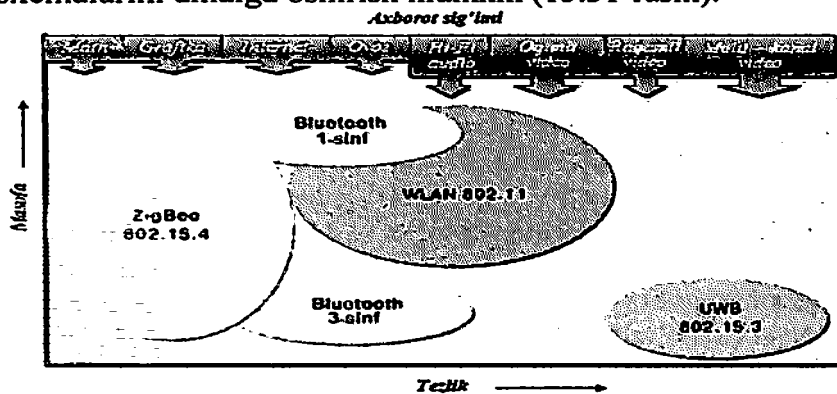
SWAP tizimlari ham ixtiyoriy tuzilmali tarmoqlar, ham faqat ma'lumotlarni uzatishni qo'llaydigan ulanish nuqtalari boshqaruv ostidagi tarmoqlari sifatida ishlashi mumkin, barcha stansiyalar teng huquqli va tarmoqni boshqarish stansiyalar orasida taqsimlanadi.

15.5. ZigBee aloqa texnologiyasi

2001 yilda IEEE elektrotexnika va elektronika muhandislari institutiga WPAN simsiz personal tarmoqlar oilasiga kiradigan va 802.15.4 belgilashni olgan standartni ishlab chiqish taklif etildi. 2002 yilda ZigBee alyansiga asos solindi. ZigBee alyansi butun dunyodan tez o'sayotgan yarim o'tkazgichli komponentlar bozori yetakchi kompaniyalari, texnologik kompaniyalar, OEM-ishlab chiqaruvchilar va oxirgi foydalanuvchilar notijorat sanoat konsorsiumi hisoblanadi. Alyans IEEE 802.15.4 ma'lumotlar paketlarini uzatish mexanizmidan foydalanish bilan yuqori ishonchli rentabelli, energiya tejankor simsiz ilovalar uchun ZigBee steki global spetsifikatsiyasini ishlab chiqmoqda [33].

ZigBee yordamida hal etiladigan asosiy masala bu uncha katta bo'lmagan ma'lumotlar hajmini o'rta masofalarga uzatish hisoblanadi.

ZigBeeni vazifasining o'ziga xosligi shundan iboratki, bu standartning qabulash-uzatish qurilmalari minimal energiya iste'moliga ega bo'lishi kerak. IEEE 802.15.4 va ZigBee orqali yuqori aniqlikdagi sifatli oqimli audio yoki videoni uzatish mumkin emas, biroq murakkab monitoring qilish sxemalarini amalga oshirish mumkin (15.31-rasm).



15.31-rasm. Asosiy simsiz standartlarning tasniflanishi

ZigBee spetsifikatsiyasi 250 Kbit/sgacha uzatish tezliklari, o'ta past energiya iste'moli qo'llanadigan va ma'lumotlarni himoyalash va tizimning ishonchliligini ta'minlaydigan yagona global standartga asoslangan simsiz tarmoq yechimini ishlatishga imkon beradi. ZigBee texnologiyasi yuqori texnik xarakteristikalarli va mos ravishda qimmat qurilmalar va texnologiyalar yoki qat'iy standartlashtirilgan asosga ega bo'lmagan elektron komponentlar turli ishlab chiqaruvchilaridan radioqabul qilgich/uzatkichlar alohida mikrosxemalariga asoslanadigan yechimlar to'ldirgan radiointerfeyslarning oldin bo'shagan joyini egalladi.

ZigBee/802.15.4 dastlab tijorat, sanoat va uy avtomatikasida ishlatiladigan quyidagi monitoring va nazorat qilish ilovalari, taqsimlangan xabarlagichlar tarmoqlari, kam energiya iste'mol qiladigan tizimlar uchun simsiz axborot tarmoqlarini qurishga mo'ljallangan yagona standartlashtirilgan simsiz texnologiya hisoblanadi:

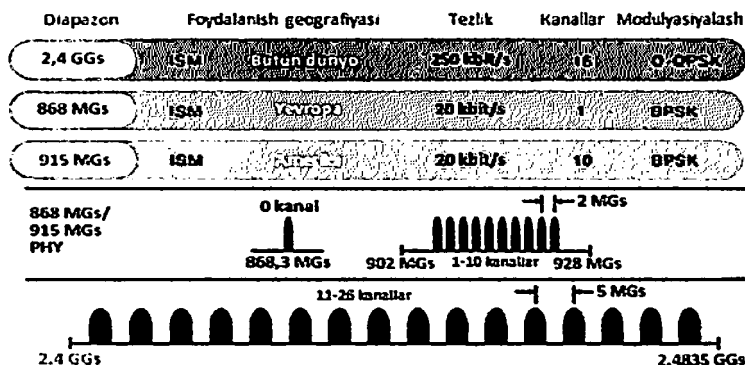
- yoritishni boshqarish tizimlari (sanoat, munitsipal va uy);
- sanoat va uy avtomatikasi va boshqarish (isitish, ventilyatsiya va konditsionirlash (IVK), yordamchi qurilmalar va vositalar);

- iste'mol elektronikasi (multimedia/ko'ngilochar vositalari, portativelektronika), maishiy texnika;
- PK periferiya qurilmalari: sichqoncha, klaviatura, o'yin qurilmalari, joystiklar;
- signalizatsiya va xavfsizlik, avariya dan ogohlantirish tizimlari, ulanishni nazorat qilish tizimlari, kontaktsiz kalitlar, tutun, gaz, harakat, olov, harorat, bosim xabarlagichlari va boshqalar;
- bemorni tibbiy diagnostika qilish qurilmalari, sportchilarning holatini monitoring qilish, bioxabarlagichlar va tibbiyot jihozlari;
- texnologik jarayonlarni olis dan boshqarish va nazorat qilish, harakatlanadigan apparatlar, dastgohlar, sanoat qurilmalari, sovutish qurilmalari, masofadan ma'lumotlarni to'plash qurilmalarini boshqarish, telemetriya;
- sanoat va portaktivlarini monitoring qilish, logistika ;
- suv, gaz va issiqlik ta'minoti tizimlari, elnetr energiyasini boshqarish va instrumental nazorat qilish tizimlari, turar-joy kommunal (TJK) ho'jaligi tizimlarini monitoring qilish;
- ma'lumotlarni simsiz almashlash qurilmalari, radiomodemlar, radiouzatish;
- avtomobil elektronikasi (shinalardagi bosimni nazorat qilish tizimlari, olib qochishga qarshi tizimlar, identifikatsiyalash va diagnostika qilish bizimlari) va h.k..

ZigBee/802.15.4 standartining asosiy afzalliklaridan biri bunday qurilmalarni o'rnatilishi va xizmat ko'rsatilishi oddiyligi hisoblanadi. Bu prinsipning amalga oshirilishi ham uncha katta bo'lmagan binolarda (uy va ofis), ham korxonalarda (sanoat zonasi, zavodlar) barcha yangi asboblar va tizimlarga ZigBee-modullarni joriy etilishini ko'zda tutadi [1].

Past tezlikli ma'lumotlarni simsiz uzatish tarmoqlari (WPAN) uchun IEEE 802.15.4 standarti PHY fizik daraja va MAS muhitga ulanish darajasini aniqlaydi (15.32-rasm).

PHY fizik daraja radiosignalni tarqalishi fizik muhitga ulanishni ta'minlaydi, modulyatsiya turi, tezlik va signalning boshqa parametrlarini beradi, to'g'ridan-to'g'ri qabullash va uzatishni amaga oshiradi.



15.32-rasm. 802.15.4 standartning qisqacha xarakteristikasi

MAS darajasi tarmoqqa qurilmalarni qo'shish va ularni chiqarishni amalga oshiradi, ma'lumotlar paketlarini etkazilishini nazorat qiladi, ma'lumotlarni olinishini avtomatik tasdiqlanishini ta'minlaydi, uzatish kanaliga ulanish mexanizmlarini amalga oshiradi, 128-bitli AES- shifrlash va boshqa funksiyalarni qo'llaydi.

Tarmoq protokoli arxitekturasi

IEEE 802.15.4 hujjati chastotalar, apparatli o'ziga xosliklar va tarmoqning boshqa parametrlarini tavsiflaydi, shu bilan bir vaqtda ZigBee hujjati tarmoq boshqarish jarayoni, xavfsizlik parametrlari, shuning muhim qurilmalarning moslashuvchanligi va profillari tushunchalariga ega [33].

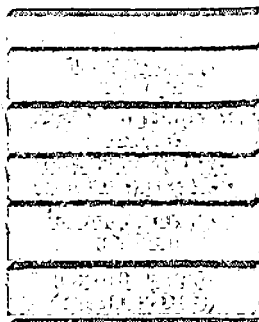
IEEE 802.15.4-2006 tarmoqlarining o'ziga xos xususiyati deyarli istalgan topologiyani, shu jumladan, sotali topologiyani ishlatish imkoniyati hisoblanadi.

ZigBee protokollar steki OSI (Open System Interconnection) ochiq tizimlardagi ierarxik yetti darajali ma'lumotlarni uzatish protokollari modeli prinsipi bo'yicha qurilgan. Stek ZigBee alyansi spetsifikatsiyasidan aniqlangan aloqa kanalini ishlatilishiga javob beradigan IEEE 802.15.4 standarti darajalari va dasturiy tarmoq darajalari va ilovalarni qo'llash darajalarini o'z ichiga oladi (15.33-rasm).

IEEE 802.15.4 arxitekturasi o'z navbatida, standartni soddalashtiradigan qator darajalarni o'z ichiga oladi. Har bir daraja standartning bir qismiga javobgar va yuqorida joylashgan darajagi xizmat ko'rsatadi.

Darajalar orasidagi interfeyslar bu standartda tavsiflangan mantiqiy aloqalarni aniqlaydi.

Profillar kutubxonasi, qurilmalar servislari to'plamlari, namunaviy axborot xabarlari, moslashuvchanlik
Qurilmalar xavfsizligi, xabarlarni translyasiyalash, qurilmalar servislarni tashkil etish va h.k.
Tarmoq xavfsizligi, xabarlarni translyasiyalash, tarmoq protseduralariga ishlov berish, tarmoq menejmen-ti, marshrutlashirish, turli topologiyalarni qo'llash va h.k.
Ma'lumotlar paketlarini shakllan-tirish va nazorat qilish, ma'lumot-lar oqimini boshqarish va h.k.
Qurilmalarni qo'shish o'chirish, paket-larni etkazish, qabullashni tasdiq-lash (ASK), aloqa kanallariga ulanish (SSMA-SA), vaqt bo'yicha ajratish va h.k.
Modulyasiyalash, signal parametrlari, fizik radiokanal orqali ma'lumot-larni qabullash va uzatish va h.k.



Buyurtmachi

ZigBee steki

IEEE 802.15.4 MAC

IEEE
802.15.4

IEEE 802.15.4 IEEE 802.15.4
868/915 MHz PHY 2400 MHz PHY

Illova

ZigBee uyushmasi spetsifikatsiyasi

IEEE spetsifikatsiyasi

Silicon IEEE 802.15.4

15.33-rasm. ZigBee/802.15.4 steki arxitekturasi

IEEE Std 802.15.4 hujjati portativ ko'chma qurilmalarli va 10 metrga teng maksimal POS (Personal Operating Space) etish masofasili simsiz muhit uchun fizik daraja (PHY) va MAC (Medium Access Control) tarmoq muhitiga ulani nimdarajasi spetsifikatsiyalarini aniqlaydi. Bunda pastroq uzatish tezliklarida katta masofalarda (< 100 m) ishlash ham mumkin bo'ladi.

Stekning fizik darajasi

PHY fizik daraja ikkita turdagi xizmatlarni taqdim etadi:

– PHY axborot servisi;

– Boshqarish servisi, u SAP ulanish nuqtasi (PLME-SAP nomi orqali ma'lum bo'lgan) PLME servis (Physical Layer Management Entity) bilan o'zaro ta'sirlashishni ta'minlaydi.

PHY axborot servisi PDU (Protocol Data Unit) ma'lumotlar protokollari bloklari radiokanali orqali uzatish va qabullashni mumkin qiladi [33].

Standart 250 kbit/c, 100kbit/c, 40 kbit/c va 20 kbit/c ma'lumotlarni uzatish tezliklarini aniqlaydi. Radiokanal bo'yicha ma'lumotlarni qabul qilish va uzatish ishchi chastotalar diapazoni, modulyatsiyalash turi, maksimal tezlik, kanallar sonini aniqlaydigan PHY fizik darajada amalga oshiriladi: O-QPSK - 2,4 GGs (16 kanallar, 250 Kbit/s) dipazon uchun surilishli kvadratik fazaviy manipulyatsiyalash, BPSK - 915 MGs (10 kanallar, 40 Kbit/s) va 868

MGs (1 kanal, 20 Kbit/s) chastotalar uchun ikkilik fazaviy manipulyatsiyalash. PHY darajasi qabullagich-uzatkichni aktivlashtirish/noaktivlashtirish, ishchi kanalda qabul qilingan signal energiyasini detektorlash, fizik chastota kanalini tanlash, ma'lumotlar paketini olishda signal sifatini indikatsiyalash va CSMA-CA protokolini (tashuvchi nazorat qilinadigan va kolliziyalarni oldi olinadigan muhitga ko'p tomonlama ulanish protokoli) ishlatilishi uchun bo'sh kanalni baholashni amalga oshiradi. Tushunish muhimki, 802.15.4 standarti bu fizik radio (radioqabullagich-uzatkich mikrosxemasi), ZigBee esa bu xavfsizlik va marshrutlashtirish funksiyalarini ta'minlaydigan mantiqiy tarmoq va dasturiy stek hisoblanadi [33].

Radioqurilmalar quyidagi litsenziyalanmaydigan chastotalar diapazonlaridan birida ishlaydi (15.34-rasm):

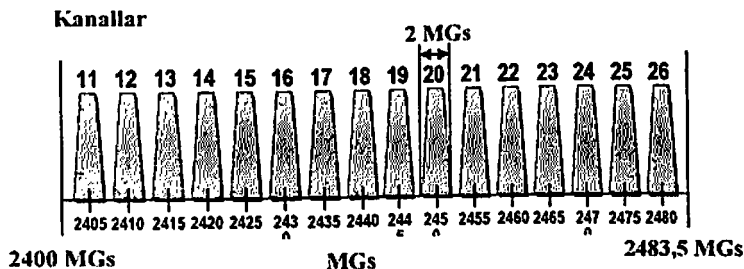
- 868–868.6 MGs (masalan, Yevropa uchun);
- 902–928 MGs (Shimoliy Amerika uchun);
- 2400–2483.5 MGs (qolgan dunyo uchun).

Stekning MAS darajasi

MAS subdarajasi ikkita servislarni taqdim etadi:

- axborot MAC-servisi;
- MAS-daraja boshqarish servisi, ulanish nuqtalari uchun (MLME-SAP sifatida ma'lum bo'lgan) MLME (MAC Level Management Entity) boshqarish subdarajasi uchun interfeysni ta'minlash [33].

MAS axborot servisi fizik daraja axborot servisi yordamida MAC-daraja ma'lumotlar protokollari bloklarini (MPDU) qabul qilinishi va uzatilishini ta'minlaydi.



15.34-rasm. IEEE 803.15.4 standartda radiokanallarni tanlash (PHY 2400 MGs)

MAS subdarajasining xarakterli o'ziga xos xususiyatlari mayoqlarni (beacon) boshqarishdan foydalanish, ulanishni amalga oshirish, GTS (Guaranteed Time Slot) boshqarish, kadrlarning

to'g'riligini tekshirish, kadrlarning etkazilishini tasdiqlash va boshqalar ishlatiladi. Bundan tashqari, MAS subdarajasi amaliy darajada xavfsizlik mexanizmlarini qo'llashni ta'minlaydi.

Bu standart superkadr tuzilmasining ishlatilishiga opsional ruxsat etadi. Superkadrning formati koordinator orqali aniqlanadi. Superkadr koordinator jo'natadigan tarmoq mayoqlari (beacon) orqali cheklangan (15.34-rasm) va davomiyligi bo'yicha teng 16 ta domenlardan tashkil topgan. Superkadr opsional ravishda aktiv va passiv seksiyalarga ega bo'lishi mumkin. Noaktiv davrda koordinator ta'minotni tejamli sarflash rejimiga o'tishi mumkin. Kadr-mayoq har bir superkadrning birinchi domenida uzatiladi. Agar koordinator superkadrni tuzilmasidan foydalanishni istamasa, u mayoqlarni uzatilishini uzadi. Mayoqlar PANni identifikatsiyalash va superkadr tuzilmasini tavsiflash uchun ulangan qurilmalarni sinxronlashtirish uchun kerak bo'ladi. Ikkita mayoqlar orasida CAP (Contention Access PYeariod) davrda ma'lumotlarni almashlashni amalga oshirishni istaydigan istalgan qurilma bu huquq uchun CSMA-CA domen mexanizmini ishlatadigan boshqa qurilmalar bilan raqobatlashadi. Barcha almashlar navbatdagi tarmoq mayog'i momentigacha yakunlanadi

MAC daraja xarakteristiklari:

- 64-bitli IEEE manzillashtirish, lokal tarmoqlar ichida 16-bitli manzillashtirish (nazariy jihatdan tarmoqdagi maksimal qurilmalar soni 264 ta).

Manzillashtirish usullari:

- identifikatorlar: tarmoq ID + ID qurilmalar ("Yulduz" topologiyasi);

- Jo'natuvchi/Oluvchi identifikatori (teng huquqli tugunlar orasida uzatish);

- Tarmoqni avtomatik/yarimavtomatik tashkil etilishiga kirish/undan chiqish

- ZigBee tarmog'i xabarlar paketlari formati, ma'lumotlar bitta paketining maksimal foydali yuklanishi 104 ma'lumotlar baytini tashkil etadi, kadrning maksimal uzunligi 127 baytga teng;

- xavfsizlik darajasi:

- tarmoqqa erkin ulanish;

- ulanishni nazorat qilish ro'yxati;

- uzatishda kechikishni aniqlash taymerlari va ma'lumotlar paketlarining dolzarbligi;

- 128-bitli simmetrik AES kalitdan foydalanish bilan shiflash;

– tarmoqqa ulanish mexanizmlari, vaqt bo'yicha bo'lish va kafolatlangan vaqt Intervallari funksiyalari, CSMA-CA protokoli orqali kanalga ulanish;

– tarmoq topologiyalarini, Shu jumladan “nuqta-nuqta”, “yulduz”, ko'p yacheykali va klasterli ulanishdagi topologiyalarni qo'llash;

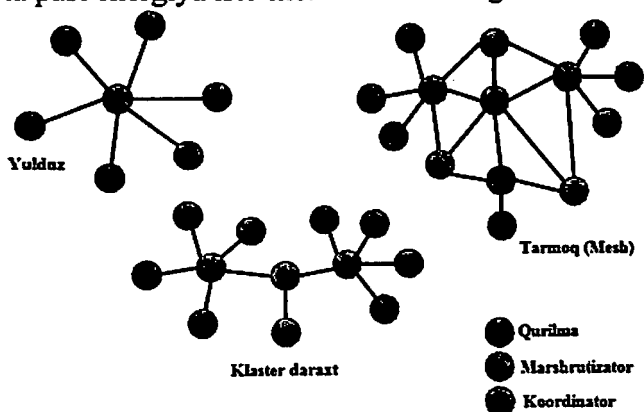
– ma'lumotlar paketlarini kelganligi haqida ogohlantirish, qabullashni tasdiqlash (ACK), 16-bitli xatoliklarni nazorat qilish (CRC);

– paketli/oqimli uzatish rejimlari [2].

Zigbee tarmog'ini qurish va ishlash prinsipi

Zigbee texnologiyasiga muvofiq simsiz uzatish tarmoqlari bir necha sinflardagi qurilmalar - to'liq funksional marshrutizatorlar (Full function device - FFD), koordinator-qurilmalar (Coordinators — FFD, tarmoqning murakkabligiga bog'liq ravishda qo'shimcha tizim reurslarili) va cheklangan funkionallikli qurilmalarni (Reduced function device - RDD) o'z tarkibiga oladi (15.35-rasm) [33].

Qurilma topologiyani qurish bo'yicha keng imkoniyatlarni ta'minlaydi, tarmoq ishi koordinatori (radiotarmoq bosh stansiyasi) rolini bajarishi mumkin va tarmoqning istalganboshqa stansiyasi bilan xabarlarni almashlashi mumkin. Ikkinchi turdagi qurilmalar faqat yulduzsimon shakldagi tarmoqda ishlashi mumkin, ma'lumotlarni almashlash tarmog'ining ishlashini koordinatsiyalash funksiyasini bajara olmaydi va soddalashtirilgan konstruksiyaga ega. Dastlab qurilmalar yagona tarmoqda ishlaganida ularning imkoniyatlari tengsizligi texnologiyasi g'oyasiga qo'yilgan oxirgi xususiyat, aynan ularning o'ta past energiya iste'molini ta'minlashga imkon beradi [33].



15.35-rasm. Tarmoqlar topologiyalari variantlari

Har bir ZigBee lokal tarmoqda faqat bitta koordinator-qurilma bo'ladi. Koordinatorning asosiy vazifasi tarmoq parametrlarini o'rnatish va yaratish, asosiy radiochastota kanalini tanlash, noyob tarmoq identifikatorini berishdan iborat. Bunda koordinator uchta turlardagi qurilmalardan eng murakkabi hisoblanadi, eng katta xotira hajmiga va oshirilgan energiya iste'moliga (tarmoqdan ta'minlanadi) ega bo'ladi. Marshrutizatorlar tarmoqning ishlash radiusini kengaytirish uchun ishlatiladi, chunki bir-birlaridan uzoqda joylashgan qurilmalar orasida retranslyatorlar funksiyalarini bajara oladi. Qurilma istalgan ZigBee tarmoq topologiyasini qo'llaydi, koordinator funksiyasini bajarishi va tarmoqni barcha tugunlariga (FFD va RFD) murojaat qilishi mumkin.

Cheklangan funksiyalar to'plamli qurilmalar marshrutlashtirishda qatnashmaydi, koordinator funksiyasini bajara olmaydi, faqat lokal tarmoq koordinatoriga (FFD qurilmaga) murojaat qiladi, "nuqta-nuqta" va "yulduz" turdagi bog'lanishni qo'llaydi, oxirgi tarmoq qurilmalari rolini o'ynaydi. Amalda tarmoqdagi ko'pchilik tugunlar RFD-qurilmalar hisoblanadi, FFD-qurilmalar va koordinatorlarning qo'llanilishi esa aloqa ko'priklari va mos tarmoq topologiyasini hosil qilish uchun zarur bo'ladi.

Marshrutizatorlar va boshqa qurilmalar tarmoqqa ulanishi bilan, ular koordinatoridan yoki tarmoqda ishlayotgan istalgan marshrutizatoridan tarmoq haqidagi ma'lumotlarni oladi va bu ma'lumotlar asosida o'z operatsion parametrlarini tarmoq xarakteristikalariga muvofiq o'rnatadi. ZigBee marshrutizatorlari ular tarmoqqa ulangan oxirgi qurilmalar orasida taqsimlaydigan tarmoq manzillari jadvalini oladi.

FFD qurilmasi marshrutlashtirish haqidagi qarorlarni qabul qilishda daraxtsimon manzillashtirishni ishlatadi. Marshrutlashtirishning samaradorligini oshirish uchun ZigBee algoritmi FFD-qurilmalarga qisqartirilgan manzillashtirishdan foydalanishga imkon beradi. Qisqartirishdan foydalanish ko'zda tutiladigan har bir marshrutizator DN turdagi juftliklarga ega bo'lgan jadvalni qo'llashi kerak, bu Yerdan D – jo'natish manzili, N – bu jo'natish manziliga yo'lida keyingi qurilmaning manzili. Daraxtsimon prinsip va jadval asosidagi marshrutlashtirish birligi ishlashning tez moslashuvchanligini bildiradi va ishlab chiquvchilarga optimal narx/unumdorlik nisbatini tanlashga imkon beradi [33].

ZigBee steki tarmoqning turli topologiyalarini, shu jumladan “nuqta-nuqta”, “klasterli (ierarxik) daraxt” va “ko‘p yacheykali tarmoq” topologiyalarini qo‘llaydi.

Stekning tarmoq funksiyalari aktiv kanallarni aniqlash uchun tarmoqni skanerlash, aktiv kanallarda qurilmalarni identifikatsiyalash, ishlatilmayotgan kanallarda tarmoqni yaratish va personal simsiz tarmoq zonasida mavjud tarmoq bilan birlashtirish, qurilmalarning aniqlangan profillariga muvofiq qo‘llanadigan servislarni aniqlash, marshrutlashtirishni o‘z ichiga oladi. Bu qurilmalarga tarmoqqa avtomatik kirishga va undan chiqishga, har bir tugunga bir necha marshrutlarni borligi hisobiga “bitta nuqtadagi uzilishning” keraksiz oqibatlarini yo‘qotishga imkon beradi.

Turiga bog‘liq ravishda har bir qurilma ma’lum tarmoq funksiyalariga ega:

- koordinator tarmoqni skanerlaydi va tarmoqni tashkil etish uchun bo‘sh kanallarni aniqlaydi;

- marshrutizator (FFD) tarmoqni skanerlaydi va aktiv kanallarni topadi va mavjud tarmoq tarkibiga kirishga harakat qiladi yoki agar aktiv kanallar bo‘lmasa yoki aktiv tarmoq bilan birlashish amalga oshmasa, koordinator huquqlarida o‘z personal tarmog‘ini yaratadi. Agar birlashish bo‘lib o‘tsa, mavjud tarmoq qoidalariga muvofiq lokal tarmoqqa tutashgan koordinator marshrutizator darajasiga o‘tkaziladi va lokal tarmoq haqidagi barcha ma’lumotlarni mavjud tarmoq koordinatoriga uzatadi. Koordinatoridan sinxronlashtirish signal paketidan yangi hosil bo‘lgan marshrutizator keyingi signallar paketlarini aniqlash uchun tarmoqning vaqt parametrlari haqidagi zarur ma’lumotlarni oladi;

- oxirgi RFD qurilma doimo mavjud tarmoqqa kirishga urinadi.

“Klasterli daraxt” topologiyasi infratuzilmaga qo‘shimcha xarajatlarni talab qilmasligi bilan tarmoqning masshtablanuvchanligi va qamrab olish zonasini kengaytirilishini ta’minlaydi. “Klasterli daraxt” turdagi tarmoq “yulduz” topologiyali va cheklangan funksiyalarli qurilmalarli (RFD) bir necha nimtarmoqlarni o‘z ichiga olishi mumkin. “Klasterli daraxt” va “yulduz” turlardagi topologiyalar bilan birga ZigBee texnologiyasi tarmoqlarning ko‘p yacheykali qurilishi prinsipini qo‘llaydi. Bunday topologiyada istalgan tarmoq tuguni tarmoqdagi boshqa qurilmalar uchun marshrutizator funksiyasini ham bajarishi mumkin.

Agar bitta tugundan boshqa tugunga signal yo'lida to'siq (beton yoki metall to'siq va h.k.) vujudga kelsa, ma'lumotlarni manzilga uzatish uchun muqobil marshrut tanlanadi. Tarmoq tugunlarining zich konsentratsiyasi yanada himoyalangan, ishonchli tizimga olib keladi. Agar tugunlardan biri ishdan chiqsa, marshrut avtomatik ravishda tarmoqning boshqa tugunlari orqali aniqlanadi va natijada tarmoq o'z-o'zidan tiklanadigan bo'lib qoladi. Lekin ko'p yacheykali tarmoqda avtonom ta'minot manbalarining xizmat muddatlari sinxronlashtirilgan ulanish usulining qo'llanilishi hisobiga kamayadi, uzatish kanallarini aniqlanishi murakkabligi ortadi va tarmoq tugunlariga xabarlarini har bir qayta uzatishda kechikish (o'nlab millisekund) bo'lib o'tadi.

Ko'p yacheykali tarmoqning barcha tugunlari boshqa tugunlarni aniqlay oladi va bir-birlarini tanish bilan paketlarni optimal uzatish yo'lini, maksimal almashlash tezligini, xatoliklarni vujudga kelishi chastotasi va kutish vaqtini hisoblay oladi. Hisoblangan qiymatlar qo'shni tugunlarga uzatiladi, trafikni uzatilishi optimal yo'li esa qabul qilinadigan signallarning quvvatidan kelib chiqish bilan tanlanadi.

Tugunlarni aniqlash va yo'lni tanlash jarayonlar doimo boradi, shuning uchun har bir tugun qo'shnilarning joriy ro'yxatini qo'llaydi va ularning joylashishi o'zgarganida eng yaxshi marshrutni tezkor aniqlashi mumkin. Agar qandaydir tugun tarmoqdan olinsa (texnik xizmat ko'rsatish uchun yoki buzilishi tufayli), qo'shni tugunlar o'z javdallari konfiguratsiyalarini tezda o'zgartiradi va yangidan trafik oqimlari marshrutlarini aniqlaydi. Bu o'z-o'zidan qayta tiklanish va buzilishlarni chetlab o'tish xossasi yacheykali topologiyani qat'iy arxitekturali tarmoqlardan sezilarli ajratib turadi.

Energiya iste'molini optimallashtirish ZigBee tarmoqlarni qurishda ustivor masala hisoblanadi. Bu masalaning yechimlaridan biri faqat ma'lumotlar kelganida ularni uzatish va manzil tomonidan paketni muvaffaqiyatli qabul qilinganligida tasdiqlashni keyingi kutishga asoslangan aloqa strategiyasi hisoblanadi. Bunda har bir qurilma istalgan momentda uzatishni uyushtirishi mumkin. Bu usulning ma'lum kamchiligi bir necha qurilmalar ma'lumotlarni bir vaqtda uzatishida interferensiya ehtimolligi hisoblanadi. Lekin ustma-ust tushish imkoniyati qurilmaning o'ta kichik aktivligi sikli davomiyligi, uzatish momentining tasodifiyligi va uzatiladigan ma'lumotlarning uncha katta bo'lmagan hajmi tufayli minimumga keltiriladi.

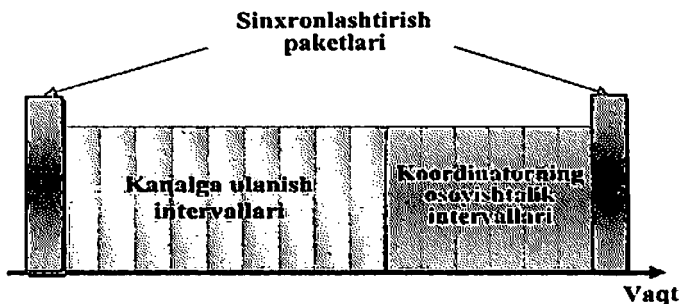
Bog'lanishning ishonchligi CSMA-CA protokoldan foydalanish hisobiga ortadi. Oddiy ko'p tomonlama ulanish strategiyasi faqat

“nuqta-nuqta” yoki “yulduz” turdagi bog‘lanishlarga qo‘lanilsa bo‘ladi. U barcha ilovalarga ham to‘g‘ri kelavermaydi. Keraksiz o‘zaro ta’sirlashishning oldini olish uchun vaqt bo‘yicha ajratishli ko‘p tomonlama ulanish (TDMA) protokolini qo‘llash mumkin.

ZigBee/802.15.4 texnologiyasi TDMA texnologiyasiga o‘xshash prinsip bo‘yicha vaqt intervallarini kafolatlaydi, lekin bu ajratishning ishlatilishi faqat sinxronlashtirish va vaqt bo‘yicha ajratish birga bo‘lganda mumkin bo‘ladi, bu yanada murakkab va oddiy TDMA-ulanishga qaraganda kam energiya samaradorligi algoritmi hisoblanadi. ZigBee vaqt bo‘yicha ajratish sinxronlashtirish rejimidan foydalanishga asoslanadi, bunda bo‘ysunvchi tarmoq qurilmalari vaqtning katta qismida “kutish” holatida bo‘ladi, tarmoq koordinatoridan sinxronlashtirish signalini qabul qilish uchun davriy ravishda aktivlashadi, bu lokal tarmoq yacheykasi ichidagi qurilmalarga vaqtning qaysi momentida ma’lumotlarni uzatishni amalga oshirish kerakligini bilishga imkon beradi.

Koordinator almashlashni boshqaradi, kanallarni ajratadi va 15 ms ... 252 sgacha Intervalli chaqiruvlarni amalga oshiradi. Signallar paketlarini uzatish o‘tkazish qobiliyatini aniqlaydi, ulanish navbatini kutish kichik vaqtini va har birida kolliziyalar yo‘qotilgan bir xil uzunlikdagi 16 ta vaqt intervallarini ajratilishini ta’minlaydi (15.40-rasm).

Tarmoq tugunlaridan har biri uchun ulanish vaqt intervali koordinator yoki CSMA-CA mexanizmi orqali aniqlanadi. Osoyishtalik intervallari avtonom ta’minot manбайдan ishlashda tarmoq koordinatorining energiyani tejash rejimlarini ishlatilishi uchun zarur bo‘ladi.



15.40-rasm. ZigBee tarmoqqa sinxronlashtirilgan ulanish

Kamchiligi bu sinxronlashtirish signalini kutish holati uncha katta bo'lmagan vaqt bo'yicha mos kelmasliklar tufayli energiya iste'molini sezilarsiz ortishiga olib kelishi hisoblanadi, bu signalni o'tkazib yubormaslik uchun qurilmani ancha oldin aktivlashishga majburlaydi. Sinxronlashtirilgan ulanish funksiyasi "klasterli daraxt" va "ko'p yacheykali tarmoq" kabi kengaytirilgan topologiyali tarmoqlarda qo'llaniladi

15. 6. NFC aloqa texnologiyasi

NFC (Near Field Communication) to'g'ridan-to'g'ri yaqin joylashgan elektron qurilmalar orasida ma'lumotlarni almashlash uchun induktiv bog'lanishni ishlatadigan standartlashtirilgan qisqa ishlash radiusili simsiz aloqa texnologiyasi hisoblanadi. RFID (Radio Frequency Identification - radiochastotaviy identifikatsiyalash) texnologiyasiga asoslangan NFC ma'lumotlarni xavfsiz almashlash uchun identifikatsiyalash protokollari uchun vositani taklif etadi [34].

NFC texnologiyasi telefon raqamlari, tasvirlar, MP3 formatdagi fayllar yoki NFC texnologiyasini qo'llaydigan ikkita qurilmalar orasida, masalan, mobil telefonlar yoki NFC telefonlar va bir-birlariga yaqin joylashgan moslashuvchan RFID chip-kartalar yoki o'qish qurilmalari orasida raqamli mualliflashtirish ma'lumotlarini almashlash uchun mo'ljallangan. NFC texnologiyasi naqdsiz to'lovlar, chiptalarga to'lash va kirishni nazorat qilish kabi xizmatlar uchun ulanish (kirish) kaliti sifatida ishlatilishi mumkin.

NFC texnologiyasi markaziy chastotasi 13,56 MGs bo'lgan chastotalar diapazonida ishlaydi va taxminan 10 santimetrlik masofalarda 424 kbit/sgacha ma'lumotlarni uzatish tezligini ta'minlaydi. Odatiy kontaktsiz texnologiyalardan (faqat aktiv-passiv aloqani amalga oshirishga imkon beradi) farqli ravishda bu chastotalar diapazonida NFC-qurilmalar orasida ma'lumotlarni almashlash ham aktiv-aktiv (bir darajali), ham aktiv-passiv bo'lishi mumkin, shuning uchun NFC standartida radiochastotaviy identifikatsiyalash (RFID) dunyosi bilan uzviy aloqa kuzatilmogda.

Turli ishlab chiqaruvchilarning mobil telefonlari va RFID chip-kartalari orasida o'zaro moslashuvchanlikni ta'minlash uchun raqamli protokollarni testlash va NFC-qurilmalarning radioo'lchovlarini o'tkazish talab qilinadi. Radiotexnik o'lchovlari vaqt parametrlari, so'rov rejimidagi signal sathi, tashuvchi chastota, so'rov rejimida qabul

qilish sezgirliğini o'lchash, shuningdek yuklamani modulyatsiyalash parametrlarini (qabul qilish qurilmasi signali sathini) o'lchashni o'z ichiga oladi.

NFC texnologiyasidan foydalanishning ko'plab variantlari mavjud. NFC texnologiyasining o'ziga xos afzalligi uning foydalanishning qulayligi hisoblanadi. Ishlashni boshlash uchun qurilmalarni bir-biriga yaqinlashtirish kerak. NFC texnologiyasidan foydalanishning odatiy variantlariga quyidagilar kiradi:

- Mobil to'lovlar:

- NFC-telefonlar yordamida chiptalar yoki taksilar uchun to'lovlarni amalga oshirish;

- NFC-telefonlar yordamida kontaktsiz savdo terminallarida to'lovlarni amalga oshirish;

- NFC telefonlarda vaucherlarni saqlash.

- NFC-telefonlarda identifikatsiyalash, kirishni boshqarish va elektron kalitlarni saqlashga ruxsat etilgan:

- binolarga xavfsiz kirish;

- personal kompyuterga xavfsiz kirish;

- avtomobillar eshigini ochish;

- NFC-telefoniga bir marta bosish bilan uy ofisini boshqarish.

- Turli NFC-qurilmalar, masalan, NFC-smartfonlar, raqamli kameralar, noutbuklar va boshqalar orasida ma'lumotlarni uzatish (bir darajali ma'lumotlarni almashlash):

- elektron biznes-kartalarni almashtirish;

- kamerani printerga yaqinlashtirish bilan fotosuratlarni chop etish;

- Boshqa xizmatlarni aktivlashtirish (masalan, ma'lumotlarni almashlashi uchun boshqa simsiz ulanishni o'rnatish):

- Bluetooth va WLAN ulanishlarni sozlash;

- Raqamli ma'lumotlarga ulanish:

- NFC-telefonida smart-posterlardan jadvallarni o'qish;

- NFC-telefonida smart-posterlardan kartalarni yuklash;

- koordinatalarni, masalan, NFC telefonida to'xtash joyini ro'yxatdan o'tkazish;

- Chiptalarni sotib olish:

- NFC-telefonida teatr/sirk/tadbirlar chiptalarini saqlash.

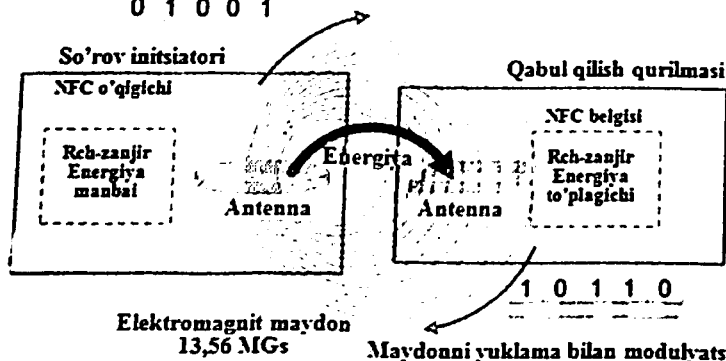
NFC texnologiyasida ma'lumotlar uzatish asoslari

RFID 14443 va FeliCa standartlari kabi NFC induktiv ulanishdan foydalanadi (15.41-rasm). Transformatorlardagi kabi o'tkazgichlar

ikkita o'ramlarining yaqin magnit maydoni so'rov qurilmasi (initsiator) va qabul qilish qurilmasini (manzilni) bog'lash uchun ishlatiladi.

Maydonni bevosita modulyatsiyalash

0 1 0 0 1



Maydonni yuklama bilan modulyatsiyalash

15.41-rasm. So'rov qurilmasi (initsiator) va qabul qilish qurilmasini (manzilni) o'zaro ta'sirlashish sxemasi

Ishlash chastotasi 13,56 MGsni va ma'lumotlarni uzatish tezligi 106 kbit/sni (ba'zan 212 kbit/s va 424 kbit/sni) tashkil etadi. Modulyatsiyalash sxemalari sifatida turli modulyatsiyalash koeffitsientlariga (100% yoki 10%) ega bo'lgan amplitudaviy manipulyatsiyalash (OOK) va ikkilik fazaviy manipulyatsiya (BPSK) ishlatiladi [35].

So'rov qurilmasidan quvvat va ma'lumotlarni uzatish

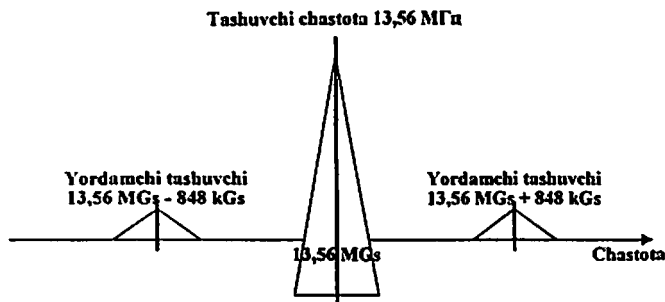
Ma'lumotlarni passiv tizimga uzatishda, masalan, kartani emulyatsiyalash rejimida NFC-telefonga uzatishda passiv tizimning ta'minot manbai sifatida 13,56 MGs tashuvchi chastotali so'rov qurilmasining signali ishlatiladi. So'rov qurilmasida modulyatsiyalash sxemasi sifatida amplitudaviy manipulyatsiyalash (ASK) ishlatiladi. Ma'lumotlarni bir darajali uzatish rejimi uchun har ikkala uzatish yo'nalishlari modulyatsiyalanadi va surov qurilmasi orqali kodlanadi. Biroq, bu rejimda kam quvvat talab qilinadi, chunki NFC-qurilmalarining har biri o'z ta'minot manbaini ishlatadi va uzatish tugagandan so'ng tashuvchi signal olinadi [35].

Qabul qilish qurilmasidan ma'lumotlarni uzatish

So'rov va qabul qilish qurilmalarining induktiv bog'lanishi tufayli passiv qabul qilish qurilmasi aktiv so'rov qurilmasiga ta'sir qiladi. Qabul qilish qurilmasining qarshiligini o'zgarishi so'rov qurilmasi antenναςidagi kuchlanishning amplitudaviy yoki fazaviy o'zgarishlariga

olib keladi. Bu modulyatsiyalash usuli yuklamani modulyatsiyalash deyiladi. U qabul qilish rejimida (ISO/IEC 1444dagi kabi) 848 kGs chastotali yordamchi tashuvchidan foydalanish bilan amalga oshiriladi, u polosali signal bilan modulyatsiyalanadi va qabul qilish qurilmasining qarshiligini o'zgartiradi.

15.42-rasmda yuklamani modulyatsiyalash spektri tasvirlangan. Modulyatsiyalash sxemasi sifatida amplitudaviy manipulyatsiyalash (ISO/IEC 14443 A smart-kartalaridagi kabi) yoki ikkilik fazaviy manipulyatsiyalash (14443 B smart-kartalaridagi kabi) ishlatiladi [35].



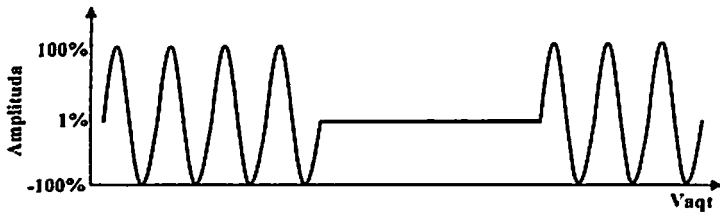
15.42-rasm. 84,5 kGs chastotali yordamchi tashuvchidan foydalanish bilan 13,56 MGs tashuvchi chastotada yuklamani modulyatsiyalash

Shuningdek, FeliCa kartalari bilan moslashuvchan uchinchi passiv rejim mavjud bo'lib, unda yuklamani modulyatsiyalash usuli yordamchi tashuvchilarni ishlatmasdan to'g'ridan-to'g'ri 13,56 MGs chastotada amplitudaviy manipulyatsiyalashga o'xshash amalga oshiriladi.

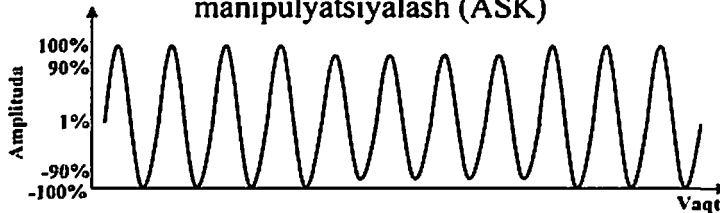
Tashuvchi va yordamchi tashuvchi chastotalardagi modulyatsiyalash spektrlari uchburchak shaklida ko'rsatilgan (tashuvchi va yordamchi tashuvchi chastotalarda modulyatsiyalash spektrlarining bir vaqtda bo'lishi NFC standartida vaqt bo'yicha ajratiladigan multiplekslashdan foydalanish tufayli olib tashlanadi).

Modulyatsiyalash va kodlash sxemalari

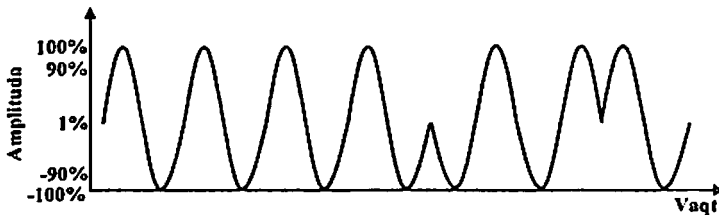
Yuqorida aytilganidek, modulyatsiyalash sxemalari sifatida turli modulyatsiyalash koeffitsientlariga (100% yoki 10%) ega bo'lgan amplitudaviy manipulyatsiyalash (15.43 va 15.44-rasmlar) va ikkilik fazaviy manipulyatsiyalash (ISO/IEC 14443 B standartidagi smart-kartalarda bo'lganidek) (15.45-rasm) [35].



12.43-rasm. 100% modulyatsiyalash koeffitsientili amplitudaviy manipulyatsiyalash (ASK)

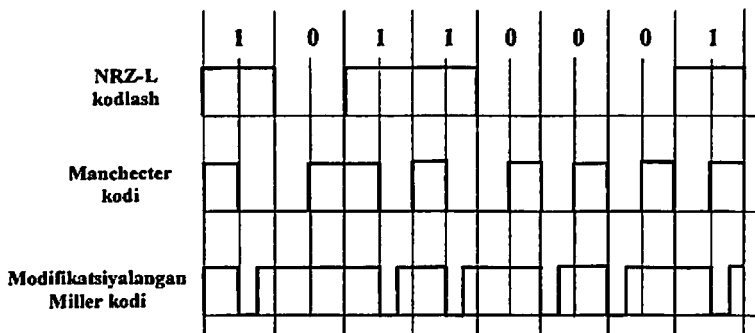


12.44-rasm. 10% modulyatsiyalash koeffitsientili amplitudaviy manipulyatsiyalash (ASK)



12.45-rasm. Ikkilik fazaviy manipulyatsiyalash (BPSK)

NFC texnologiyasida nazorat parametri (NRZ-L) sathi inverslanadigan ikkilik kodlash sxemasi, Manchester kodi va modifikatsiyalangan Miller kodi qo'llaniladi (15.46-rasm).



15.46-rasm. NFC texnologiyasida NRZ-L kodlash sxemalari, modifikatsiyalangan Miller kodi yoki Manchester kodidan foydalaniladi

NRZ-L kodlash sxemasida bit Intervali davomida signalning yuqori sathi mantiqiy “1”, past sathi mantiqiy “0” qiymatni anglatadi.

Manchester kodi bilan kodlashda mantiqiy “1” uchun bit intervalining birinchi yarmi yuqori sath, ikkinchi yarmi esa past sathga o‘rnatiladi. Mantiqiy “0” uchun bit intervalining birinchi yarmi past sathga, ikkinchi yarmi yuqori sathga o‘rnatiladi.

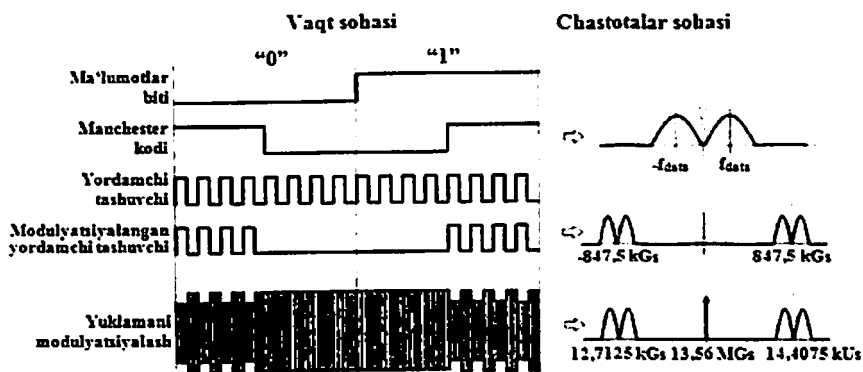
Modifikatsiyalangan Miller kodi bilan kodlashda mantiqiy “1” uchun past sath impulsi bit intervalining o‘rtasida, mantiqiy “0” uchun - bit intervalining boshida paydo bo‘ladi. Istisno: agar mantiqiy “1” qiymatdan keyin mantiqiy “0” kellsa, signal sathi o‘zgarmaydi. 15.47-rasmda amplitudaviy manipulyatsiyalash uchun Manchester kodi bilan yuklamani modulyatsiyalash tasvirlangan (kartani passiv emulyatsiyalash rejimidagi 14443 smart-karta yoki NFC-A qurilma).

NFC texnologiyasida ishlash rejimlari

NFC texnologiyasida uchta asosiy ish rejimlarini ishlatiladi (15.50-rasm) [35]:

- kartani emulyatsiyalash rejimi (passiv rejim): NFC-qurilma mos keladigan standartlardan biriga muvofiq oddiy kontaktsiz karta sifatida ishlaydi.

- bir darajali rejim: ikkita NFC-qurilmalar orasida ma’lumotlarni almashlash. Initsiator (so‘rov qurilmasi) o‘qish/yozish rejimiga nisbatan kam quvvat iste’mol qiladi, chunki bu holda manzil (qabul qilgich) o‘zining elektr ta’minotidan foydalanadi.

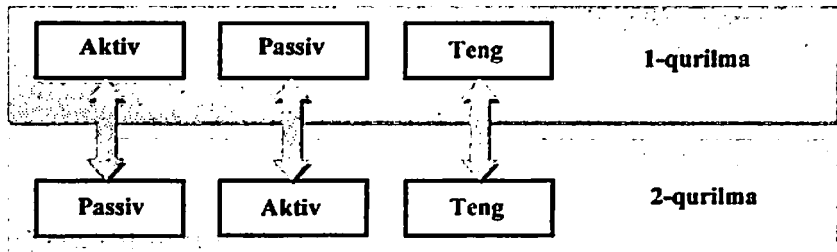


15.47-rasm. Chastota va vaqt sohalarida yordamchi tashuvchi bilan yuklamani modulyatsiyalash

- o‘qish/yozish rejimi (aktiv rejim): NFC-qurilma aktiv hisoblanadi va passiv moslashuvchan RFID belgini o‘qiydi yoki yozadi.

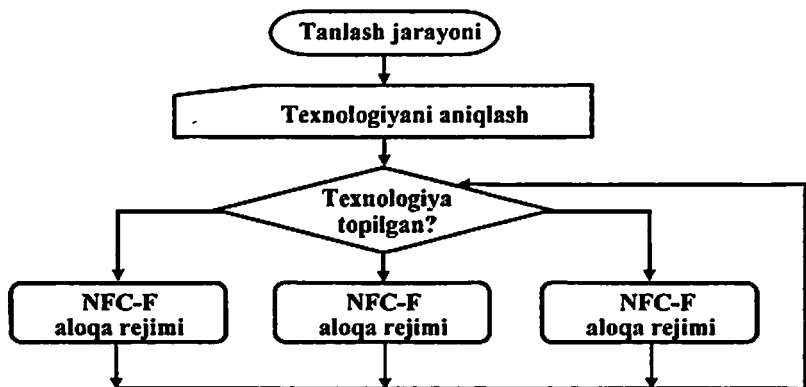
Har bir ishlash rejimi (karta emulyatsiyalash, bir darajali, o'qish/yozish rejimi) quyidagi uzatish texnologiyalaridan biri bilan birlashtirilishi mumkin:

- NFC-A (ISO/IEC 14443 A bilan teskari moslashuvchan);
- NFC-B (ISO/IEC 14443 b bilan teskari moslashuvchan);
- NFC-F (JIS X 6319-4 bilan teskari moslashuvchan).



15.50-rasm. NFC ish rejimlari

Turli texnologiyalarni qo'llash uchun NFC-qurilma so'rov rejimida dastlab mos so'rov signalini jo'natadi va NFC-A, NFC-B va NFC-F belgilardan javob kutadi (15.51-rasm).



15.51-rasm. So'rov rejimida tanlov jarayonining sxemasi

Mos keluvchi qurilmadan javob olgandan so'ng, NFC qurilmasi tegishli aloqa rejimini o'rnatadi (NFC-A, NFC-B yoki NFC-F rejimi).

Kodlash va modulyatsiyalash sxemalari aktiv yoki passiv aloqa rejimiga, NFC-A, -B, -F radiointerfeysiga va bitli ma'lumotlarni uzatish tezligiga bog'liq o'zgaradi. 15.6-jadvalda NFC-A, -B yoki -F aloqa

rejimlari uchun kodlash va modulyatsiyalash sxemalari, ma'lumotlarninguzatish tezliklari keltirilgan.

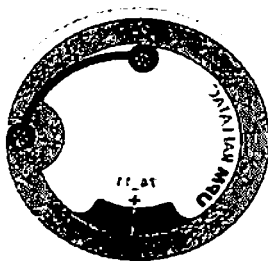
15.6-jadval

NFC radiointerfeyslari texnik standartlarining spetsifikatsiyalari

Standartlar	So'rov / Qabul	Kodlash	Modulyatsiyalash	Uzatis h tezligi	Tashuvchi chastota
NFC-A	So'rov	Modifikatsiyalangan Miller kodi	Amplitudaviy manipulyatsiya (ASK) 100%	106 kbit/s	13.56 MGs
	Qabul	Manchester kodi	Yuklamani modulyatsiyalash (ASK)	106 kbit/s	13,56 MGs +- 848 kGs (nimtashuvchi)
NFC-B	So'rov	NRZ-L	Amplitudaviy manipulyatsiya (ASK) 10%	106 kbit/s	13,56 MGs
	Qabul	NRZ-L	Yuklamani modulyatsiyalash (BPSK)	106 kbit/s	13,56 MGs +- 848 kGs (nimtashuvchi)
NFC-F	So'rov	Manchester kodi	Amplitudaviy manipulyatsiya (ASK) 100%	212 / 424 kbit/s	13,56 MGs
	Qabul	Manchester kodi	Yuklamani modulyatsiyalash (ASK)	212 / 424 kbit/s	13,56 MGs (nimtashuvchis iz)

NFC texnologiyasidagi belgilar turlari

NFC-belgilar aktiv NFC-qurilmalar bilan aloqa uchun ishlatilishi mumkin bo'lgan passiv qurilmalar (15.52-rasm) hisoblanadi. NFC-belgilar, masalan, oz miqdordagi ma'lumotlarni saqlash va aktiv NFC-qurilmalarga uzatish mumkin bo'lgan smart-posterlar va boshqa ilovalar uchun ishlatilishi ko'zda tutilgan



15.52-rasm. Eng oddiy passiv NFC-belgilardan biri

1 dan 4 gacha raqamlangan to'rtta asosiy belgilar turlari kiritilgan, ularning har biri o'z formati va imkoniyatlariga ega. Bu turdagi NFC-belgilar formatlari ISO 14443 Types A va B va Sony FeliCa ISO 14443 A standartlariga asoslangan [35].

15.7-rasm

NFC texnologiyasidagi belgilar turlari

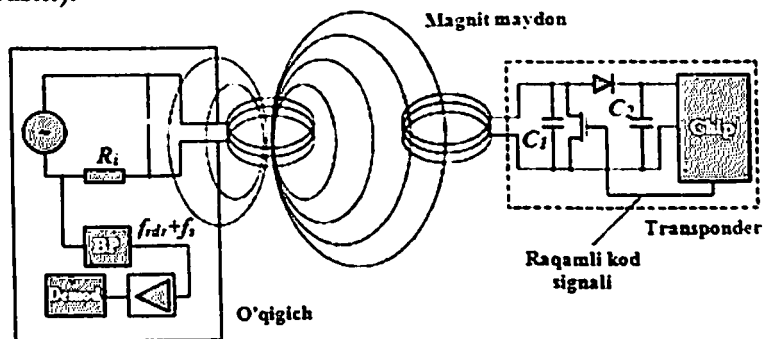
	1-tur	2-tur	3-tur	4-tur
ISO/IEC	14443 A	14443 A	JIS 6319-4	14443 A / B
Moslashuvchan qurilmalar	Innovision Topaz	NXP MIFARE	Sony FeliCa	NXP DESFire,
Ma'lumotlarni uzatish tezligi	106 kbit/s	106 kbit/s	212, 424 kbit/s	106/212/424 kbit/s
Xotira hajmi	96 bayt, 2 kbaytgacha kengaytiris	48 bayt, 2 kbaytgacha	O'zgaruvchan, maks. 1 Mbayt	O'zgaruvchan, maks. 32 kbayt
Kolliziyalardan himoya	Yo'q	Ha	Ha	Ha

15.7. Radiochastotani identifikatsiyalash texnologiyasi

Radiochastotani identifikatsiyalash yoki RFID (Radio Frequency Identification) boshqa texnologiyalarga qaraganda sezilarli katta imkoniyatlarni taqdim etadigan identifikatsiyalash texnologiyasi hisoblanadi. Uning asosida ham identifikatsiyalash, ham foydalanuvchi ma'lumotlarini o'z ichiga olgan maxsus belgilar birlashtirilgan obyektlarni tanib olish (identifikatsiyalash) uchun zarur bo'lgan ma'lumotlarni radioto'lqinlar yordamida uzatish texnologiyasi yotadi.

Belgining o'zi odatda antenna, qabul qilgich, uzatkich va ma'lumotlarni saqlash uchun xotiraga ega bo'ladi. Belgi energiyani o'qigich antenasining radiosignalidan yoki o'z ta'minot manbaidan

oladi, tashqi signal qabul qilingandan so'ng belgi o'ziga xos identifikatsion ma'lumotlarga ega bo'lgan signal bilan javob beradi (15.52-rasm).



15.52-rasm. RFID-belgiga ma'lumotlarni yozish

RFID texnologiyasining asosiy afzalliklariga quyidagilar kiradi:

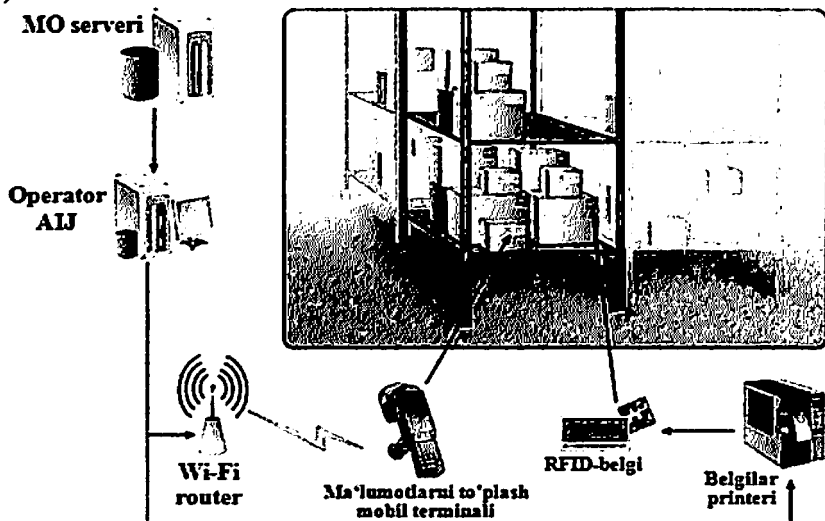
- RFID-belgidan ma'lumotni o'qish uchun to'g'ridan-to'g'ri ko'rinish liniyasi talab qilinmaydi, shuning uchun belgi maxfiyligi va xavfsizligini ta'minlanishi uchun qadoqning ichida bo'lishi mumkin (agar u metall bo'lmasa);
 - belgilarni o'qishning yuqori tezligi, bu sekundiga 1000 donaga yetishi mumkin.
 - antikolliziya funksiyasi qo'llanishi bilan ko'p sonli belgilarni deyarli bir vaqtning o'zida o'qish mumkin;
 - agar belgi "o'qish-yozish" (Read/Write) sinfiga kirsam, undagi ma'lumotlarni o'zgartirish mumkin;
 - katta masofalarda belgilarni o'qish va yozish imkoniyati;
 - chidamlilik. Faqat o'qishamallari uchun belgining amal qilish muddati deyarli cheksiz;
 - belgining ishlab chiqarilishi paytida fabrikada tayinlangan noyob identifikatordan foydalanish hamda belgiga yozilgan ma'lumotlarni shifrlash orqali ta'minlanadigan yuqori darajadagi xavfsizlik;
 - atrof muhit ta'siriga barqarorlik, chunki belgi har doim har qanday himoya polimer qobig'iga joylashtirilishi mumkin
- RFID tizimi quyidagilardan tashkil topgan:
- belgilar (tag) yoki transponderlar - ma'lumotlarni saqlay va uzata oladigan qurilmalar. Belgilar xotirasida ularning noyob identifikatsion kodlari mavjud. Belgilarning ayrim turlari qayta yoziladigan xotiraga ega;

- o'qigichlar (reader) - antennalar yordamida belgilardan ma'lumotlarni oladigan va ularga ma'lumotlarni yozadigan qurilmalar;
- antennalar elektromagnit maydonni yo'naltirish va bu maydonga tushadigan belgilardan ma'lumotlarni olish uchun ishlatiladi
- o'qigichlarni boshqarish tizimi (middleware) - belgilarni o'qish yoki yozish uchun so'rovlarni shakllantiradigan, o'quvchilarni guruhlariga birlashtirish bilan boshqaradigan, belgilardan olingan ma'lumotlarni to'playdigan va tahlil qiladigan, shuningdek bu ma'lumotlarni hisobga olish tizimiga uzatadigan dasturiy ta'minot.

RFID-tizimning ishlash prinsipi

Tizimni ishga tushirishdan oldin harakatlanish hisobga olinishi bilan belgi predmetga (obyektga) yopishtirilishi yoki o'rnatilishi kerak [36].

Belgili obyekt statsionar yoki ko'chma o'qigich yordamida tizimda dastlabki ro'yxatdan o'tishi kerak. Antennali o'qigichlar obyekt harakatlanishini nazorat qilish joylariga joylashtirilishi kerak (15.53-rasm).



15.53-rasm. RFID-tizimning ishlash prinsipi

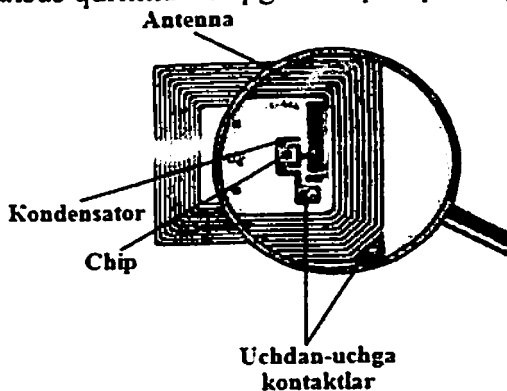
Obyektning harakatlanishini nazorat qilish nazorat nuqtalaridagi belgilar ma'lumotlarini o'qishdan iborat bo'ladi, buning uchun belgi o'qigichga ulangan antenna hosil qiladigan elektromagnit maydonga tushishi yetarli bo'ladi. O'qigichdan ma'lumotlar boshqaruv tizimiga, so'ngra hisobga olish tizimiga uzatiladi, uning asosida hisobga olish

hujjati shakllantiriladi. Belgilarni guruhli o'qishda, barcha o'qilgan belgilarning ma'lumotlari obyektlarning harakatlanishini qayd etadigan bitta hisobga olish hujjatiga tushadi [37].

RFID-belgilarning tuzilishi

Belgi juda kichik xotira qurilmasi hisoblanadi. U ma'lumotlarni saqlaydigan mikrochip va yordamida belgi ma'lumotlarni uzatadigan va qabul qiladigan antennadan tashkil topgan. Ba'zan belgi o'z ta'minot manbaiga ega bo'ladi (bunday belgilar aktiv belgilar deyiladi), lekin aksariyat belgilarda u yo'q (bu belgilar passiv belgilar deyiladi) va ishlash uchun energiya antenna tomonidan hosil qilingan elektromagnit maydonidan olinadi va uni kondansatorda to'playdi [36].

Belgi xotirasida uning noyob raqami va foydalanuvchi ma'lumotlari saqlanadi. Belgi ro'yxatga olish maydoniga tushganda, bu ma'lumotlar belgilardagi ma'lumotlarni o'qish va yozish uchun mo'ljallangan maxsus qurilma - o'qigich orqali qabul qilinadi.



15.54-rasm. RFID-belgining tuzilishi

RFID-belgilarining turlari

RFID texnologiyasi ko'plab sohalarda amalga oshirilishi mumkin. Bu texnologiyaga asoslangan tizimlarning har qanday sharoitlarda samarali ishlashi uchun eng xilma-xil bajarilishdagi turli xil belgilar ishlab chiqilgan. Ularni quyidagi belgilari bo'yicha shartli ravishda ajratish mumkin [36].

1. Elektr ta'minoti bo'yicha:

- aktiv - ma'lumotlarni uzatish uchun o'rnatilgan batareyaning energiyasidan foydalanadi;
- passiv - o'qigich antenna orqali nurlantiradigan energiyadan foydalanadi;

• yarim passiv - bunday belgilar ta'minot elementlariga ham ega, lekin u o'qigich bilan aloqa uchun emas, balki faqat mikrosxemaning ishlashini ta'minlash uchun ishlatiladi, bu batareyaning ishlash muddatini sezilarli uzaytiradi.

2. O'qish-yozish operatsiyalari bo'yicha:

• "R/O" (Read Only – faqat "o'qish" uchun) - ma'lumotlar faqat bir marta belgi ishlab chiqarish vaqtida yoziladi. Bunday belgilar faqat identifikatsiyalash uchun yaraydi. Ularda hech qanday yangi ma'lumotlarni yozib bo'lmaydi va ularni soxtalashtirish deyarli mumkin emas.

• "WORM" (Write Once Read Many – "bir martalik yozish va ko'p martalik o'qish" uchun) - bunday belgilar o'ziga xos identifikatordan tashqari, bir marta yoziladigan xotira blokini o'z ichiga oladi, uni keyin ko'p marta o'qish mumkin;

• "R/W" (Read and Write – "o'qish va yozish") - bu belgilar identifikator va ma'lumotlarni o'qish/yozish uchun xotira blokiga ega. Ulardagi ma'lumotlar ko'p marta yozilishi mumkin.

3. Belgilarni bajarilishi bo'yicha:

- yopishtiruvchi qatlamsiz (plomba yoki qo'shimchalar);
- bosish uchun sirtsiz yopishtiruvchi qatlamli;
- bosish uchun sirtli yopishtiruvchi qatlamli;
- standart plastik kartalar;
- halqa ko'rinishidagi belgilar;
- har xil turlardagi jevakchalar;
- alohida ishlash sharoitlari uchun maxsus korpusda.

Chastotalar va standartlar

Bugungi kunda RFID tizimlari to'rtta 125-150 kGs, 13,56 MGs, 862-950 MGs va 2,4-5 GGs chastotalar diapazonlaridan foydalanmoqda. Bu ko'plab mamlakatlarda tijorat ishlanmalariga ruxsat berilgan chastotalar hisoblanadi. Ko'rsatilgan chastotalar diapazonlarining har biri uchun ularning ishlab chiqish darajasiga ega bo'lgan o'z standartlari qo'llaniladi. Ularning eng umumiy xususiyatlari 15.8-jadvalda keltirilgan [36].

O'qigichlarning turlari

Ma'lumotlarni belgilardan o'qish va yozish uchun qurilmalarni (o'qigichlarni) quyidagilarga ajratish mumkin:

- Qo'lda - qo'lda olib yuriladi;
- Mobil - transport vositalariga o'rnatilgan;
- Statsionar – qo'zg'almas obyektlarga o'rnatilgan.

RFID tizimining xususiyatlari

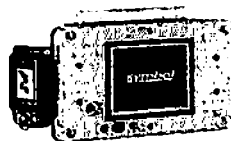
Diapazon nomi	Ishchi chastota	Standart	Ilovalar
Past chastotlar (LF)	125-150 kGs	ISO 14223 ISO 11784/11785 ISO 18000-2	Kirishni nazorat qilish tizimlarida, hayvonlarni identifikatsiyalashda ishlatiladi, shuningdek, masalan, avtomobillar immobilayzerrlarida keng qo'llaniladi
Yuqori chastotalar (HF)	13.56 MGs	ISO 14443 ISO 15693 ISO 10373 ISO 18000-3	Kirishni boshqarish tizimlarida, to'lov tizimlarida, shuningdek ombor tizimidagi tovarlarni va kutubxona tizimidagi kitoblarni identifikatsiyalashda foydalaniladi
O'ta yuqori chastotalar (UHF)	860-960 MGs 2,4-5 GGs	U-CODE 18000-4 18000-6	Qo'llanishi sohasi logistika va trafikni hisobga olish tizimlari. Ajratib turadigan xususiyat - bu diapazon va o'qishning yuqori tezligi

Qo'lda ishlatiladigan o'qigichlar

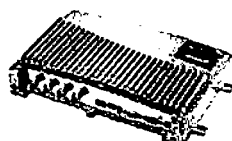
Odatda, bunday o'qigichlar ma'lumotlar to'plash terminallari bilan birlashtiriladi (15.55-rasm, a). Ular qisqaroq ishlash (o'qish va yozish) masofasi ega, chunki ular ta'minot manbaining quvvat bilan cheklangan. Agar ma'lumotlarni to'plash terminalida simsiz aloqa mavjud bo'lsa, hisobga olish tizimi bilan doimiy ma'lumotlarni almashlash bo'lishi mumkin. Qo'lda ishlatiladigan o'qigichlar belgiga ma'lumotlarni (masalan, bajarilgan operatsiya haqida ma'lumotlarni) yoza oladi [36].



a)



b)



c)

15.55. O'qigichlarning turlari

Mobil o'qigichlar

Bunday o'qigichlar quvvatli ta'minot manbaiga ega bo'lganligi sababli, ularning o'qish va yozish masofasi va tezligi qo'lda o'qiydiganlarga qaraganda katta (15.55-rasm, b). Bunda ular real vaqtda ishlashni ta'minlaydigan simsiz aloqa bilan ta'minlanishi mumkin [36].

Statsionar o'qigichlar

Bu turdagi o'qigichlar maksimal bo'lishi mumkin masofa va tezlik ko'rsatkichlarini ta'minlaydi (15.55-rasm, v). Ular Ethernet tarmog'i bo'yicha tizimga ulanadi [36].

Bu o'qigichlar har xil turlardagi antennalar bilan ishlashi mumkin.

Antennalar turlari

Antenna RFID-tizimning muhim elementi hisoblanadi.

Barcha ishlab chiqariladigan antennalarni quyidagicha tasniflash mumkin (chastotaga bog'liq ravishda) [36]:

- ishlash masofasii bo'yicha (qisqa, o'rta va uzoq masofali);
- bajarilishi bo'yicha (ish stoli, statsionar va portal);
- qutblanish yo'nalishi bo'yicha (chap tomonlama, o'ng tomonlama, ikki tomonlama);
- ishlash tezligi bo'yicha (oddiy, tezkor);

Faqatgina to'g'ri tanlangan va sozlangan antennalar eng yaxshi natijalarga erishish bilan belgini o'qigichning uzluksiz ishlashini ta'minlashi mumkin.

RFID-texnologiyasining qo'llanilishi sohlari

RFID-texnologiyasining qo'llanilishi sohasi doimiy ravishda kengayib bormoqda. Bugungi kunda RFID texnologiyasini qo'llanilishining asosiy yo'nalishlari quyidagilar hisoblanadi [36]:

- omborxonalar ho'jaligi;
- real vaqtda ishlab chiqaruvchidan iste'molchiga logistika va ta'minot zanjirini boshqarish
- real vaqtda harakatlanuvchi obyektlarni identifikatsiyalash (transport vositalari, harakatlanayotgan poyezdlardagi vagonlarni hisobga olish);
- avtoturargohlarda, to'xtash joylarida, avtovokzallarda transport vositalarini identifikatsiyalash;
- sanoat ishlab chiqarishida yig'ish liniyalarida identifikatsiyalashni avtomatlashtirish;
- xonalar va inshootlarda kirishni nazorat qilish tizimlari;
- yo'lovchilarni elektron chiptalar bilan ta'minlash;
- jo'natmalarni tezkor yetkazib berish

- havo yo'llarida yuklarga ishlov berish va etkazib berish;
- avtomobillarni qo'riqlash tizimlari;
- to'lov tizimlari operatsiyalarining haqiqiylikini tekshirish;
- turli toifadagi tovarlarni qalbakilashtirishning oldini olish;
- mulkni, hujjatlarni, kutubxona materiallarini tamg'alah (identifikatsiyalash);
- avtomobillarga avtomatlashtirilgan yonilg'i quyish shoxobchalari va boshqalar.

Omborlarda RFID yordamida real vaqt rejimida tovarlarning harakati avtomatik ravishda kuzatiladi, qabul qilish va jo'natishning asosiy jarayonlari sezilarli darajada tezlashadi, operatsiyalarning unumdorligi, ishonchliligi va shaffofligi oshadi, shu bilan birga inson omilining ta'siri kamayadi [37].

Ishlab chiqarishda RFID yordamida yarim tayyor mahsulotlar va tayyor mahsulotlarning harakati real vaqt rejimida qayd etish amalga oshiriladi, texnologik operatsiyalar va olinadigan mahsulotning sifati nazorat qilinadi. Mahsulotlar o'ziga xos "elektron pasport" oladi, bu ularning sifati ustida yangi darajada ishlashga imkon beradi.

Iste'mol tovarlari va chakana savdo sanoatida RFID tizimlari tovarlarni ishlab chiqaruvchidan to savdo rastasigacha yetkazib berish zanjiri bo'ylab kuzatib boradi. Tovarlar o'z vaqtida savdo rastasiga qo'yiladi, omborda eskirmaydi va talab yuqori bo'lgan do'konlarga jo'natiladi.

Bu texnologiya yordamida kutubxonalarda kitob fondining butun harakati avtomatik azorat qilinadi. Buning uchun kitob fondining har bir birligi tamg'alanishi va kitobxonlar elektron kutubxona chiptalarini olishlari kerak. Kitobxon kiraverishda ro'yxatdan o'tgan holda, kerakli kitoblarni tanlab oladi va elektron kutubxona kartasiga yozadi. Kitobxon obunasi uchun ro'yxatdan o'tmagan kitoblarni zaldan olib chiqish mumkin emas, chunki chiqishdagi o'qigichlar buni kuzatib boradi.

Rivojlanishda davom etadigan RFID texnologiyasining mavjud qo'llanishlaridan tashqari, texnologiyani o'zlashtirishga tayyor bo'lgan ko'plab sohalar mavjud. Texnologiyalarning yangi qo'llanilishi to'g'risida xabarlar har kuni paydo bo'lmoqda.

15.8. Kognitiv radio texnologiyasi

Kognitiv radiotizim (Cognitive Radio System, CRS) o'z faoliyatining o'ziga xos xususiyatlari to'g'risida ma'lumotlarni olish va bu ma'lumotlarga asosan o'zining ishlash parametrlarini tuzata oladigan radiotizim hisoblanadi [38].

Kognitiv radio alohida radioxizmat emas va mavjud istalgan radioxizmatlar doirasida texnologiya sifatida ishlatilishi mumkin. Istalgan radioaloqa xizmati orqali ma'lum chastotalar diapazonida kognitiv radiotizimlardan foydalanish uchun bu xizmat birlamchi yoki ikkilamchi asosda ishlash huquqiga ega bo'lgan mos chastotalar diapazonida taqsimlanishga ega bo'lishi kerak.

Kognitiv radioaloqa texnologiyalari terminallar va bir nechta radiotizimlar, radioaloqa tizimlari operatorlari orasidagi bog'lanishlarni rekonfiguratsiyalashda ular ishlatadigan radiochastotalar spektri resurslarini yanada samarali boshqarish uchun radiochastota spektriga jamoaviy ulanish vositasi sifatida, radiochastotalar spektriga yanada moslashuvchan ulanishni tashkil qilishda foydalanish mumkin.

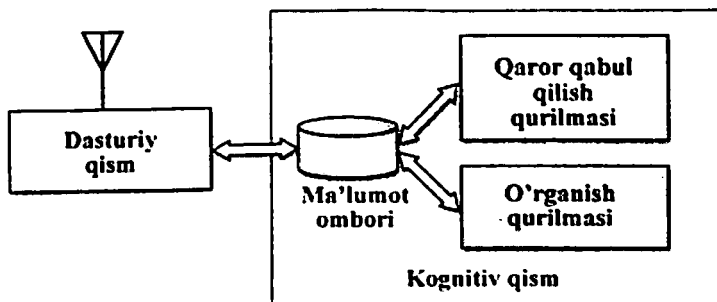
Amaldagi radioaloqa vositalariga radiohalaqitlarni bartaraf etishni ta'minlaydigan radiochastotalar spektriga ularning ishlatiladigan ulanish usulini hisobga olish bilan kognitiv qurilmalarning quyidagi tasniflash qabul qilingan:

- kognitiv pilot signalga ega bo'lgan tizimlar;
- kanallarning bandligi individual yoki jamoaviy nazorat qilishga asoslangan tizimlar;
- himoyalangan radioaloqa vositalarining geolokatsion ma'lumotlar omboriga ega tizimlar.

Bunda bu usullarning kombinatsiyasi bo'lishi mumkin.

Kognitiv radiotizimlarini ishlab chiqishda sun'iy intellekt

Sun'iy intellekt texnologiyalari kognitiv radiotizimlarida tahlil qilish va qarorlarni qabul qilish bosqichlarin o'tkazish uchun samarali qo'llanishi mumkin. Bo'lishi mumkin arxitektura 15.56-rasmda tasvirlangan. Bilimlar bazasida tizimning holatlari va bo'lishi mumkin ta'sirlar to'g'risidagi ma'lumotlar mavjud [38].



15.56-rasm. Sun'iy intellekt yordamida kognitiv radio arxitekturasi

Qarorlarni qabul qilish qurilmasi qaysi choralarni amalga oshirishni tanlaydi. O'rganish nimitzimi to'plangan ma'lumotlardan bilimlarni (kanalning bandligi, kanaldagi xatoliklar ehtimolligi va h.k.) to'playdi. Bilimlar bazasi ikkita rejimlar - radioefir holatini aniqlash va tizim parametrlarini o'zgartirish bo'yicha choralar ko'rish rejimlarida ishlaydi. O'rganish algoritmi ham radioefirning holati to'g'risidagi ma'lumotlarni, hamefirning holatidan kelib chiqish bilan mumkin amallar ro'yxatini o'zgartirishga imkon beradi.

Joy bilan aniqlanadigan kognitiv radio

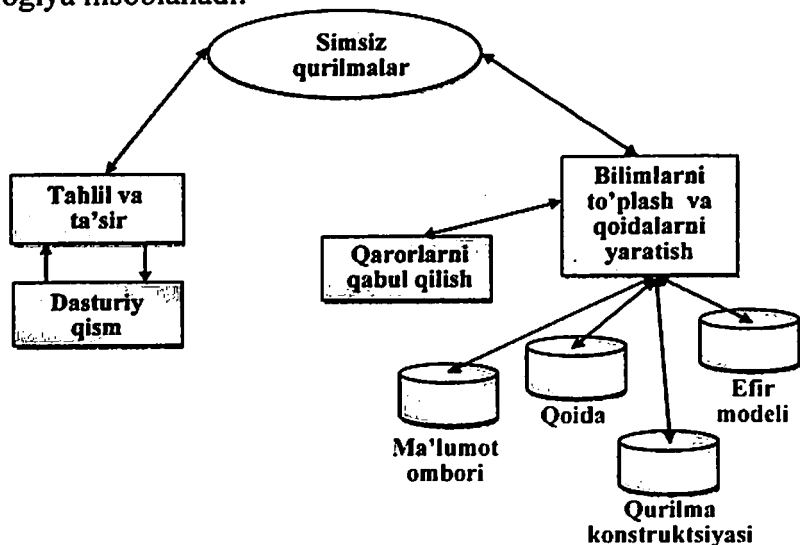
Simsiz tarmoqning xarakteristikalarini yaxshilash uchun joylashish o'rnini haqidagi ma'lumotlardan foydalanish mumkin. Masalan, mobil tarmoqlarda abonentning joylashish o'rnini to'g'risidagi ma'lumotlar kanallarni topshirish uchun zahiralash uchun ishlatilishi mumkin, masalan, xendover uchun kanallarni zahiralash uchun soya klasteri tushunchasi yordamida ishlatilishi mumkin. Kognitiv radio tizimlari uchun FCCda spektrga ikkita dinamik ulanish sxemalari ishlab chiqilgan: joylashish o'rnini ma'lumotlari bazasi va "mayoq". Ma'lumotlar bazasidan foydalanish bilan spektrga dinamik ulanish prinsipi 15.57-rasmda keltirilgan [39].

Birinchi holda, foydalanuvchilar joylashish o'rnini aniqlash tizimi (masalan, GPS) yordamida joylashish o'rnini ma'lumotlari olinadi. Keyin bu ma'lumotlar ma'lumotlar omboriga uzatiladi.

Bu ma'lumotlar bazasi yordamida har bir yangi foydalanuvchi o'z o'rnini aniqlagandan so'ng, bo'sh chastotalar polosasiga ulanishni oladi. Kognitiv radio foydalanuvchisi chastotalar polosasini egallagandan keyin bazaviy stansiyadan ma'lumotlar bazasiga yangilangan ma'lumotlar keladi.

• "Mayoq" ishlatiladiganda ma'lumotlar bazasi har bir sota uchun yuritiladi. Litsenziyalangan chastota diapazonlari to'g'risidagi

ma'lumotlar doimiy yangilanadi. Kognitiv tarmoq bazaviy stansiyasi joylashish o'rni bazasini barcha kognitiv radio foydalanuvchilariga translyasiya qiladi. O'zining joylashish o'rniga bog'liq ravishda kognitiv radioqurilma u yoki bu bo'sh chastotalar diapazonida ishlash to'g'risida qaror qabul qiladi. Kognitiv radio yangi rivojlanayotgan texnologiya hisoblanadi.



15.57-rasm. Ma'lumotlar bazasidan foydalanish bilan spektrga dinamik ulanish tizimi

Kognitiv radioning qo'llanishi nafaqat yangi texnologiyalarni joriy etish, balki chastotalar resursidan foydalanishning yangi g'oyasi, tarmoqlarning holati, qurilmalarni qurish va xizmatlarni taqdim etishga bog'liq. Ko'plab vujudga keladigan muammolarni yechish talab qilinadi va ulardan biri kognitiv radioning barcha zarur funksiyalarini bitta qurilmada ta'minlash hisoblanadi. Yaratilgan tizim nafaqat xavfsiz va ishonchli, balki testlanadigan va sertifikatsiyalanadigan bo'lishi kerak.

Nazorat savollari

1. O'ta keng polosali signallarni qo'llanishi sohalari haqida aytib bering.
2. O'ta keng polosali signallar texnologiyasining o'ziga xos xususiyatlari.
3. UWB-qurilmalari turlarini tasniflashtirib bering.

4. UWB va boshqa ma'lum texnologiyalar chastotalar polosalarining nisbatlarini keltiring va tushuntiring.
5. O'ta keng polosali signallarni qanday modulyatsiyalash usullari ishlatiladi?
6. UWB uzatkichining sxemasini keltiring va tushuntiring.
7. Bluetooth texnologiyasining asosiy qoidalari.
8. Bluetooth texnologiyasining ishlash prinsipi.
9. HomerF texnologiyasi bo'yicha qurilgan tarmoq tuzilmasini keltiring va tushuntiring.
10. HomerF texnologiyasining o'ziga xos xususiyatlari.
11. ZigBee/802.15.4 standartining qisqacha xarakteristikasini keltiring.
12. ZigBee/802.15.4 texnologiyasi qaysi ilovalarda qo'llaniladi.
13. NFC texnologiyasining o'ziga xususiyatlari nimada?
14. NFC texnologiyasi qanday maqsadlarda qo'llaniladi?
15. RFID texnologiyasi nima uchun ishlatiladi?
16. RFID texnologiyasining asosiy afzalliklari.
17. RFID-tizimlarning ishlash prinsipi.
18. Kognitiv radiotexnologiyasining o'ziga xos xususiyatlari.

ATAMALAR RO'XATI

Приемопередатчик uz - qabul qilgich-uzatkich en - transceiver	Устройство, которое как передает, так и получает информацию; размещается в радиоплате интерфейса сети. Axborotni ham uzatadigan, ham qabul qiladigan qurilma; tarmoq interfeysining radioplatasida joylashtiriladi.
Радиосигнал uz - radiosignal en - RF signal	Сигнал, частота которого соответствует диапазону радиоволн, используется для передачи информации через воздушную среду. Chastotasi radioto'lqinlar diapazoniga mos keladigan signal. Havo muhiti orqali axborot uzatish uchun foydalaniladi.
Фазовая манипуляция uz - fazaviy manipulyatsiya en - phase shift keying (PSK)	Процесс модуляции, при котором для представления информации используются небольшие изменения фазы несущей, в результате чего возможна передача данных через радиозфир. Modulyatsiya jarayoni bo'lib, axborotni taqdim etish uchun eltuvchi fazasi sal o'zgartiriladi, natijada ma'lumotlarni radioefir orqali uzatish mumkin bo'ladi.
Частотная манипуляция uz - chastotaviy manipulyatsiya en - frequency shift keying (FSK)	Метод модуляции, при котором слегка изменяется частота несущего сигнала, за счет чего осуществляется представление информации способом, подходящим для ее передачи через воздушную среду.

Modulyatsiya metodi, bunda eltuvchi signal chastotasi sal o'zgartirilishi hisobiga, axborotni havo muhiti orqali uzatish uchun qulay bo'lgan usulda taqdim etish amalga oshiriladi.

Амплитудно-частотная характеристика, АЧХ
uz - amplituda-chastotaviy xarakteristika, ACHX
en - gain-frequency characteristic

Характеристика, определяющая значение амплитуды сигнала на выходе устройства или канала связи по сравнению с входной амплитудой для всех возможных частот передаваемого сигнала. Степень искажений сигнала (неравномерность АЧХ) оценивают по ширине полосы пропускания, измеряемой по заданному уровню (обычно 0,5).

Qurilma yoki aloqa kanali chiqishidagi signal amplitudasi qiymatini uzatiladigan signalning mumkin bo'lgan barcha chastotalari uchun tegishli kirish amplitudasi bilan taqqoslab aniqlovchi xarakteristika. Signalning buzilish darajasi (ACHX notekisligi) berilgan sath bo'yicha o'lchanadigan (u odatda 0,5 ga teng) o'tkazish polosasining kengligi bo'yicha baholanadi.

возбудитель
uz - qo'zg'atkich
en - launcher

Высокочастотный генератор передатчика, например, коаксиально-щелевого или волноводного типа.

Uzatkichdagi yuqori chastotali, masalan, koaksial-tirqishli yoki to'lqin o'tkazgich turidagi generator.

время когерентности
uz - kogerentlik vaqti
en - coherence time

Интервал времени, в пределах которого принимаемые сигналы могут рассматриваться как

когерентные. Время когерентности в канале с замираниями зависит от разброса доплеровской частоты (f_d) и определяется как $1/f_d$. При невысокой скорости перемещения абонента оно существенно больше, чем необходимо для интерактивного обмена. По этой причине временное разнесение «в чистом виде» на практике встречается крайне редко. Vaqt intervali, shu vaqt oralig'ida qabul qilinuvchi signallar kogerent deb qaralishi mumkin. Tinishlar kuzatiladigan kanaldagi kogerentlik vaqti Dopler chastotasining tarqoqligiga (f_d) bog'liq bo'ladi va $1/f_d$ ko'rinishida aniqlanadi. Abonent harkatlanishining yuqori bo'lmagan tezligida u interaktiv almashinuv uchun kerak bo'ladiganidan ko'ra ancha kattadir. Shu sababli vaqt bo'yicha tarqoqlik «sof holda» amalda juda kam uchraydi.

Гетеродин
uz - geterodin
en - local oscillator

Вспомогательный маломощный генератор электрических колебаний, применяемый для преобразования частоты в супергетеродинном приемнике.

Supergeterodinli qabul qilgichda chastotani o'zgartirish uchun qo'llaniladigan, yordamchi, kichik quvvatli elektr tebranishlar generatori.

Дуплекс; дуплексная передача
uz - dupleks; dupleks uzatish
en - duplex

Процесс передачи сообщений по каналам связи одновременно в двух направлениях. Данный термин часто употребляется как прилагательное, означающее «дуплексный, одновременно двусторонний». В

этом случае он характеризует тип канала связи или режим работы устройства, способного одновременно передавать и принимать информацию.

Aloqa kanallari bo'ylab xabarlarini bir vaqtning o'zida ikki yo'nalishda uzatish jarayoni. Bu atama «dupleks, bir vaqtning o'zida ikki tomonlama» ma'nosida ishlatiladi. Bunda u bir vaqtning o'zida ham uzatish, ham qabul qilish qobiliyatiga ega bo'lgan kanal turi yoki qurilmaning ishlash rejimini tavsiflaydi.

замирение
uz - tinish
en - fading

Внезапное ослабление или даже полное исчезновение радиосигнала, обусловленное случайными изменениями параметров передающей среды (температуры, влажности, давления), а также из-за интерференции радиоволн, приходящих в точку приема по разным путям. При одних и тех же условиях распространения радиоволн замирения могут быть гладкими, если передаваемые сигналы узкополосные, и селективными, если они широкополосные. В зависимости от скорости изменения мгновенных значений сигнала замирения условно разделяются на быстрые и медленные.

Uzatuvchi muhit parametrlari (harorat, namlik, bosim)ning tasodifiy o'zgarishlari, shuningdek, qabul nuqtasiga turli yo'llardan keluvchi radioto'lqinlar interferensiyasi bilan

bog'liq holda radiosignalning to'satdan susayishi yoki hatto, to'la yo'qolib qolishi. Agar uzatiluvchi signallar tor polosali bo'lsa radioto'lqinlarning bir xil sharoitlarida tinishlar bir tekisda bo'ladi, keng polosali bo'lganida esa selektiv tinishlar kuzatiladi. Signal oniy qiymatlarining o'zgarish tezligiga bog'liq holda tinishlarning ikki turi farqlanadi: tez va ohista.

Затенение
uz - soyalanish
en - shadowing

Медленные замирания на трассе между передатчиком и приемником, обусловленные экранирующим влиянием рельефа местности и городскими строениями. Например, в сетях сотовой связи этот вид замираний характерен для каждые (12-60) метров пути (временной интервал 1,2 s-6 s) при движении абонента со скоростью 36 km/h в городских условиях.

Joy reliefi va shahar imoratlarining to'suvchi ta'siri tufayli, uzatkich va qabul qilgich o'rtasidagi trassadagi sekin asta tinishlar. Masalan, shahar sharoitida

36 km/h tezlikda harakat qiluvchi abonentlarga sotali aloqa tarmoqlarida bu xildagi tinishlar masofaning har (12-60) metri uchun xosdir (vaqt Intervali 1,2 s-6 s).

Звено; тракт
uz - zveno; trakt
en - link

Часть системы связи или сквозного соединения, состоящего из нескольких последовательных участков.

Aloqa tizimining yoki ketma-ketlikdagi bir nechta uchastkadan

Избирательность по каналам побочного приема
uz - nomaqbul qabul qilish kanallari bo'yicha
en - spurious-response selectivity

Интерференционное замирание
uz - interferension tinish
en - Interference fading

Квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом
uz - siljishli kvadratura-fazaviy manipulyasiya
en - Offset Quadrature Phase-Shift Keying (OQPSK)
(син. Staggered Quadrature Phase-Shift Keying – SQPSK)

iborat bo'lgan, boshdan oxir daxldorlikdagi birikmaning bir qismi.

Характеристика, определяющая способность радиоприемника выделять полезный сигнал при воздействии мешающих сигналов по каналам побочного приема.
Radioqabulqilgichning nomaqbul qabul qilish kanallari bo'yilab halaqit beruvchi signallar ta'sir etganda foydali signalni ajratib olish qobiliyatini belgilovchi xarakteristika.

Замирание, возникающее по причине изменения относительных фаз сигналов, приходящих в точку приема по разным маршрутам.
Qabul qilish nuqtasiga turli yo'nalishlar bo'yicha keladigan signallarning nisbiy fazasi o'zgarishi sababli sodir bo'ladigan tinish.

Метод модуляции, при котором сигналы в синфазном и квадратурном каналах сдвинуты на $T/2$ (T – длительность символа), а фаза манипулированного сигнала изменяется в пределах $\pm \pi/2$.
Применение OQPSK позволяет снизить требования к показателю линейности усилителя мощности, так как после манипуляции в выходном радиосигнале отсутствуют нежелательные провалы огибающей радиосигнала.
Sinfaza va kvadraturaviy kanallarda signallar $T/2$ ga (T – simvolning davomiyligi) siljiydigan, manipulyatsiyalangan signal fazasi \pm

$\pi/2$ doirasida o'zgaradigan modulyatsiya metodi. OQPSK ning qo'llanilishi quvvat kuchaytirgichning chiziqlilik ko'rsatkichiga bo'lgan talabni pasaytirish imkonini beradi, chunki manipulyasiyadan so'ng chiqish radiosignalida uni og'ib o'tuvchi nomaqbul pasayish bo'lmaydi.

Квадратурный канал
uz - kvadraturaviy kanal
en - Q channel

Канал, у которого фаза входного сигнала сдвинута относительно опорного на 90°.

Kirish signalining fazasi tayanch signalinikiga nisbatan 90° ga siljirilgan kanal.

Кодирование
uz – kodlash
en - encoding

Процесс преобразования исходной информации в кодированную форму.

Dastlabki axborotni kodlangan shaklga o'zgartirish jarayoni.

Одна боковая полоса
uz - bitta yon polosa
en - Single Sideband (SSB)

Амплитудно-модулированный сигнал, спектр которого состоит из одной боковой полосы, расположенной ниже (нижняя боковая полоса) или выше (верхняя полоса) несущей частоты.

Spektri eltuvchi chastotadan pastda (quyi yon polosa) yoki yuqorida (yuqori polosa) joylashgan bitta yon polosadan iborat amplitudaviy modulyatsiyalangan signal.

Передающая среда
uz - uzatuvchi muhit
en - transmission media

Совокупность различных типов наземных средств радиосвязи, спутниковых, кабельных и волоконно-оптических линий, используемых для передачи информации.

Axborotni uzatish uchun foydalaniladigan turli yer usti radioaloqa vositalari, yo'ldoshli, kabelli va optik tolali liniyalar yig'indisi.

Поддиапазон
uz - quyi diapazon
(poddiapazon)
en - subband

Часть диапазона рабочих частот. в пределах которого обеспечивается работа радиостанции. Ishchi chastotalar diapazonining bir qismi bo'lib, uning chegarasida radiostansiyaning ishi ta'minlanadi.

помехозащищенность
uz - halaqitdan
himoyalanganlik
en - Yerror performance

Показатель, характеризующий степень устойчивости работы аппаратуры при появлении ошибок в принятых символах. Qabul qilingan simvollarda xato paydo bo'lganida apparatura ishining barqarorlik darajasini tavsiflovchi ko'rsatkich.

помехозащищенность,
помехоустойчивость
uz - halaqitdan
himoyalangan-lik,
halaqitga chidamlilik
en - jam-protection, jam-
resistance

Способность радиостанции устойчиво функционировать в условиях воздействия преднамеренных помех. Помехоустойчивость обеспечивается за счет использования одного или нескольких видов селекции сигнала, основанных на использовании различий между полезным сигналом и преднамеренными помехами. Наиболее эффективна пространственная селекция, при которой в диаграмме направленности антенны формируется провал, ориентированный на источник помех.

Ataylab qilinadigan halaqitlar sharoitida radiostansiyaning barqaror ishlay olish qobiliyati. Halaqitga chidamlilik foydali signal va ataylab qilinuvchi halaqitlar o'rtasidagi tafovutdan foydalanishga asoslangan, bir yoki bir necha turdagi signallarning seleksiyasidan foydalanish evaziga ta'minlanadi. Fazoviy seleksiya eng samarali bo'lib, unda antennaning yo'nalganlik diagrammasida halaqitlar manbaiga mo'ljallangan botiqlik hosil bo'ladi.

Преобразование
uz - o'zgartirish
en - transformation

Замена одного сигнала другим, получаемым из первого по определенным правилам.

Birinchi signalni undan ma'lum qoidalar bo'yicha olinadigan boshqa signal bilan almashtirish.

Приемопередатчик;
трансивер
uz - qabul qilgich-
uzatkich; qabul
qilgich/uzatkich
en - transceiver

Комбинация передающего и приемного устройства, размещенных в одном корпусе. Обычно реализуется в портативном или мобильном вариантах исполнения.

Bitta korpusda joylashgan qabul qiluvchi va uzatuvchi qurilmalarning kombinatsiyasi. Odatda, portativ yoki mobil variantlarda ishlab chiqariladi.

прямая видимость
uz - to'g'ridan-to'g'ri
ko'rinish
en - Line-Of-Sight (LOS)

Наличие геометрической (оптической) видимости между передающей и приемной антеннами.

Термин также употребляется как прилагательное «в пределах прямой видимости» или «радиорелейный» (о трассе).

Uzatuvchi va qabul qiluvchi antennalar o'rtasida geometrik (optik) ko'rinishning mavjudligi. Atama, shuningdek, «to'g'ridan-to'g'ri ko'rinish chegarasida» yoki «radioreleli» (trassa haqida) mazmunlarida ham qo'llaniladi.

Радиоканал
uz - radiokanal
en - radio channel

Полоса частот, образующая канал, достаточная для организационного обмена между передающим и приемным пунктами. Максимальная ширина полосы канала зависит от вида передаваемой информации, нестабильности частоты, величины доплеровского сдвига, а также частотно-селективных свойств передающей среды.

Uzatuvchi va qabul qiluvchi punktlar o'rtasida axborot almashuvini ta'minlash uchun yetarli kanal hosil qiladigan chastotalar polosasi. Kanal polosasining maksimal kengligi uzatiladigan axborot turi, chastota nostabilligi, Doppler siljishi kattaligi, shuningdek, uzatuvchi muhitning chastotaviy-selektiv xossalari bog'liq bo'ladi.

Сверхвысокая частота,
СВЧ uz - o'ta yuqori
chastota, O'YuCh
en - superhigh frequency
(SHF)

Область частот, лежащих в диапазоне от 3 до 30 GHz. Диапазон СВЧ используется в системах фиксированной спутниковой и радиорелейной связи.

3 dan 30 GHz gacha bo'lgan diapazondagi chastotalar sohasi. Qayd etilgan yo'ldoshli va radioreleli aloqa tizimlarida qo'llaniladi.

Сигнал
uz - signal
en - signal

Изменяющаяся во времени физическая величина, используемая для передачи различных видов информации, а также оповещения о каких-либо событиях или состояниях объектов.

Vaqt bo'yicha o'zgaruvchi, turli xildagi axborotlarni uzatish, shuningdek, qandaydir voqea yoki obyektning holati haqida xabar berish uchun foydalaniladigan fizik kattalik.

Синтезатор
uz - sintezator
en - synthesizer

Генератор, формирующий большое число рабочих частот от одного источника опорных колебаний.

Tayanch tebranishlarning bitta manbaidan ko'p sonli ishchi chastotalarni shakllantiruvchi generator.

Спектр
uz - spektr
en - spectrum

Функция, описывающая зависимость изменения амплитуды и фазы сигнала от частоты и однозначно определяющая его характеристики и свойства. Спектр любого сигнала может быть представлен в виде суммы большого числа гармонических колебаний с различными частотами, амплитудами и фазами. Такое разложение на гармонические составляющие называется спектральным разложением, а его свойства могут быть описаны с помощью распределения спектра амплитуд (энергетический спектр) и спектра фаз.

Signal amplitudasi va fazasining

chastotaga bog'liq ravishda o'zgarishini tavsiflovchi hamda signalning xarakteristika va xossalari qat'iy belgilovchi funktsiya. Har qanday signalning spektri turli chastota, amplituda va fazadagi garmonik tebranishlarning yig'indisi tarzida ifodalanishi mumkin. Garmonik tashkil etuvchilarga bunday ajratish spektral parchalanish deyiladi. uning xossalari esa amplitudalar spektri (energetik spektr) va fazalar spektrini taqsimlash yordamida tavsiflanishi mumkin.

Супергетеродинный радиоприемник
uz - supergeterodinli radioqabulqilgich
en - superheterodyne receiver

Радиоприемное устройство, в котором входной сигнал с помощью смесителя переносится на промежуточную частоту, а затем осуществляется его усиление и демодуляция. Основными

преимуществами супергетеродинного приемника является высокая чувствительность и избирательность.

Kirish signalini aralash tirgich yordamida oraliq chastotaga ko'chirib o'tkaziladigan, so'ngra uning kuchaytirilishi va demodulyatsiyasi sodir bo'ladigan radio qabul qilish qurilmasi. Supergeterodinli qabul qilgichning asosiy ustunligi – yuqori sezgirlik va tanlovchanlikdir.

фильтр нижних частот
uz - quyi chastotalar filtri
en - low-pass filter

Фильтр, который пропускает все частоты, лежащие ниже заданной частоты и отсекает остальные. Berilgan chastotadan pastdagi barcha chastotalarni o'tkazadigan va boshqalarini kesib tashlaydigan filtr.

ADABIYOTLAR

1. “O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo‘yicha harakatlar strategiyasi to‘g‘risida” O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevraldagi PF-4947-sonli Farmoni. <http://lex.uz/docs/>

2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yilning 5 oktyabriidagi “”Raqamli O‘zbekiston-2030” strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish choralari to‘g‘risida” 6079-PF Farmoni. <http://lex.uz/docs/>

3. [Wikipedia.org/wiki/беспроводные технологии](http://Wikipedia.org/wiki/беспроводные_технологии).

4. М. С. Лохвицкий, А. С. Сорокин, О. А. Шорин. Мобильная связь: стандарты, структуры, алгоритмы, планирование. - М.: Горячая линия - Телеком, 2018. - 264 с.: ил.

5. D.A.Davronbekov, U.T.Aliev. Teleradioeshittirishda uzatish va qabul qilish qurilmalari: darslik. T.: “Aloqachi”, 2019 y.-266 b.

6. Катунин Г.П., Мамчев Г.В., Попантонопуло В.Н., Шувалов В.П. Телекоммуникационные системы и сети. Том II. – Новосибирск: Цэрис, 2000. – 624 с.

7. Зырянов Ю.Т., Удовикин В.Л., Белоусов О.А. - Радиоприемные устройства в системах радиосвязи: учебное пособие - Издательство "Лань" - 2018 - 320с. - ISBN: 978-5-8114-2589-1 - Текст электронный // ЭБС ЛАНЬ - URL: <https://e.lanbook.com/book/107933>

8. <https://www.radio-Center.ru/gotov.shtml>.

9. D.A.Davronbekov, Sh.U.Pulatov, U.T.Aliyev, M.O.Sultonova. «Simsiz keng polosali texnologiyalar». Darslik. T: "Aloqacni", 2017-329 b.

10. Шостак, А. С. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / А. С. Шостак. - Томск: ТУСУР, 2018. - 120 с. - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/7277>.

11. Основы теории антенн: учебное пособие/А.П. Пудовкин, Ю.Н. Панасюк, А. А. Иванков. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 92 с.

12. Миллр. Г. Антенны. Практическое руководство. – СПб.: Наука и Техника. 480 с.

13. <http://celnet.ru/antenna.php>.

14. © 2009-2021 Банк лекций Siblec.Ru. Учебные материалы ОКСО 210000. Электронная техника, радиотехника и связь.
15. Немировский М.С., Локшин Б.А., Аронов Д.А. Основы построения систем спутниковой связи. М.: «Горячая линия-Телеком». - 2017 г., 432 стр.
16. Берлин А.Н. Сотовые системы связи: Учебное пособие. - М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 360 с.
17. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов И.А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для вузов. 3-е изд., стереотип. М.: «Горячая линия-Телеком».-2013 г. 220 стр.
18. С. Б. Макаров, Н. В. Певцов, Е. А. Попов, М. А. Сиверс - Телекоммуникационные технологии. Введение в технологии GSM. М: Академия, 2008.– 256 с
19. Кааранен, А. Ахтиайнен, Л. Лаитинен. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы. М: Техносфера, 2007.– 464 с.
20. Скрынников В.Г., Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика.– М.: Издательство «Спорт и Культура – 2000», 2012.– 864 с.
21. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура. – М: Эко-Трендз, 2010.– 284 с.
22. Степутин, А. Н., Николаев А.Д. Мобильная связь на пути к 6G. В 2 томах. Том2 / А.Н. Степутин, А.Д. Николаев. –3-е изд. – Москва-Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. – 420 с. : ил..
23. Рыжков А.Е., Сиверс М.А., Воробьев В.О., Гусаров А.С., Слышков А.С., Шуньков Р.В. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMax. – СПб: Линк, 2012. – 226 с..
24. В. Вишневский, С. Портной, И. Шахнович - Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. М: Техносфера, 2008.– 472 с.
25. Вильям Столлингс. Беспроводные линии связи и сети. Изд-во: Вильямс, 2003 г., 640 стр.
26. И. Шахнович. Современные технологии беспроводной связи. Серия: Мир связи. Издательство: Техносфера, 2004 г.,168 стр.
27. Рошан П., Лиэри Д. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Пер. с англ. - М.: Вильямс, 2004. - 304 с.: ил. - ISBN 5-8459-0701-2.

28. Пролетарский А.В., Баскаков И.В., Чирков Д.Н. Беспроводные сети Wi-Fi. М.: Интуит, 2007. - 177 с.
29. Дмитриев В. Технология передачи информации с использованием сверхширокополосных сигналов UWB. Компоненты и технологии. № 1'2014.
30. <https://ate-m.by/wiki/tYerm/tekhnologiya-bluetooth/>.
31. Агафонов Н. Технологии беспроводной передачи данных ZigBee, BlueTooth. Компоненты и технологии. № 1'2016.
32. <http://www.HomerF.org/33>.
33. Панифлов Д., Соколов М. Введение в беспроводную технологию ZigBee. Электронные компоненты, № 12'2016.
34. https://ru.wikipedia.org/wiki/Near_Field_Communication.
35. Карнаухов В., Безнос О.С. Технология Near Field Communication (NFC). // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 3. – С. 169-170.
36. <https://www.datakrat.ru/technology/rfid-radiochastotnaya-identifikatsiya>.
37. В. Пшеничников. Технология радиочастотной идентификации (RFID) в логистике. «Автоматизация производства», №11 за 2016 год // Ноябрь, 2016э
38. Комашинский В.И. Когнитивные системы и телекоммуникационные сети / В.И. Комашинский // Вестник связи. – 2011. – № 10. – С. 4-8.
39. Справочник по перспективам внедрения систем когнитивного радио в диапазоне УВЧ в странах участников РСС. – Астана, 2016. – 93 с.
40. М. Махмудовнинг умумий тахрири остида. Симсиз фойдаланиш тизимларига оид атамаларнинг русча-ўзбекча изоҳли луғати. Ўзбекистон алоқа ва ахборотлаштириш агентлиги. «UNICON.UZ» – Фан-техника ва маркетинг тадқиқотлари маркази Давлат унитар корхонаси («UNICON.UZ» ДУК).Т.: 2010, 192 б.

D.A. Davronbekov, U.T. Aliyev, X.X. Madaminov, J.D. Isroilov

“SIMSIZ TARMOQLAR”

Nashr uchun mas’ul: B. Mavlonov

Muharrir: U. Yunusov

Badiiy muharrir: F. Sobirov

Dizayner-sahifalovchi: L. Abdullayev

Nashriyot ro’yxat raqami № 1043191. 24.09.2021-y.

Bichimi 60x84 1/16 Offset qog’ozi.

Times New Roman garniturası.

Shartli bosma tabog’i 27,25. Nashr hisob tabog’i 17,2.

Adadi 100 nusxada. Buyurtma № 11-12.



1940

**100000, Toshkent shahri, Mirzo Ulug’bek tumani,
M.Ismoilij ko’chasi 1-G uy.**

**«ZUXRA BARAKA BIZNES» MChJ bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent shahri Bunyodkor shoh ko’chasi 27 A-uy.**