

621.396
Д-15

А.Х.Абдукадиров, Д.А.Давронбеков



МОБИЛ АЛОҚА ТИЗИМЛАРИНИНГ 4G АВЛОДИ

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ
ВА КОММУНИКАЦИЯЛАРИНИ РИВОЖЛАНТИРИШ ВАЗИРЛИГИ**

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

А. Х. Абдукадиров, Д. А. Давронбеков

МОБИЛ АЛОҚА ТИЗИМЛАРИНИНГ 4G АВЛОДИ

Ўқув қўлланма

*Ўзбекистон Республикаси олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги
томонидан ўқув қўлланма сифатида тасвир этилган
(2015 йил 2 февралдаги 32-сонли буйруқ)*

ЎҚУВ ЗАЛИ

Toshkent Axborot Texnologiyalari Universitet
П. 2856
Axborot Resurs Markazi

Тошкент - 2015

Ушбу ўқув қўлланмада тўртинчи авлод мобил ва кенг полосали алоқа тизимларининг ривожланиши тарихи, 4G авлод тизимлари ҳақида асосий тушунчалар, мобил ва кенг полосали алоқа тизимларининг кейинги ривожланиш истиқболлари кўриб чиқилган. Ҳаракатдаги радиоалоқа тизимларининг ривожланиш таҳлили, уларнинг синфларга бўлиниши, сотали тизимларнинг эволюцияси келтирилган. LTE мобил алоқа технологияларининг, Wi-Fi ва WiMAX кенг полосали симсиз алоқа тизимларининг ўзига хос хусусиятлари кўрсатилган.

Ўқув қўлланма олий таълим муассасалари талабалари ва мобил алоқа соҳасида фаолият кўрсатувчиларга мўлжалланган.

В данном учебном пособии рассматриваются предистория развития систем мобильной и широкополосной связи четвертого поколения, основные понятия о системах поколения 4G, технологии, составляющие поколение 4G, современные тенденции и перспективы дальнейшего развития систем мобильной и широкополосной связи; приведены обзор развития систем подвижной радиосвязи, классификация систем подвижной радиосвязи, эволюция систем сотовой связи; показаны особенности технологии мобильной связи LTE и особенности систем беспроводной широкополосной связи Wi-Fi и WiMAX.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений и для сотрудников, чья сфера деятельности связана с мобильной связью.

In this study guide a pre-history of the fourth generation (4G) mobile and broadband communications systems development; the main definitions about 4G systems; technologies, forming 4G; modern trends and prospects of the further development of mobile and broadband communications systems have been considered.

Review of mobile radio communication systems development; their classification; evolution of cellular communication systems; the specifications of mobile communications technology - LTE and broadband wireless access systems - Wi-Fi and WiMAX has been conducted.

The study guide is intended for students of the higher education institutions and for employees, whose field of activity in mobile communication.

Тақризчилар: **А.АБДУАЗИЗОВ** – ТАТУ “Электроника ва радиотехника” кафедраси профессори, т.ф.н., Халқаро алоқа академияси академиги;

А.А. ХАЛИКОВ – ТошТҲИ “Электралоқа ва радио” кафедраси профессори, т.ф.д., Халқаро алоқа академияси академиги.

КИРИШ 7

I – қисм

**1-боб. 4G АВЛОД ТЕХНОЛОГИЯЛАРИНИНГ РИВОЖЛАНИШИ
УЧУН ШАРТ-ШАРОИТЛАР**..... 9

1.1. Тўртинчи авлод мобил ва кенг полосали алоқа тизимларининг
ривожланиш тарихи9

1.2. 4G авлод тизимлари ҳақида асосий тушунчалар 14

1.3. 4G авлодини ташкил этувчи технологиялар 15

1.3.1. LTE технологияси 16

1.3.2. WiMAX технологияси 17

1.4. Мобил ва кенг полосали алоқа тизимларини ривожланиш
истикболлари ва замонавий тенденциялари 17

1.4.1. LTE технологиясининг яқин йиллардаги ривожланиш
истикболлари 18

1.4.2. WiMAX технологиясининг яқин йиллардаги ривожланиш
истикболлари 19

1.4.3. 4G технологияларининг ривожланиши билан боғлиқ муаммолар 20

Назорат саволлари 22

**2-боб. ҲАРАКАТДАГИ РАДИОАЛОҚА ТИЗИМЛАРИ
РИВОЖЛАНИШИНИНГ ТАҲЛИЛИ** 23

2.1. Ҳаракатдаги радиоалоқа тизимлари ривожланишининг тавсифи
ва тарихи 23

2.1.1. Профессионал мобил алоқа тизимлари 24

2.1.2. Сотали алоқа тизимлари 26

2.1.3. Симсиз телефония тизимлари 29

2.1.4. Йўлдошли алоқа тизимлари 30

2.2. Ҳаракатдаги радиоалоқа тизимларининг классификацияси 31

2.2.1. ҲРТнинг вазифаси ва хизмат кўрсатиш зонасининг ўлчами 32

2.2.2. Кўп сонли уланиш технологиялари 34

2.2.3. Каналларни дуплекслаш схемалари 38

2.2.4. “Хэндовер”нинг ташкил этилиши 39

2.3. Сотали алоқа тизимларининг эволюцияси 40

2.3.1. Биринчи авлод - 1G стандартлари 40

2.3.2. 2G – иккинчи авлод стандартлари 44

2.3.3. 2,5G авлод мобил алоқа тизимлари 47

2.3.4. 2,75G авлод мобил алоқа тизимлари 48

2.3.5. 3G – учинчи авлод стандартлари 50

2.3.6. 3,5G авлод стандартлари 53

2.3.7. 3,75G авлод стандартлари 53

2.3.8. 3,9G ёки Pre 4G авлод стандартлари 54

2.3.9. 4G - тўртинчи авлод стандартлари	55
2.4. 3G - учинчи авлод сотали алоқа тизимлари	56
2.4.1. 3G тизимларининг ривожланиш тарихи	57
2.4.2. 3G тизимларининг қурилиш принциплари	59
2.4.3 3G стандартлари	60
Назорат саволлари	78
3-боб. LTE МОБИЛ АЛОҚА ТЕХНОЛОГИЯСИ	79
3.1. LTE стандартининг ривожланиш тарихи	79
3.2. LTE стандарти ҳақида умумий маълумотлар	80
3.3. LTE тизими архитектураси	82
3.3.1. LTE тизимлари функционалигига қўйиладиган талаблар	84
3.3.2. LTE/SAE тизими архитектурасининг асосий ташкил этувчилари	85
3.3.3. LTE тизимининг асосий функциялари, протоколлар структураси ҳамда канал структураси	92
3.3.4. Абонент ускуналарининг мобиллигини бошқарув функцияси	100
3.3.5. LTE тармоқларида «роуминг» хизматини ташкил этиш	110
3.3.6. LTE тармоқларида «биллинг» хизматини ташкил этиш	116
3.4. LTE тизимининг радиоинтерфейсини ташкил этилиши	125
3.4.1. OFDM технологиясининг тавсифи	125
3.4.2. Адаптив ва куп-элементли антенна тизимлари	129
3.4.3. Радиоинтерфейс функционалига талаблар	137
3.5. LTE тизимлари учун радиотчастота спектри	153
3.5.1. Масаланинг долзарблиги	153
3.5.2. LTE тизимлари учун потенциал спектр	154
3.5.3. LTE тармоқларини қуришда даъвогар (номзод) бошқа полосалар	159
3.5.4. Спектрга бўлажак талаблар	160
3.5.5. Ўзбекистонда 4G технологияларини ривожлантириш учун РЧС ҳолати	163
3.6. LTE тизимларда хизмат кўрсатиш сифатини таъминлаш	165
3.6.1. Хизмат кўрсатиш сифати тушунчаси	165
3.6.2. LTE тизимларда хизмат кўрсатиш сифати	166
3.7. LTE тизимида ахборот хавфсизлигини таъминлаш	168
3.7.1. LTE тармоқларида хавфсизликка таҳдидлар	169
3.7.2. LTE тармоқларида ахборот хавфсизлигини ташкил этилиши	173
Назорат саволлари	177

II-қисм

4-боб. КЕНГ ПОЛОСАЛИ СИМСИЗ АЛОҚА ТИЗИМЛАРИНИНГ РИВОЖЛАНИШИ	180
4.1. Кенг полосали симсиз уланиш технологияларнинг ривожланиш тарихи ва тавсифи	180
4.2. Кенг полосали симсиз технологияларни классификацияси (синфларга бўлиш) бўйича ёндашувлар	182

4.3. Wi-Fi технологиясининг таҳлили.....	185
4.3.1. Wi-Fi технологиясининг ривожланиш тарихи.....	186
4.3.2. Wi-Fi технологиясининг ишлаш принциплари.....	187
4.3.3. Wi-Fi технологиясининг афзалликлари ва камчиликлари	189
4.3.4. Хавфсизликни таъминлаш масалалари	190
4.3.5. Wi-Fi тармоқларининг амалий қўлланилиши	191
Назорат саволлари.....	193
5 - боб. WiMAX - КЕНГ ПОЛОСАЛИ СИМСИЗ УЛАНИШ ТЕХНОЛОГИЯСИ	194
5.1. WiMAX технологияси ҳақида умумий тушунчалар.....	194
5.1.1. WiMAX тизимининг тавсифи	194
5.1.2. WiMAX тизими ва IMT-2000 дастури.....	195
5.1.3. WiMAX тизими ва “рақамли тенгсизлик” (ингл. <i>Digital Gap</i>) муаммоси	198
5.1.4. WiMAX тизимининг асосий характеристикалари.....	199
5.1.5. WiMAX тизимларининг тарқалиши ва қўлланиш соҳалари.....	202
5.1.6. WiMAX тизимининг афзалликлари ва камчиликлари	204
5.1.7. WiMAX ва Wi-Fi тизимларини таққослаш	205
5.2. WiMAX стандартлари (IEEE 802.16)	206
5.2.1. WiMAX стандартларининг қисқача ривожланиш тарихи.....	206
5.2.2. IEEE 802.16 стандартлари оиласининг тавсифи.....	209
5.2.3. IEEE 802.16 стандартининг турғун ва мобил версиялари.....	209
5.3. WiMAX тизимининг архитектураси	216
5.3.1. WiMAX тизимининг архитектурасининг асосий принциплари	216
5.3.2. WiMAX тармоғи тугунларинг функционалиги	219
5.3.3. IEEE 802.16 стандартидаги иш режимлари	226
5.3.4. IEEE 802.16 стандарти тармоғи физик даражасининг тавсифи	227
5.3.5. MAC даражасининг ишлатилиши.....	239
5.3.6. QoS - хизмат кўрсатиш сифати	242
5.3.7. Мобилликни бошқариш.....	243
5.4. WiMAX тармоғини ташкил қилишнинг ўзига хос хусусиятлари, ишлаш режимлари ва профиллари.....	252
5.4.1. WiMAX профиллари	252
5.11-жадвал.....	253
WiMAX стандартининг сертификацияланган профиллари	253
5.4.2. WiMAX тармоғининг ишлаш режимлари.....	254
5.4.3. WiMAX тармоғини ташкил этишнинг ўзига хос хусусиятлари	256
5.4.4. WiMAX тармоқларини лойihalаштириш ва ташкил қилиш	262
5.5. WiMAX тармоқларида радиочастота диапазонида фойдаланиш	269
5.5.1. WiMAX тизимлари учун радиочастоталарни тақсимлашда бутун дунё анъаналари.....	269
5.5.2. WiMAX тизимлари учун спектрни ажратишга боғлиқ муаммолар	270
5.5.3. Турли частоталар диапазонларида ва дунёнинг турли давлатларида спектрнинг тақсимланишининг ўзига хос хусусиятлари ...	271

5.5. WiMAX тармоқларида ахборот хавфсизлиги масалалари.....	278
5.6.1. IEEE 802.16. стандартидаги заифликлар ва хужумлар турлари	280
5.6.2. IEEE 802.16 стандартида хавфсизлик тизимини ташкил этиш.....	280
Назорат саволлари.....	294
ХУЛОСА	297
ҚИСҚАРТМАЛАР, АТАМАЛАР ВА ТАВСИФЛАР	300
ГЛОССАРИЙ	315
ФЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР ВА АХБОРОТ РЕСУРСЛАРИ РЎЙХАТИ	324

КИРИШ

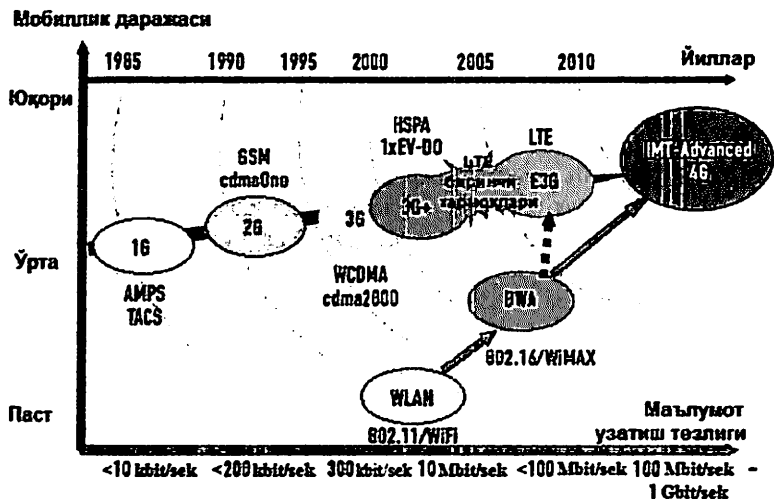
Сотали алоқа тизимларида (ёки ҳозирги вақтда кўпинча аталганидек мобил алоқа тизимларида) “авлодлар” алмашиши шахсий компьютерлар индустрияси ёки телевизион техникага нисбатан яққолроқ ва аниқроқ бўлмоқда. Мобил алоқа дунёсида кўп нарса ҳисоблидир: 1G (ингл. «*First Generation*»- биринчи авлод) – бу аналог алоқа тизимлари (NMT, AMPS стандартлари); иккинчи авлод - 2G, каналлар коммутацияланиши асосида ишлайдиган рақамли алоқа тизимлари (GSM, DAMPS ва cdmaOne стандартлари); учинчи авлод - 3G, каналлар коммутацияланиши билан бирга пакетлар коммутацияланишини ҳам кўзда тутуди (UMTS ва CDMA-2000 стандартлари); ва, ниҳоят, тўртинчи авлод - 4G тармоқлари тўлиқ пакетли IP-коммутация асосида курилади (LTE Advanced, IEEE802.16m (WiMAX) ва IEEE802.11ac (Wi-Fi) стандартлари). Шуниси диққатга сазоворки, мобил алоқа дунёсида авлодларнинг алмашиши мунтазам равишда ҳар ўн йилда бўлиб ўтмоқда.

Ҳозирги кун ҳам дунё миқёсида иккинчи авлод мобил алоқа тизимларидан учинчи авлод тизимларига ўтиш билан боғлиқдир. Ҳақиқатан, тарқалиши даражаси бўйича 3G тармоқлари мобил алоқанинг жаҳон бозорида 25 фоизини эгаллаган ҳолда, 2G тармоқларини қувлаб, босқичма-босқич етакчи ўринларга чиқиб бормоқда. Мобил қурилмалар яратувчилари глобал ассоциациясининг (ингл. *Global mobile Suppliers Association, GSA*) ва CDMA ривожланиш гуруҳининг (ингл. *CDMA Development Group, CDG*) ҳисоботларига кўра, 2011 йилнинг 11 майига келиб бутун дунёда 3G тармоқлари сони 700 дан ошиб кетди, абонентлар сони эса 1,3 миллиардга етди [1,2]. Бу ёсинда 3G технологияларининг функционал имкониятлари ҳам жойида турмаяпти ва 3,5G номини олган (яъни HSPA ва HSPA+ тизимлари) янги ишланмалар сари ривожланиб бормоқда. Бундай шароитда 3G тармоқларининг истиқболлари ёрқин кўринмоқда эди. Аммо бизнинг кўз ўнгимизда қизиқарли бир жараён ҳам юз бермоқда: саҳнага “4G” деб аталмиш мобил алоқанинг янги авлоди (LTE технологияси) кириб келмоқда ва жиддий равишда “оилада ўз ўрнига” даъвогарлик қилмоқда. Шу сабабдан яқин вақтларда 3G тармоқлари тўлиқ куч билан ривожланмасдан туриб ўз ўрнини 4G тармоқларига бўшатиб бериш эҳтимоли пайдо бўлмоқда.

Лекин ҳолисона шунини таъкидлаш керакки, мутахассислар орасида бошқа фикрлар ҳам мавжуд бўлиб, унга мувофиқ ҳолда 3G (аниқроғи 3,5G ва 3,75G) тармоқлари характеристикалари бўйича 4G талабларига яқинлашиб, ҳали узоқ вақтгача мобил алоқа бозорида асосий ўринга эга бўлади.

Параллел равишда кенг полосали симсиз уланиш (КСУ) тизимлари ўзининг кичик зонадаги стационар тармоқларидан (Wi-Fi) бир неча километрли ҳудудларни қоплайдиган мобил тармоқларига (WiMAX) қадар эволюциясида функционал имкониятлари ва характеристикалари

жиҳатидан 4G технологиялари сари ривожланмоқдалар ва бу билан мобил алоқа тармоқларига яқинлашмоқдалар (1-расмга қаранг).



Манба: Samsung Electronics

1-расм. Мобил ва кенг полосали тизимларнинг эволюцияси

Кўриб турганимиздек, мобил ва кенг полосали алоқа тизимлари ва технологиялари улкан ривожланиш жараёнида турибди ҳамда инсон фаолиятининг турли соҳаларига янада кўпроқ кириб бормоқда. Бу жараёнларни чуқур ўрганиш, мобил технологиялар ривожланиши масалаларидан хабардор бўлиш, уларнинг истиқболлари ва ривожланиш тенденцияларини билиш мамлакатимизда мобил алоқа тизимларининг ривожланиши ва жорий этилишининг рационал стратегияларини аниқлаш ҳақинда жуда муҳим. Шундан келиб чиқиб, мустақкам назарий ва амалий билимларга эга малакали мутахассисларни тайёрлаш долзарб масала ҳисобланади ва «назарийёт - амалиёт» боғловини пухталашга хизмат қилади.

Ўқув қўлланмада тўртинчи авлод мобил ва кенг полосали алоқа тизимлари, уларнинг мобил тизимлар ривожланишининг умумий занжиридаги тутган ўрни таҳлил этилган, мазкур алоқа турида каналларни ажратиш, модуляция ва кодлаш технологиялари, адаптив антенна тизимлари қўлланишлари ўрганилган. Қўлланмада, шунингдек, мавзуни чуқурроқ ўрганиш учун фойдаланиш мумкин бўлган кўп сонли ахборотлар манбаларига ҳаволалар ҳам берилган.

1-боб. 4G АВЛОД ТЕХНОЛОГИЯЛАРИНИНГ РИВОЖЛАНИШИ УЧУН ШАРТ-ШАРОИТЛАР

1.1. Тўртинчи авлод мобил ва кенг полосали алоқа тизимларининг ривожланиш тарихи

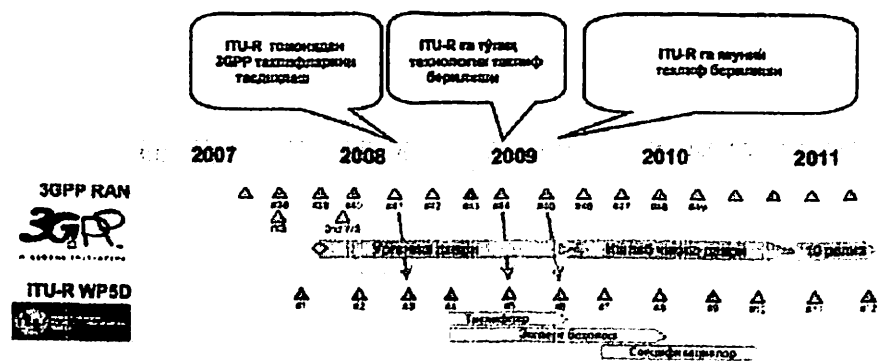
Алоқа тизимларининг замонавий ривожланишини турли жараёнлар, чунончи: бир томондан, стационар ва мобил тармоқларнинг бирлашиши (конвергенция, интернетга мобил уланиш, IP-телефония), бошқа томондан, алоқа тармоқларининг глобаллаштирилиши (микросоталардан макросоталарга ва йўлдошли тармоқларга) ва, ниҳоят, абонент терминалларининг универсаллаштирилиши (3G, 4G ҳар хил тармоқларида ишлай оладиган кўп тизимли, кўп режимли ва кўп функцияли “ақлли телефонлар” - смартфонлар) орқали ифодалаш мумкин. Ягона глобал тармоқ инфратузилмасини яратиш ғояси аслида анча аввалдан мавжуд бўлиб, “ИМТ-2000” Дастури доирасида симсиз уланиш, сотали ва сунғий йўлдошли алоқа универсал тизимларининг янги авлодини яратиш концепцияси илгари сурилган эди¹. Ягона халқаро стандарт яратишнинг асосий ғоясида юқори функционал имкониятларга эга бўлган ва шу билан бирга қиммат бўлмаган портатив терминаллар ёрдамида хизматлар таклиф этиш кўзда тутилган эди. Маълумки, учинчи авлод тизимлари даражасида ушбу мақсадга эришиш мумкин бўлмади, лекин ИМТ-2000 доирасида бу йўналишдаги ишлар тўхтаб қолмади ва стандартларни бирлаштириш бўйича янги ғоялар ИМТ-Advanced² номини олган тўртинчи авлод тармоқларини яратиш дастурида ўз аксини топди. 2009 йилнинг 7 октябрида 3GPP ҳамкорлик лойиҳаси ИМТ-Advanced дастури таркибига киритиш учун LTE-Advanced (3GPP 10 - Релизи) технологиясини расман тақдим қилди. Бу тақдимот барча 3GPP ва 3GPP-2 ҳамкорлик ташкилотлари: ARIB, АПА, CCSA, ETSI, ТТА ва ТТС томонларидан

¹ **ИМТ-2000** (ингл. *International Mobile Telecommunications*) – Халқаро Телекоммуникация Иттифоқи (ХТИ) доирасида ер усти ва йўлдошли алоқа орқали тўлиқ хизматлар туркуми ишлатиладиган миллий, регионал ва халқаро тизимларни яратиш, стандартлаштириш ва жорий этилишини қўллаб-қувватлайдиган узоқ муддатли дастурнинг номи. ИМТ-2000 доирасида 3G мобил алоқа стандартларини ривожлантириш учун иккита 3GPP ва 3GPP-2 (ингл. *3G Partnership Project*) ҳамкорлик лойиҳалари яратилган. Бу лойиҳаларнинг мақсади иккинчи авлод тармоқларини 3G даражасигача эволюцион ривожлантириш учун стандартлар ва спецификацияларни ишлаб чиқишдан иборат эди. 3GPP лойиҳаси таркибига ETSI (Европа), ARIB (Япония), T1 ANSI қўмитаси (АҚШ), ТТС (Япония), ТТА (Жанубий Корёя) ва CCSA (Хитой) каби институтлар ва ташкилотлар кирди. 3GPP-2 таркибига эса ТТА (АҚШ алоқа саноатининг ассоциацияси) ва 3GPP бўйича маълум бўлган ARIB, ТТС, ТТА ва CCSA институтлари кирди [3].

² Ҳозирги кунда ИМТ-2000 ва ИМТ Advanced дастурлари ягона ИМТ дастурига бирлашган.

қилинган эди. LTE-Advanced технологияси спецификацияларини ишлаб чиқиш бўйича ишлар 2010-2011 йиллар давомида бажарилди.

Параллел равишда кенг полосали симсиз технологиялар ривожлана борди. Симсиз тармоқлар стандартларини яратиш соҳасидаги бошланғич нукта сифатида IEEE³ ташкилоти томонидан 1990 йилда 802.11 кўмитасининг ташкил этилиши ҳисобланади. Мазкур кўмита “Wi-Fi” тижорат номини олган симсиз локал тармоқларини яратиш билан шуғулланади. Wi-Fi ilk тизимларида 100 метргача бўлган масофаларда 2Mbit/sec гача бўлган маълумот узатиш тезлиги таъминланар эди. Бугунги кунда ушбу технологиянинг янги стандартлари (IEEE 802.11n) 300 Mbit/sec гача тезликни бир неча юзлаб метр масофаларгача таъминлашга қодир. Wi-Fi технологияси ўзининг янги IEEE 802.11ac версияси билан 4G таркибига киришликка номзод деб баҳоланмоқда.



1.1- расм. ITU-R томонидан 3GPP релизларини тасдиқлаштиш жадваллари

Интернет тармоғининг ривожланиши ва симсиз алоқа ёрдамида глобал тармоқларга уланиш ғояси симсиз технологияларнинг ривожланишига катта туртки бўлди. 2005 йилга келиб, симсиз Интернетдан фойдаланувчилар сони ўнлаб миллионларни ташкил этди. Шу боис ўтган асрнинг 90-йиллари охирига келиб йирик телекоммуникация компаниялари томонидан кўп сонли корпоратив (яъни, умумий стандарт асосида тузилмаган) технологик ечимлар ишлаб чиқилди. У даврда бу технологиялар бир-бирига мос бўлмасда, аммо бу жараён Wi-Fi тизимларининг кенг ривожлантириш ғоясининг самаралилигини тасдиқлади. Шу билан бирга Wi-Fi тизимлари “сўнги миля”⁴ муаммосини

³ IEEE – инг. *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (Электр ва электроника бўйича муҳандислар институти) симли ва симсиз ахборот узатиш тармоқлари соҳасида стандартлар ишлаб чиқиш билан шуғулланади. Булар орасида - 802.3 (Ethernet), 802.11 (Wi-Fi), 802.15 (Bluetooth), 802.16 (WiMAX) и ва бошқа стандартлар.

⁴ «Сўнги миля» деб абонент ускунасини провайдернинг (алоқа операторининг) уланиш нуктаси билан боғловчи канал тушунилади. Масалан, Интернет тармоғига

ҳал қила олмасликлари ҳам маълум бўлди. Бу ҳол эса 2003 йилда қатор компаниялар томонидан асосий вазифаси (уз номидан келиб чиққан ҳолда) турли ишлаб чиқарувчилар томонидан таклиф этилган ечимларнинг ўзаро мослашувини таъминлашдан иборат бўлган WiMAX форумининг (ингл. *WiMAX Forum*) ташкил этилишига сабаб бўлди. WiMAX форуми ўз олдига стандартлар базасини яратиш мақсадини эмас, балки жиҳозларни сертификатлаштириш вазифасини қўйди, янги технологияларни стандартлаштириш эса IEEE доирасида олиб борилди. 2005 йилда ахборот ҳамжамиятининг Умумжаҳон саммити (ингл. *World Summit on Information Society, WSIS*) WiMAX технологияси зиммасига юклатилган вазифаларни қуйидагича шакллантирди:

1. WiMAX ёрдамида унча катта бўлмаган аҳоли яшаш жойлари, олис ҳудудлар ва ажралиб қолган жойларнинг ахборот ва коммуникация технологиялари хизматларига улаш. Бунда ривожланаётган мамлакатларда аҳолиси сони 100 кишидан ортиқ бўлган 1,5 миллион аҳоли яшаш жойлари телефон тармоқларига умуман уланмаганлиги ва йирик шаҳарлар билан кабелли алоқага эга эмаслиги ҳисобга олиниши керак.

2. WiMAX ёрдамида фойдаланувчи ўзи етиши мумкин бўлган ҳудудда ер юзининг ярмидан кўп аҳолисига ахборот ва коммуникация технологиялари хизматларини таъминлаш. Бунда 2005 йилда Интернетдан фойдаланувчиларнинг умумий сони тахминан 960 миллион кишини ёки дунёнинг умумий аҳолисининг 14,5 фоизини ташкил этишини ҳисобга олиниши лозим.

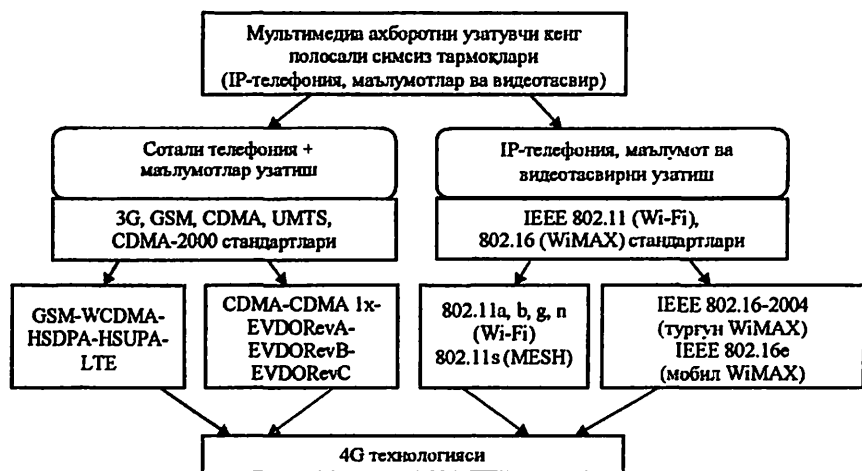
Юклатилган вазифаларни ҳисобга олган ҳолда WiMAX технологиясининг яратишдан асосий мақсад кенг спектрли ускуналар (компьютерлар, “ақли уй” маиший техникаси, портатив ускуналар ва мобил телефонлар) ва уларнинг манتيқий бирлашмаси – локал тармоқлар билан универсал симсиз уланишни тақдим этиш бўлиб қолди.

WiMAX технологиясига мансуб стандартлар «IEEE 802.16» белгисини олди. Улардан биринчиси - IEEE 802.16.2002 ҳатто WiMAX Форуми ташкил этилишидан олдин қабул қилинган эди. Бугунги кунда WiMAX нинг асосий стандартлари бу 2004 ва 2005 йилларда ўзаро мувофиқлаштириб қабул қилинган икки бир-биридан фарқланувчи версиялари мавжуд: яъни IEEE802.16-2004 –“турғун” симсиз уланиш стандарти ва IEEE802.16-2005 - стандартнинг “мобил” варианты.

Шу орада, мобил алоқа дунёсининг йирик операторлари ва жиҳозлар ишлаб чиқарувчилар биргаликда янги 4G технологияларини ва уларнинг реал функционал имкониятларини аниқлаш мақсадида синовлар ўтказдилар. 2005 йилдаёқ, Япониянинг йирик оператори - NTT DoCoMo, мобил алоқа янги стандарти билан ишлашдаги ютуқларини хабар қилди, яъни симсиз каналлар бўйича 100Mbit/sek тезликда маълумот узатиш бўйича муваффақиятли тажрибалар ўтказди. 2006 йилнинг иккинчи

уланишда сўнги миля деб провайдернинг коммутатори портидан то абонентнинг маршрутизатори портигача бўлган қисм назарда тутилади.

ярмида йирик миллий ва халқаро операторлар кейинги авлод мобил тармоқларини яратиш бўйича расмий ҳамкорликни бошладилар. “Next Generation Mobile Network Cooperation” (NGMNC) номини олган ишчи гуруҳ тўртинчи авлод мобил тармоқлари олдига қўйиладиган талабларини аниқлаш учун бутун дунёнинг GSM ва CDMA операторларини биргаликда тўплади. Гуруҳнинг асосий аъзолари Sprint Nextel (АҚШ), Т-Mobile (Германия), Vodafone (Буюк Британия), KPN (Голландия) ва Orange (Франция) компаниялари бўлди, кейинчалик эса уларга NTT DoCoMo (Япония) ва China Mobile (Хитой) компаниялари қўшилдилар. Гуруҳнинг бош технологик вазифаларидан бири барча 3G технологияларининг, хусусан UMTS ва EV-DO тизимларининг, 4G даражасига аста-секин ўтишини таъминлаш бўлди (1.2-расм).



1.2-расм. Турли технологияларни 4G томонга ривожлантириш стратегиялари

Янги мобил алоқа тизимларига ўтишга тайёргарлик ишлари турли ҳудудларда ўзига хос тарзда бормоқда. Бу жараёнда Хитойда ишлар қандай боргани анча қизиқарлидир. У ерда 3G дан 4Gга ўтиш бўйича тадқиқот лойиҳаси 2001 йилдан ишга тушган. 2007 йилда Шанхайнинг Чангнинг туманида бир неча ойлик синовлардан сўнг, ўша давр учун “оламшумул” бўлган 100Mbit/sek тезликда маълумотларни симсиз узатишни таъминлайдиган мобил алоқа тармоғи дунёда биринчи марта расмий ишга туширилди (бундай тезликлар ўша вақтда фақат оптик толали технологияларда олинадди). Таъкидлаш лозимки, 4G тармоқларининг Хитойда кенг ривожланиши Олимпиада-2008 туфайли қўллаб-қувватланди.

Европада ҳам тўртинчи авлод мобил алоқа тармоқларини ривожланиш жараёнига фаол киришилди. Бу ерда гарчи WiMAX

тармоқлари ҳам жорий этилган бўлса-да, бошиданок асосий эътибор LTE технологиясига қаратилди. LTE технологиясини ривожлантириш лойиҳасида йирик Европа операторларидан T-Mobile, Vodafone Group ва Orange, шунингдек, мобил жиҳозлар ишлаб чиқарувчи Alcatel Lucent, Nokia Siemens Networks, Nortel Networks ва Ericsson компаниялари фаол қатнашдилар. LTE тизимини тест равишда ишга тушириш 2007 йилнинг майида бошланди. LTE тармоғини биринчи марта тижорий ишга туширилиши эса 2009 йилнинг декабрида швед-фин TeliaSonera оператори томонидан Ericsson жиҳозлари асосида Стокгольм (Швеция) ва Осло (Норвегия) шаҳарларида амалга оширди. Дарвоқе, бу сана “LTE эрасининг” бошланиши деб ҳисобланади.

АҚШда эса Sprint-Nextel мобил алоқа оператори 3G тармоқларидан воз кечиб, биринчилар қаторида WiMAX асосида 4G тармоқларини яратишга киришди. Ҳозирги кунда компания тармоқлари қарийб бутун мамлакат ҳудудини қамраб олган, шу боис Sprint-Nextel нисбатан хотиржамлик билан технологиялар нуқтаи назаридан ўз келажагини режалаштиришга қодирдир. Яъни, у ёки WiMAXни ривожлантиришни давом эттиради (янги IEEE802.16m стандартига ўтган ҳолда), ёки LTE томон «оғишни» бошлайди. Бошқа бир мисол, бошиданок LTEга асосланган Verizon Wireless компаниясининг тармоғи. Мазкур компания анча қизиқ бўлган 700MGs диапазонида бошидан LTE технологиясига асосланиб тармоқлар яратмоқда. Фаолиятини Бостон ва Сизтл шаҳарларида синов ҳудудларидан бошлаган компания, 2013 йил давомида АҚШнинг деярли бутун ҳудудини LTE тармоғи билан қоплади.

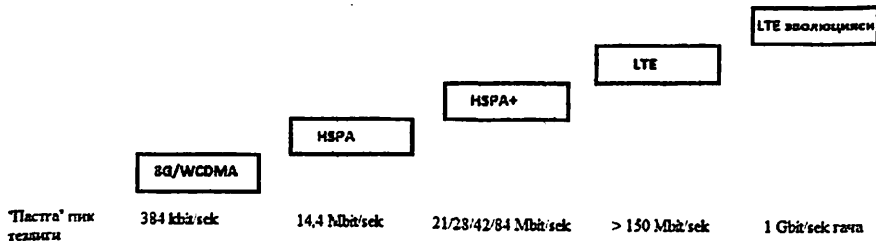
МДҲ давлатлари ҳам бу борада ортида қолмадилар. Масалан, Россияда, 2011 йилнинг апрелидан бошлаб «катта учлик» (Билайн, Мегафон ва МТС компаниялари) ҳамда Ростелеком компаниси иштирокида мамлакатнинг тўртта регионида LTE тармоқларининг синов ҳудудлари ишга туширилди. WiMAX тармоқлари бу ерда 2007 йилдан бошлаб фаолият юритмоқда. Энг йирик оператор - Yota компанияси эса 2011 йилнинг биринчи чораги натижаларига кўра Москва шаҳри ва Москва вилоятининг қисми, Санкт-Петербург шаҳри ва Ленинград вилоятининг қисми, Краснодар, Сочи ва Уфа шаҳарлари ҳудудларида 700 мингдан ортиқ абонентга КСУ хизматларини кўрсатмоқда. Аммо Yотада ҳам LTE каби «оппонент» пайдо бўлганидан ташвишга тушиб, 2010 йилдан бошлаб параллел равишда LTE тармоқларини ҳам тадбиқ қилишга киришдилар ва аввал Қозон шаҳрида, сўнгра Россиянинг бошқа марказий шаҳарларида бу технологияни ривожлантирмоқдалар.

Украинада 2007 йилнинг IV чорагида бирданига тўртта компания WiMAX технологияси асосида мамлакатнинг бир нечта йирик шаҳарларида тўртинчи авлод алоқа хизматларини тақдим этишнинг бошланишини эълон қилган эди. Украинада LTE тармоқларини жорий этиш 2011 йилдан бошланди. LTE тармоқларини кенг тарқатиш юзасидан Арманистон, Қозоғистон, Озарбайжон ва Белоруссия ҳам ўз розилигини билдиришган.

Ўзбекистонда 4G томонга ривожланиш иккала йўналишда ҳам амалга ошмоқда: кенг полосали симсиз уланиш тизимлари ҳам, мобил алоқа тизимлари ҳам динамик равишда ривожланмоқда. Биринчи WiMAX тармоғи Тошкент шаҳрида 2007 йилда ишлаб бошлаган ва 2010 йилнинг мартида унинг умумий абонентлар сони 12 минг кишидан ошиб, мамлакатнинг бта шаҳарида уланиш нуқталарига эга бўлди. 2010 йил 28 июлда биринчи LTE тармоғи “МТС Ўзбекистон” компанияси томонидан ишга туширилди. Шу йилнинг 9 августида UCell компанияси ҳам ўзининг LTE тармоғини ишга туширди. Дарвоқе, Ўзбекистон дунё миқёсида LTE тармоғини ишга туширган учинчи давлат деб тан олинган [1].

1.2. 4G авлод тизимлари ҳақида асосий тушунчалар

4G оиласига мобил алоқа тармоқларида 100Mbit/sek дан ортик тезликда маълумотларни узатишга имкон берадиган технологияларни киритиш кўзда тутилган. Кенг маънода 4G - бу яна маълумот узатувчи умумий уланиш тармоқларига (масалан, Интернетга), шунингдек Wi-Fi (унинг янги стандартлари) ва WiMAX (назарий жиҳатдан бу стандартда тезлик 1Gbit/sek дан ортиши мумкин) тармоқларига кенг полосали симсиз уланиш технологияларидир. Киёслаб кўрилса, ҳозирги кунда дунёда кенг тарқалган GSM/EDGE (2G/2,5G) сотали алоқа стандартида маълумотларни узатиш тезлиги 384kbit/sek ни ташкил этади. Асосан Европа, АҚШ ва Осиёнинг бир неча мамлакатларида (Япония, Тайвань, Сингапур) кенг тарқалган 3,5G авлод тармоқларида тезлик 7-14,4Mbit/sek гача етиб боради (1.3–расм).



1.3-расм. Мобил алоқа технологияларида маълумот узатиш тезликларининг эволюцияси

Тўртинчи авлод тизимларини аввалги 3G тизимларидан асосий фарқи шундаки, бу технологиялар маълумотларни тўлиқ пакетли узатиш протоколларига асосланган, 3G тизимлари эса ўзида ҳам нутқ, ҳам пакет трафигини узатиш протоколларини бирлаштирган. эди. ХТИ 4G тизимларини узатувчи ва қабул қилувчи ўртасидаги маълумот алмашиш тезлигини тўлиқ ҳаракат шароитида 100Mbit/sek гача, чекланган ҳаракат шароитида эса (узатувчи ёки қабул қилувчи тарафидан) 1Gbit/sek гача

тезликка эришиш имконини берадиган симсиз алоқа технологиялари деб ҳисоблайди. 4G тизимларида маълумот узатиш IPv6 (IP протоколининг 6-версияси) протоколи асосида амалга оширилади ва бу тармоқларнинг ўзаро ишлашини, айниқса, агар улар турли технологияларга мансуб бўлганда, сезиларли равишда осонлаштиради. Истиқболда юқорида кўрсатилган маълумот узатиш тезликларини таъминлаш учун 40 ва 60GHz диапазонлардаги юқори частоталардан фойдаланиш кўзда тутилади. Аммо яқин келажакда 4G тармоқлари кўпроқ 10 GHz дан пастки диапазондан фойдаланади.

4G учун қабул қилиш/узатиш жиҳозлари яратувчилари радиоинтерфейс даражасида рақамли радиоэшиттиришда синалган частоталарни ортогонал равишда ажратиш йўли билан мультиплекслаш - OFDM технологиясини қўллашди. Сигналларни манипуляциялашнинг ушбу усули маълумотларни ўзаро ҳалақитларсиз ва бузилишларсиз ҳам частота, ҳам вақт жиҳатдан сезиларли даражада “сиқиш” имкониятини беради. Бунда частоталар ортогоноллиққа риоя қилинган ҳолда бўлиб чиқилади: яъни ҳар бир элтувчи тўлқиннинг амплитуда максимуми қўшни элтувчиларнинг амплитуда нолига (ёки минимумига) тенг бўлади. Бунда уларнинг ўзаро таъсири (каналлараро интерференция) юзга келмайди, шунингдек, частота спектри нисбатан самарали ишлатилади, чунки интерференцияга қарши химоя полосалари керак бўлмайди. Сигнални узатиш учун алоқанинг юқори ишончилигини таъминловчи фазани суриш модуляцияси (PSK ва унинг турли кўринишлари) ёки каналнинг ўтказиш қобилиятидан максимал фойдаланишга имкон берадиган ва замонавийроқ бўлган квадратура-амплитудавий модуляция (QAM) қўлланилади. Аниқ модуляция тури талаб қилинадиган тезлик ва қабул қилиш шароитларига боғлиқ равишда тармоқ томонидан динамик ҳолда танланади. Узатишда сигнал маълум сонли параллел оқимларга бўлинади ва қабул қилишда бу оқимлар тескари равишда битта сигналга йиғилади.

Ўта юқори частоталарда ишончли узатиш ва қабул қилиш учун 4G тармоқларида адаптив антенналар тизими (ААТ) ҳамда кўплаб қабул қилиш ва узатиш (ММО) технологиясидан фойдаланиш режалаштирилган. Гарчи шаҳар шароитида ААТ тизимларига сигнални тўғри йўналишини аниқлашга сигналнинг сўниши (сигнал тарқалишида вужудга келадиган бузилишлар) ҳалақит берса-да, лекин OFDM нинг сўнишларга ва “кўпнурлилиққа” нисбатан барқарорлик хусусияти бу вазиятдан қутқаради. OFDM технологияси таянч станция (ТС) ва абонент ускунаси (АУ) орасида тўғри кўриниш бўлмаган шароитларда ҳам яхши ишлайди.

1.3. 4G авлодини ташкил этувчи технологиялар

Мобил ва кенг полосали алоқа тизимларининг тўртинчи авлоди - 4G, аввало, маълумот узатишнинг юқори тезлиги ва нутқли алоқанинг сифатининг юқорилилиги билан тавсифланади. Юқорида

таъкидланганидек, мобил ва кенг полосали алоқа тизимларининг тўртинчи авлодига 100Mbit/секдан ортиқ тезликда маълумот узатиш имконини берадиган технологиялар киради. Бугунги кунда назарий жиҳатдан маълумотларни узатиш тезлиги 1Gbit/сек. гача бўлган КСУ тизимларидан Wi-Fi (IEEE 802.11ас стандарти) ва WiMAX (IEEE 802.16m стандарти), шунингдек, мобил алоқа технологияси - LTE (аникроғи унинг такомиллаштирилган варианты LTE-Advanced) 4G таркибига кириш имкониятига эгадирлар. Wi-Fi ва WiMAX КСУ технологиялари кўплаб умумий жиҳатларга эгаллиги сабабли, мазкур қўлланмада биз Wi-Fi технологиясининг фақат қисқа баёни билан чегараланамиз ва асосий эътиборни LTE ҳамда WiMAX технологиялари таҳлилига қаратамиз.

1.3.1. LTE технологияси

3GPP Long Term Evolution (3GPP LTE, инглизчадан “3GPPнинг узоқ муддатли ривожланиш лойиҳаси”) - маълумот узатиш тезлиги бўйича келгусидаги талабларни қондиришга қаратилган UMTS стандартини такомиллаштириш лойиҳасининг тўлиқ номидир. Ушбу такомиллаштиришлар, масалан, тизимнинг самарадорлигини ошириш, жавоб кечикишини қисқартириш, кўрсатилаётган хизматлар турини кенгайтириш, шунингдек, мавжуд мобил алоқа технологиялари билан интеграцияни яхшилаш бўлиши мумкин.

3GPP LTE стандартида маълумот узатиш тезлиги назарий жиҳатдан “пастрга” линияда (ингл. *Download*) 326,4Mbit/сек гача, “юқорига” линияда эса (ингл. *Upload*) 172,8Mbit/сек гача етиши мумкин (3GPPнинг 8 релизи учун)⁵. Шунингдек, LTE тизимида жавобнинг кечикиш вақтини (яъни сўровни жўнатиш ва жавобни олиш орасидаги вақт) қисқартиришга эришилди. LTE тизимида полосанинг ишчи кенглиги ўзгарувчан бўлиб, у 1,25MGs дан 20MGs гача бўлиши мумкин (тармоқ 450MGs дан 2,6GGs гача бўлган кенг частоталар диапазонда ишлай олади). LTE тўлиқ каналларни пакетли коммутациялаш асосида қурилади, икталиқ узатиш режими (ингл. *Dual Transfer Mode - DTM*) эса бир вақтнинг ўзида нутқ ва маълумот узатиш имконини беради.

LTE технологияси мавжуд сотали алоқа тармоқлари учун тўртинчи авлод сари эволюцион ўтишни таъминлаши ва операторларга тезлиги юқори ва унумдор кенг полосали уланиш мобил тармоқларини яратиш имконини бериши, шу билан бирга, нафақат уланиш тезлигини ошириш, балки вазифалар туркумини ҳам кенгайтиришга имкон бериши кутилмоқда.

⁵ LTE лойиҳаси доирасида ҳам турғун, ҳам ҳаракатдаги абонентлар учун лаборатория ва шаҳар шароитларида 108Mbit/сек га тенг сигнал ўтказиш қобилиятига эришилди.

1.3.2. WiMAX технологияси

Worldwide Interoperability for Microwave Acces (WiMAX, инглизчадан, *ЎЮЧ диапазонида уланиш бўйича бутун дунё ҳамкорлиги*) - бу IEEE институти (802.16 гуруҳи) томонидан стандартлаштирилган катта масофаларда “сўнгги миля” муаммосини альтернатив ечими сифатида қайд қилинган симли линиялар ва кабель технологияларини тўлдирувчи кенг полосали симсиз уланиш технологиясидир. WiMAX технологиясидан шаҳар миқёсида кенг полосали уланиш тармоқларини (ингл. *Metropolitan Area Networks, MAN*) яратиш, симсиз уланиш нуқталарини ташкил қилиш (“нуқта - кўп нуқта” режими), бир-биридан олис объектлар орасида юқори сифатли алоқа ташкил этиш (“нуқта - нуқта” режими) ва шунга ўхшаш масалаларни ечиш учун фойдаланиш мумкин.

Умуман олганда, IEEE 802.16 стандартининг таянч характеристикалари 50 километргача бўлган таъсирнинг узоклиги даражасини, тўғри кўриниш зонасидан ташқарида ишлаш имкониятини, ТС нинг бир секторида (жами ТС 6 тагача секторга эга бўлиши мумкин) маълумот алмашув тезлигини максимал (пик) ҳолатда 70Mbit/секгача кўтарилишини кўзда тутди. WiMAX тармоқларининг жиҳозлари 2 - 11GGs диапазонида 10-20MGs кенгликдаги бир неча каналларда ишлаши мумкин. Частота диапазонларнинг бунчалик кенг танланиши дунёнинг кўплаб мамлакатлари спецификация (тавсифнома)ларини ҳисобга олиш учун қилинган.

Шундай қилиб, WiMAX маълумот узатиш тезлиги бўйича симли тармоқлар билан таққослана оладиган ва унумдорлик ҳамда қоплаш бўйича замонавий Wi-Fi тармоқларидан юқорироқ бўлган Интернетга тезкор уланиш учун яратилган технология ҳисобланади. Ўз навбатида, айнан Wi-Fi локал тармоқлари ёки фойдаланувчиларнинг турли тижорат ва маиший симли тармоқлари WiMAX “магистрал тармоқлари”нинг давоми бўлиб хизмат қилиши мумкин. Идеал ҳолатда, WiMAX, соҳа стандартларига асосланган бўлиб, шаҳарлар ва қишлоқларда уй фойдаланувчилари, корхоналар ва мобил симсиз тармоқлар учун юқори тезликдаги, шу билан бирга, нисбатан қиммат бўлмаган алоқани ташкил этиш учун ишлаб чиқилган технология ҳисобланади.

1.4. Мобил ва кенг полосали алоқа тизимларини ривожланиш истиқболлари ва замонавий тенденциялари

Ҳозирги кунда замонавий мобил ва кенг полосали алоқа тизимлари ўзининг ривожланишида ҳақиқий “сакраш”ни бошидан кечиряпти. Маълумотларни мобил тарзда узатишда ўсаётган талаб, хусусан, ташқи USB-адаптерлар, портатив компьютерлар учун ичига ўрнатиладиган ечимлар ва iPhone сифат смартфонларни пайдо бўлиши маълумот узатиш тезлигини мобил алоқа операторлари кўзда тутганидан кўра анча юқорироқ кўрсаткичларда ва нисбатан яқинроқ вақтда талаб қилмоқда.

Кўплаб операторлар бугун дастлабки 4G тармоқларига ўтиш заруратига тўқнашмоқдалар. Масалан, TeliaSonera, China Mobile, NTT DoCoMo ва Verizon каби жаҳоннинг йирик операторлари LTE тармоқларини ишга тушириш ва кенгайтириш бўйича фаол иш олиб бормоқдалар.

4G технологияларидаги маълумотларни улкан ҳажмларда узатишнинг янги имкониятлари мобил контент етказиб берувчиларининг ўз бизнесларини кенгайтиришига ҳам туртки бўлмоқда. Агар ҳозирги кунда бу бозорда асосий “товар” мусиқа, клиплар ва оддий ўйинлар бўлса, 4Gнинг пайдо бўлиши билан мобил телевидение, “буюртмали видео” (ингл. “Video on demand”–VOD), “илгор” ўйинлар кабилар долзарб бўлиши кутилмоқда. Бундан ташқари, 4G туфайли мобил видеоконференциялар (видеочатлар) ва мобил бир даражали тармоқлар (ингл. “Peer-to-peer”) яратиш мумкин бўлади. Таҳлилларга қараганда, мобил ТВ хизматлари келгусида ўйинлар ва ҳатто мусиқага қараганда ҳам анча катта фойда келтириши мумкин.

1.4.1. LTE технологиясининг яқин йиллардаги ривожланиш истиқболлари

LTE технологиясининг ривожланиши фаол давом этмоқда. GSA ассоциациясининг ҳисобларига кўра, 2011 йилда LTE тармоқларини жорий этиш бўйича ўз ниятларини билдирган мобил алоқа операторларининг сони 60та давлатдаги 184 та компанияни ташкил этди [1]. GSA ҳисоботида, шунингдек, LTE тизимларининг дастлабки синовини ўтказишга қарор қилган 20 та мамлакатдан 54 та компания–операторлар кўрсатилган бўлиб, улар ҳам кейинчалик тижорат тармоқларини яратиш эҳтимолини билдиришган.

Шу билан бир пайтда, LTE-Advanced деб номланган навбатдаги авлод стандарти спецификациялари ҳам яратилмоқда. 3GPPни 8-релизи устидаги ишлар якунини кутмасдан, кўплаб етакчи ишлаб чиқарувчилар ўзларининг LTE ни қўллаб-қувватлайдиган ускуналарининг дастлабки тажриба намуналарини тақдим этдмоқдалар. Масалан, 2007 йилнинг февралда Ericsson компанияси дунёда биринчи марта маълумотларни 144Mbit/sek узатиш тезлигига эга LTE жиҳозининг ишини намойиш этган эди. 2007 йилнинг сентябрида эса NTT DoCoMo компанияси 200Mbit/sek тезликни ва 100mVt дан ортиқ бўлмаган истеъмол қувватини таъминлайдиган жиҳозни тақдим этди. 2008 йилнинг апрелида LG ва Nortel корпорациялари мобил абонентлар 110km/soat тезликда ҳаракатланганда 50Mbit/sek ўтказиш қобилиятига эга бўлган LTE ускунасини намойиш қилди. 2008 йилнинг 18 сентябрида T-Mobile мобил оператори ва Nortel Networks компанияси “пастга” канал учун 170 Mbit/sek, “юқорига” канал учун эса 50Mbit/sek тезликларга эришганлиги ҳақида эълон қилдилар. Синовлар ўртача 67km/soat ўртача тезликдаги автомобилда учта ТС таъсир ҳудудларида ўтказилган эди. LTE технологияларининг кейинги ривожланиши янги 3GPPни 10 релизи (LTE-

Advanced) устида ишлаш доирасида давом этади. Бугунги кунда LTE-Advanced стандартидаги барча асосий талаблар шакллантириб бўлинган [4]. Аслида улар тўртинчи авлод технологиялари олдига қўйилган куйидаги талаблардир:

- маълумот узатиш максимал тезлиги “пастга” радиоканалда 1Gbit/sek гача, “юқорига” радиоканалда эса 500Mbit/sek гача бўлиши керак (бир абонент учун ўртача ўтказиш қобилияти LTE (8 Релиз) стандартига нисбатан уч маротаба юқори);

- ўтказиш полосаси “пастга” радиоканалда 70MGs гача, “юқорига” радиоканалда эса 40MGs гача;

- спектрдан фойдаланишнинг максимал самарадорлиги “пастга” радиоканалда 30 bit/sek/Gs, “юқорига” каналда эса 15bit/sek/Gs (LTE (8 Релиз) га нисбатан 3 маротаба юқори);

- LTE ва бошқа 3GPP тизимлари билан тўла мослашиш ва ўзаро ишлай олиш.

Бу масалаларни ечиш учун кенгрок каналлардан фойдаланиш (100MGs гача) [5], частотавий дуплекс (FDD) ҳолатида “юқорига” ва “пастга” каналлар орасидаги ўтказиш полосасини ассиметрик ажратиш; кодлаш ва хатоларни коррекциялашнинг такомиллаштирилган тизимлари; “юқорига” канал учун OFDMA ва SC-FDMA гибрид технологиялари, шунингдек, антенна тизимлари соҳасида илғор ечимлар (MIMO каби) ишлатилиши кўзда тутилган.

Кўриниб турибдики, бугунги кунда LTE технологияси кескин ривожланиш босқичида турибди. Деярли ҳар ой стандартларнинг ўзида ҳам ўзгаришлар бўлмоқда⁶. LTE спецификацияларида ҳам тўлдирилмаган жойлар, чала ишлар ва ноаниқликлар ҳали етарли, шунинг учун тармоқ архитектурасида ҳам янги ҳужжатларнинг пайдо бўлишини кутиш мумкин.

1.4.2. WiMAX технологиясининг яқин йиллардаги ривожланиш истиқболлари

Ҳозирги кунда асосан IEEE 802.16.2004 ва IEEE 802.16e версиялари орқали маълум бўлган WiMAX стандарти кабелли тармоқлар даражасидаги юқори ўтказиш қобилиятини ва катта радиусли ҳудудда кенг полосали уланишни таъминлайдиган симсиз алоқа технологиясидир. WiMAX жиҳозлари 2 – 11 GGs диапазонида 10MGs кенгликдаги бир нечта каналларда ишлайди. Турли давлатларда частоталарнинг ўзига хос тарзда тақсимланиши WiMAX технологиясидан ҳар хил диапазонларда ишлаш имконияти заруратини тақозо этади. Масалан, WiMAX учун Шимолий Америкада 2,5GGs ва 5GGs диапазонлари, Марказий ва Жанубий Америкада 2,5GGs; 3,5GGs ва 5GGs диапазонлари, Яқин Шарқ, Африка, Ғарбий ва Шарқий Европада 3,5GGs ва 5GGs диапазонлари, Осиё ва Тинч

⁶ 2010 йилнинг октябрида ХТИ расмий равишда LTE-Advanced стандартини IMT-Advanced, яъни 4G технологияси сифатида қабул қилди.

океан региониди эса 2,3GGs; 3,5GGs ва 5GGs диапазонларидаги частоталар ишлатилиши кўзда тутилган.

Реал тизимларда IEEE 802.16 стандартининг барча режимлари ва имкониятлари ҳали ўз ифодасини топмаган бўлса-да, янги технология ишламоқда ва ривожланмоқда. IEEE 802.16 стандартидаги OFDMA TDD режимини симсиз алоқа глобал стандартлари - IMT-2000 (*IMT-2000 OFDMA TDD WMAN*) таркибига киритиш ҳақидаги ХТИ нинг 2007 йилнинг 19 октябридаги қарори бунинг тасдиғидир [6]. Шуни ёддан чиқармаслик керакки, WiMAX фақат технология сифатидагина эмас, балки ахборот фазосини қуришдаги янги ёндашув сифатида ҳам эътироф этилади. Аммо бу технологиянинг келгусида қанчалик муваффақиятли бўлишини мобил алоқанинг истиқболли стандартлари (хусусан, LTE ва LTE Advanced стандартлари) билан рақобат белгилайди ва буни вақт кўрсатади. Ҳозирча WiMAX тармоқлари ўз ривожини давом эттирмоқда, IEEE 802.16 стандартлари ҳам бир жойда турмаяпти. Хусусан, яратилиш ва муҳокама этиш босқичида қатор янги тўлдиришлар турибди. Айти пайтда тизимнинг маълумот алмашиш тезлигини ошириш (100Mbit/sek дан юқори), спектрал самарадорлигини ва алоқа сифатини кўтариш, янги мобиллик (ҳаракат) даражаларини киритиш ва фойдаланувчиларнинг катта гуруҳларини самарали қўллаб-қувватлашни таъминлайдиган янги радиоинтерфейсни кўзда тутган IEEE 802.16m лойиҳаси фаол муҳокама қилинмоқда. Шу билан бирга, IEEE 802.16 Rev2 стандартининг аниқлаштирилган версиясининг пайдо бўлиши ҳам кутилмоқда. Бу версияга кўп ораликли реле тармоқлари бўйича тўлдиришлар (802.16j) ва бошқа қатор ҳужжатлар киради [7].

1.4.3. 4G технологияларининг ривожланиши билан боғлиқ муаммолар

4G технологияларининг шиддатли ривожланишига қарамай, экспертлар уларни ишга туширишда бир қатор тўсиқлар бўлиши мумкинлигини таъкидлашмоқда.

Биринчидан, кўплаб операторлар учун янги частоталар спектрини лицензиялаш керак бўлади, чунки 3G технологияларида сигнални узатиш ва қабул қилиш учун 5MGs полосалар етарли бўлса, LTE ва WiMAX технологияларидаги тезлик афзалликларига эришиш учун камида икки марта кенг полосалар талаб қилинади.

Иккинчидан, шу нарса кўзда тутилмоқдаки, тўртинчи авлод тармоқларини ишга туширишда капитал харажатлар 2G тармоқларидаги ёки 3G тармоқларидаги харажатларга нисбатан анча катта бўлади. Бу асосан ҳозирги кунда фойдаланилаётган транзит (магистрал) каналлар чекланган ўтказиш қобилиятига (1,5 – 2 Mbit/sek) эгаллиги билан тушунтирилади, яъни кўшимча равишда бу каналларни модернизациялаш ҳам талаб қилинади.

Яна бир муаммо шундаки, кўплаб сармоядорлар эҳтиёткорлик қилишмоқда: улар ўз вақтида кўпчилик 3G тармоқларининг

имкониятларини ортиқча баҳоланишидан “куйиб қолиб”, бугунги кунда 4G лойиҳаларидан керакли иқтисодий даромад қайтишига ишончлари йўқ.

Бундан ташқари, бозорда ҳанузгача 4G абонент ускуналари бўйича етарли таклифлар йўқ. Бундай терминаллар жуда катта энергия истеъмол қилади ва замонавий аккумуляторларда узоқ ишлаш олмайди (ҳозир бу каби муаммолар ҳатто 3G терминалларида ҳам мавжуд), яъни янги сифатли аккумуляторлар яратилиши керак бўлади. Шунингдек, Интернетга тезкор уланиш ва ҳар хил видеохизматлар ҳозирги терминаллардагига нисбатан ўлчам бўйича катта ва сифатлироқ дисплейларни талаб қилади.

Бундан ташқари, мутахассислар 4G хизматлари яқин йилларда абонентлар орасида оммавий бўлишига ишонмай турибдилар. Мисол учун, Европада, ҳозир 3G биринчи тармоқлари ишга туширилганига 6-7 йилдан ошган бўлса-да, бу хизматлар ўз имкониятларининг ярми даражасида ишлатилмоқда. (Таҳлилчилар буни учинчи авлод алоқа хизматларига ўрнатилган юқори тарифлар билан боғламоқдалар). Демак, 4Gнинг муваффақиятида ҳам операторларнинг нарх сиёсати муҳим ўрин тутаети. Ҳақиқатан ҳам, фойдаланувчиларнинг ҳаммаси ҳам юқори тезликдаги Интернетга мобил уланиш ва шу билан боғлиқ хизматлардан манфаатдор эмас - кўпчиликка оддий товушли алоқа керак, холос. Шу боис, бир қатор экспертлар тахмин қилганидек, 3G муаммоларини ҳисобга олган ҳолда, тўртинчи авлод технологияларининг телекоммуникация хизматлари бозорига таъсири фақат 2015-2020 йилларга келиб, сезиларли аҳамият касб этади, дейиш мумкин. Баъзи операторлар учинчи авлод тармоқларини жорий этишдан воз кечмаяптилар, фақат “бир авлоддан сакраб ўтиш”га тайёрланиш учун уларнинг қўлланиш миқдосини биров чегараламоқдалар. Айрим ишлаб чиқарувчилар эса турли шароитларда фойдаланувчининг ўзи танлай оладиган уланиш усули имкониятини берадиган 4G доирасидаги мобил ва кенг полосали симсиз тармоқларнинг “чатишмаси” ни яратишни таклиф қилмоқдалар.

Мобил ва кенг полосали технологиялар янги авлодининг ривожланишида таъкидлаб ўтилган муаммоларнинг таъсири қанчалик бўлишини яқин орада биринчи LTE тармоқлари ишлатиб кўрилгач, уларнинг барча кучли ва кучсиз томонлари аниқланганида кўриш мумкин бўлади. Шунингдек, LTE имкониятларини WiMAX ва бошқа технологиялар тавсифлари билан таққослаш ҳам мумкин бўлади.

Назорат саволлари

1. Тўртинчи авлод мобил алоқа (4G) тизимларига тавсиф беринг.
2. 4G авлод таркибига қандай технологиялар киради (ёки кириши тахмин қилинмоқда)?
3. Тўртинчи авлод технологияларининг учинчи авлод технологияларидан асосий фарқлари нимада?
4. 4G тармоқларида қандай кўп сонли уланиш (каналларни мультимплекслаш) технологияси, қандай модуляция усуллари ва антенна технологияларидан фойдаланиш кўзда тутилган?
5. Дунёнинг турли минтақаларида 4G тармоқларнинг ҳозирги ривожланиш ҳолати қандай?
6. 4G тармоқларида қандай иловаларга имконият яратилади? 4G тизимларида қандай контентдан фойдаланиш кўзда тутилган?
7. Ҳозирги ривожланиш босқичида 4G тизимларининг қандай афзалликлари ва камчиликлари мавжуд?
8. LTE тизимларининг қисқача характеристикаларини беринг.
9. Яқин йилларда LTE технологиясининг ривожланиш истиқболлари қандай?
10. WiMAX тизимларининг қисқача характеристикаларини беринг.
11. Яқин йилларда WiMAX тизимларининг ривожланиш истиқболлари қандай?
12. 4G тизимларининг ривожланиши билан боғлиқ қандай муаммолар мавжуд?

2-боб. ҲАРАКАТДАГИ РАДИОАЛОҚА ТИЗИМЛАРИ РИВОЖЛАНИШИНИНГ ТАҲЛИЛИ

2.1. Ҳаракатдаги радиоалоқа тизимлари ривожланишининг тавсифи ва тарихи

Ҳаракатдаги радиоалоқа тизимлари⁷ (ҲРТ) ҳозирги вақтда тақдим этиладиган хизматлар сифати ва ҳажмининг кенгайтирилиши ҳисобига, уларнинг оммавийлашиши ва фойдаланувчиларнинг индивидуал талабларига мослаштирилиши ҳисобига кескин суръатларда ривожланмоқда. Янги имкониятларнинг ишлатилиши ҳам мавжуд тармоқларнинг такомиллаштирилиши ҳисобига, ҳам глобал тармоқ инфратузилмасини яратиш билан боғлиқ янги техник ечимларнинг ишлатилиши ҳисобига таъминланади. Ўз ўрнида ҲРТ тизимлари ҳам конвергенция, универсаллашиш ва ички рақобат жараёнларини бошдан кечирмоқда. Шу аснода, баъзи бир хизмат турлари ўз умрини ўтаб саҳнадан кетмоқда (масалан, “пейджинг” персонал радиочақирув тизимлари), бошқалари ўзининг функционал имкониятлари билан альтернатив хизматларга яқинлашиб бормоқда (масалан, сотали ва транкинг алоқалар), учинчи ҳолатда эса, бир хизмат иккинчисининг бозорини қамраб олмақда (масалан, сотали ва йўлдош алоқа тизимлари) ва ҳоказо. “Ҳохлаган хизматни” (яъни, нутқ, маълумот, мультимедиа хизматлари), “ҳохлаган жойда” (глобал кўламларда) ва “ҳохлаган вақтда” (ишда, уйда, дам олишда, йўлда) тақдим этишга қодир бўлган кўпқамровли алоқа тизимининг концепцияси бугунги кунда муайян қирраларга эга бўлмоқда. Лекин янгисини қуриш учун эскисини билиш зарур бўлгани каби, бу тизимларда бугунги кунда амалга ошаётган жараёнларни яхши тушуниш учун ҲРТ тизимларининг туғилиш манбалари ва ривожланишини ёдга олиш ҳам фойдадан ҳоли эмас. Шу мақсадда мазкур бобда ўз ривожланишини давом эттираётган ҲРТ тизимларига қарашли профессионал мобил алоқа (транкинг), сотали алоқа, йўлдошли алоқа ва симсиз телефония⁸ радиоалоқа турлари билан танишиб чиқамиз.

⁷“Ҳаракатдаги радиоалоқа тизимлари” атамаси русча адабиётларда қуруқликда ҳаракатланувчи радиоалоқа мутахассисларига ва фуқароларга мўлжалланган хизматларини белгилашда кўп қўлланилади. Ушбу китобда бу атама сотали алоқа, транкинг, персонал йўлдошли алоқа ва симсиз телефон радиоалоқа турларининг бирлаштирувчиси сифатида ишлатилган.

⁸ Русча адабиётларда бу алоқа турини номлашда “симсиз уланиш” (беспроводной доступ) атамасини учратиш мумкин. Аммо бу атама ҳозирги вақтда кўпроқ Интернет тармоғига уланишни билдиргани учун, шунингдек, инглиз тилидаги номлашга (cordless telephony) яқинлашиб мақсадида мазкур ўқув қўлланмада “симсиз телефония” атамаси қўлланилди. ҲРТнинг бу турини белгилаш учун баъзи манбаларда “шнурсиз телефон” атамаси ҳам ишлатилади.

2.1.1. Профессинал мобил алоқа тизимлари

Профессинал мобил радиоалоқа (ПМР) тури бугунги кунда транкинг радиоалоқа тизимлари сифатида маълум бўлиб, ХРТ таркибида энг “кекса” ҳисобланади. Бу алоқа тури ўтган асрнинг 30-йилларида пайдо бўлиб, етмиш йилдан ортиқ вақт давомида инсониятга хизмат қилиб келмоқда. Маълумки, ПМР тизимларига жамият хавфсизлиги хизматлари ва ҳуқуқ тартибини муҳофаза қилиш учун турли ваколатли тармоқлар (тез тиббий ёрдам ва фавқулодда вазиятлар бўйича, муниципал ва транспорт хизматлари, йирик индустриал объектлар ва бошқалар) киради. Қабул қилинган халқаро классификация бўйича ПМР тизимларининг икки синфи, яъни профессинал мобил радиоалоқа тизимлари - PMR (ингл. *Professional (Private) Mobile Radio*) ва умумий фойдаланиш мобил радиоалоқа тизимлари - PAMR (ингл. *Public Access Mobile Radio*) мавжуд. Биринчи синфдаги тизимлар бир фойдаланувчи ёки фойдаланувчилар гуруҳи тасарруфида бўлади ва умумий фойдаланиш тармоқларига чиқиш имкониятига эга бўлади, лекин тижорий хизматларни кўрсатмайди. ПМР тизимларининг иккинчи синфи эса кўплаб фойдаланувчиларга тижорий асосда УФТТ (PSTN) тармоқларига чиқиш имкониятини беради ва оператор томонидан яратилади.

Транкинг режимида ишлайдиган ПМР тизимларнинг фарқли ўзига хос хусусияти – бу умумий бошқариш шинаси ёрдамида бир-бирлари билан боғланган бир нечта ретрансляторлардан иборат сайтнинг (ретрансляция пунктининг) мавжуд частота ресурсидан умумий фойдаланиш ҳисобига радиочастоталарни самарали ишлатиш қобилиятидир. Шунингдек, ПМР тизимларида радиоэфирни “енгиллатишга” абонент радиостанциясининг узаткичи доимий равишда эмас, балки фақат махсус тугма – тангента (ингл. *Push To Talk - PTT*) босилганида ишлаши хизмат қилади.

ПМР тизимларининг ривожланиши алоқани сифати, тезкорлиги ва конфиденциаллигини яхшилашга ҳамда аналог тизимлардан рақамли тизимларга ўтказиш йўналтирилган. Рақамли ПМР тизимларининг пайдо бўлиши билан илгари аналог тизимларида тўла меъёрда эришиб бўлмайдиган кўплаб замонавий хизматларни тақдим этиш имконияти пайдо бўлди. Мавжуд аналог ПМР тизимлари (SmartTrunkII, LTR, Multi-Net, Accessnet, Smartnet, EDACS, MPT-1327) тармоқларини қуришда етарли даражада ихчам эмас, маълумот узатишда имкониятлари чекланган, бир-бирлари билан мослашмайдиган, юқори конфиденциалликни ва санкциясиз уланишдан ишончли ҳимояни таъминлай олмаслик каби камчиликларга эга. Бу “нуқсонлар” эса кўп сонли бир-бирлари билан мослашмайдиган аналог стандартларни алмаштириш учун яратилган рақамли ПМР стандартларида бартараф этилиши кўзда тутилган. Рақамли транкинг тизимларининг ихчам архитектураси туфайли ахборотларни юқори ҳимоялаш даражасини таъминловчи регионал ва миллий

қўламлардаги тармоқларни яратиш ва уларда индивидуал, гуруҳли ва кенг қамровли чақирувларни узатиш имкониятига эга бўлади.

Ҳозирги кунда энг ривож топган рақамли ПМР тизимлари Европада алоқа соҳасида стандартлар бўйича ETSI институти ишлаб чиққан TETRA лойиҳаси ҳамда Американинг жамият хавфсизлиги ташкилотлари алоқа бошқарувчилари Ассоциациясининг APCO-25 лойиҳаси ҳисобланади. Бундан ташқари, рақамли ПМР бозорида “корхонавий” стандартлар статусини олган EADS (Франция) фирмасининг TETRAPOL тизими, Motorola (АҚШ) фирмасининг iDEN тизими, Ericsson (Швеция) фирмасининг EDACS тизими ва бошқалар ишлатилмоқда.

APCO-25 рақамли транкинг алоқаси стандарти “очиқ стандарт” статусига эга бўлиб, Шимолий ва Жанубий Америка, шунингдек, Жануби-Шарқий Осиё ва Океания давлатларида кенг қўлланилади. APCO-25 лойиҳасига боғлиқ тадқиқотлар ва стандартлаш ишлари 1992 йилда тугатилган, лекин стандартнинг спецификациялари бир неча марта қайта тўлдирилди. APCO-25 стандарти аналог ва рақамли тармоқларни ҳамда транкинг ва конвенционал⁹ тармоқларнинг ўзаро ишлаш имкониятини таъминлайди. Шунингдек, мавжуд бўлган аналог тармоқларидан рақамли тармоқларга равон ўтиш мақсадида стандарт икки босқичда амалиётга татбиқ этилмоқда. Техник нуқтаи назардан иккинчи босқичга ўтиш частоталар тўри қадамини икки марта камайтириш (яъни 6,25kGs гача) ва спектрал жиҳатдан самарадор бўлган CQPSK модуляция усулидан фойдаланиш каби янгиликлар ҳисобига бўлмоқда [8]. Шу билан бирга, каналларни вақт бўйича ажратиш, яъни TDMA технологиясидан фойдаланиш ҳисобига APCO-25 тизимларини TETRA стандарти билан бирлаштириш масаласи ҳам илгари сурилмоқда.

GSM сотали алоқа стандартининг ютуқларидан таъсирланиб, ETSI институти 1994 йилда TETRA (ингл. *TransEuropean Trunked Radio*) “Рақамли транкинг алоқа трансевропа очиқ стандартини” яратди. Кейинчалик стандартга бошқа минтақаларнинг ҳам катта қизиқиши туфайли унинг таъсир этиш ҳудуди фақат Европа билан чекланиб қолмади ва ҳозирги вақтда TETRA қисқартмаси “Ер сирти транкинг радиоалоқаси” (ингл. *Terrestrial Trunked Radio*) номи билан ёйилмоқда. TETRA стандарти асосига турли частоталар диапазонларида ва алоқа протоколлари билан фарқ қиладиган тармоқларни минимал харажатларда яратишга имкон берадиган универсал техник ечимлар қўйилган. TETRA тизими частота ресурсини тежаш билан бир қаторда (25 kGs частоталар полосасида 4та мантқиқий канал) истиқболда 3-авлод хизматларини тақдим этиш ва турли жорий этиш сценарийларини кўзда тутиб, функционалликни ошириш бўйича катта имкониятларни таъминлайди. TETRA стандарти ривожланишида давом этмоқда ва унинг базасида юқори тезликда

⁹ Радиоалоқанинг конвенционал (ёки аъъанавий) режими ишчи каналга турғун равишда радиочастоталар бириктирилишини (яъни, транкинг асосида эмас) билдиради ва кўпинча аналог радиостанцияларда ишлатилади.

маълумотларни симсиз узатиш тизимлари ишлаб чиқилмоқда (стандарнинг ҳозирги TETRA V+D версияси 28,8kbit/sek. максимал маълумот узатиш тезлигини таъминлайди). Каналларнинг пакетли коммутацияловчи стандартнинг TETRA PDO янги версиясида эса 32kbit/sek. тезликка эришилади. Бундан ташқари, стандартнинг ишчи частоталар диапазонини кенгайтириш, уни денгиз ва авиация хизматлари (вертолётлар ва учуш тезлиги 500km/soat бўлган енгил самолётлар), қишлоқ жойларида алоқани ташкил этиш (100km гача масофаларда) ва бошқа вазифалар учун мослаштириш бўйича ишлар олиб борилмоқда [9].

ПМР тизимларининг кейинги ривожланиши фойдаланувчиларнинг ўсиб бораётган талабларини қондириш учун алоқа ривожланишининг замонавий анъаналарини ҳисобга олувчи янги хизматларни ўз спецификацияларига киритишга қаратилган. Хусусан, умумий фойдаланиладиган тармоқлар (Интернет) ҳамда корпоратив тармоқлар орасида тармоқлараро ўзаро ишлаш имкониятига эга булган IP протоколи асосида қурилган тармоқлардан фойдаланиш таклиф этилмоқда. Бундай тармоқ қўлланилганда технология ўта юқори маълумот узатиш тезлигини талаб қиладиган иловаларга мўлжалланади. Бошланғич юқори тезликдаги иловалар учун бир неча ўнлаб Mbit/sek тезликлардан фойдаланилса-да, кейинчалик ПМР тизимларининг янги ишланмалари 155Mbit/sek дан юқори тезликларни таъминлашга қодир бўлиши тахмин қилинмоқда. Бунда тўла мобиллик ва кенг ҳудудларни қоплаш («роуминг» имкониятлари) каби афзалликлар сақланади [10].

Шунингдек, ПМР тизимларини LTE мобил алоқа технологиси сари ривожлантириш устида ҳам ишлар олиб борилмоқда ва шу тариқа 4G авлоди даражасида ПМР ҳамда сотали алоқа функционалларининг янада яқинлашиши кутилмоқда.

2.1.2. Сотали алоқа тизимлари

Частоталарни сотали тақсимлаш асосида қурилган, қисқартирилганда сотали алоқа тизимлари деб номланган умумий фойдаланишга мўлжалланган радиоалоқа тизимларини, сўзсиз, МРТ таркибида энг муваффақиятлиси деб ҳисобласш мумкин. Ҳақиқатан ҳам, бор-йўғи қарийб 30 йил аввал пайдо бўлган алоқанинг бу тури ўзининг «акаларини» қувиб ўтиб, ўзининг учта авлодини алмаштириб жаҳондаги энг оммавий мулоқот воситаси бўлиб қолди. 2010 йилнинг июлига келиб жаҳондаги сотали алоқа абонентларининг сони тахминан 5 миллиард кишига етди, бу Ер юзи аҳолисининг салкам 70 фоизини ташкил этди [11]. Бугунги кунда 4G технологиялари ҳақида сўз борганда, аввало, сотали алоқа тизимларининг эволюциясини кўзда тутамиз. Шу боис, мазкур қўлланмада асосий эътибор айнан шу мобил радиоалоқа тизимларининг таҳлилига қаратилади, хусусан, навбатдаги бобларда сотали алоқа тизимларининг ривожланиш эволюцияси, шунингдек, учинчи авлод (3G) тизимлари ҳақида алоҳида маълумот тақдим этилади.

Мобил радиоалоқа тизимларини ташкил этишнинг сотали принципи телефон ихтирочиси - Александр Грэхем Белл (*Alexander Graham Bell*) ташкил этган Bell Laboratories (АҚШ) лабораторияси ходимлари Дуглас Ринг ва Рей Янг томонларидан 1947 йилда илгари сурилган [12]. Бу каби алоқа тармоғи алоҳида таянч станциялар (ТС) – соталарни, хизмат кўрсатиш зоналаридан иборат бўлиб, бу зоналарнинг кенглиги эса тармоқ абонентларининг ҳудудий зичлигига боғлиқ бўлар эди. Бир ТС фойдаланадиган частота каналлари маълум бир ҳудудий интервал орасида шу тармоққа кирадиган бошқа БСлар томонидан ҳам такрорий фойдаланилиши мумкин бўлиши керак эди. Бунда турли ҳудудчаларда (соталарда) ўша бир частотани ўзаро халақитларсиз такрорий ишлатиш имкони пайдо булар эди. Афсуски, бу гоё фақат 20 йилдан кейин тан олинди ва умумий фойдаланишдаги сотали алоқа тармоқларини жорий этиш фақатгина ўтган асрнинг 70-йиллари охиридагина бошланди. 1978 йилда Чикаго шаҳрида 2 минг абонентга мўлжалланган биринчи тажриба - сотали алоқа тизимининг синовлари бўлиб ўтди. Ўша йили Бахрейнда Vatelco телефон компанияси биринчи симсиз телефон алоқаси тизимини тижорат хизматини бошлади. Шунинг учун 1978 йилни сотали алоқа турини амалий ишлатилишининг бошланиш йили деб ҳисоблаш мумкин. AMPS стандарти асосидаги биринчи тижорат сотали алоқа тизими яна Чикаго шаҳрида 1983 йилнинг октябрь ойида ишга туширилди. NMT-450 стандарти асосидаги биринчи тижорат тармоқлари эса Саудия Арабистонида 1981 йилнинг 1 сентябрида ва роппа-роса 1 ойдан кейин Стокгольмда (Швеция) фаолият кўрсата бошлади [13].

1989 йилда ETSI институти доирасида ташкил этилган махсус мобил алоқа гуруҳи (ингл. *Group Special for Mobile - GSM*) ташаббуси билан сотали алоқанинг GSM номли рақамли стандарти ишлаб чиқилди ва у дастлаб 900 MGs диапазонида ишлаш учун мўлжалланди. GSM стандартида ишлайдиган биринчи тижорат тармоғи 1992 йилда Германияда ишга туширилди. Бу стандарт ривожланишни ва такомиллаштишни давом эттирди ҳамда жаҳон миқёсида ҳам кенг қўлланила бошлади. Натижада GSM қисқартмаси «Global System for Mobile communications - Глобал мобил алоқа тизими» сифатида ёйиладиган бўлди. Ҳозирги кунда GSM стандарти Европада 1800MGs (GSM-1800) ва 450MGs (GSM-400), АҚШда эса 1900MGs (PCS) қўшимча частота диапазонларида ишлашга мослашган.

АҚШда рақамли технологиялар ривожланишининг бошланишига «IS-54¹⁰» стандарти (тижорат номланиши **D-AMPS**) асос қўйди. У АҚШда ишлаётган аналог AMPS тизимларининг сифимини ошириш мақсадида ишлаб чиқилди ва TIA ассоциацияси томонидан 1989 йилда тасдиқланди. D-AMPS стандартида бир частота каналида (каналнинг кенглиги 30kGs) 3та нутқ каналини ишлатиш имкониятини берадиган янги техник ечимлар

¹⁰ IS - ингл. *Interim Standard* дан қисқартириш бўлиб, яъни «оралиқ стандарти» маъносини беради.

киритилди. Бу стандарт асосидаги биринчи тармоқлар 1992 йилда ишга туширилди. АҚШда D-AMPS стандарти (AMPS билан бирга) узоқ вақт асосий тизим бўлиб турди. 2000 йилда мамлакатда бу стандартлар абонентлари сони 50 млн. атрофида бўлган [14]. Шу ерда айтиб ўтиш лозимки, D-AMPS стандартининг тарқалиши фақат Шимолий Америка билан чекланиб қолмай, дунёнинг бошқа ҳудудларида ҳам, хусусан, Жанубий Америка, Жануби-Шарқий Осиё, Яқин Шарқ мамлакатларига ҳам тарқалди. Чунончи, AMPS/D-AMPS стандартлари МДХ давлатларида ҳам, хусусан, бизнинг мамлакатимизда ҳам кенг оммалашган эди.

Сотали алоқанинг рақамли технологияларини ривожлантиришда Япония ҳам Европа ва АҚШдан қолишмади ва ўзининг PDC (ингл. *Personal Digital Cellular* - Персонал рақамли сотали алоқа тизими) деб номланган рақамли стандартини ишлаб чиқди. Ушбу япон стандарти 1994 йилда тасдиқланди. PDC стандарти асосидаги тармоқлар асосан мамлакат миқёсида фойдаланиш учун ишлатилди ва жаҳон бозорига сезиларли таъсир кўрсатмади. Ўша йилларда Японияда PDC тармоғи мамлакат аҳолисининг деярли 99 фоизи яшайдиган ҳудудини қамраб олган эди.

Ахборотларни рақам асосида узатиш ва қайта ишлаш режимига ўтиш туфайли стандартларнинг сонини сезиларли камайтиришга эришилди. Шундай қилиб, 1995 йилга келиб жаҳонда асосан уч рақамли стандарт: GSM, D-AMPS (IS-54, кейинчалик IS-136 - TDMA) ва PDC тармоқлари ишлар эди.

Мобил алоқа тизимларининг ривожланишида 1989 йил ўта мазмунли бўлди, чунки бу йили Qualcomm (АҚШ) компанияси каналларни кодли ажратиш (CDMA) технологияси асосида янги рақамли тизимни яратди. CDMA технологияси асосида биринчи тижорат сотали алоқа тармоғини ишлатиш 1995 йилнинг сентябрида Гонконгда бошланди. Бундан биров аввалроқ, ХТИ томонидан IS-95 (тижорат номи *cdmaOne*) стандарти тасдиқланди ва бу стандарт M.1073 MCЭ-R спецификациялар таркибига кирди. *cdmaOne* тизими Уолш функцияси, яъни 64та кодли псевдо тасодикий кетма-кетликлар ёрдамида спектрни тўғридан-тўғри кенгайтирилиши (ингл. *Direct Spread CDMA - DS-CDMA*) усули асосида қурилган эди. Бу тизимда 9,6kbit/sec тезликка эга бўлган, шакллантирилган сигнал бутун полоса бўйлаб кенгайтирилиб, 1,2288Mchip/sec чип тезлигида¹¹ узатилар эди. *cdmaOne* стандарти асосида қурилган, турғун ва ҳаракатдаги алоқа хизматларини кўрсатадиган сотали тармоқлар сони кескин орта бошлади ва 2000 йилга келиб дунёдаги сотали алоқа абонентлари умумий сонининг қарийб 15 фоизини ташкил қилди [15]. *cdmaOne* тизими асосан нутқни узатиш сифати ошириш ва катта сифимли тармоқларни қуриш талаб этилган ҳолларда қўлланилди.

¹¹ Чипли деб кенгайтирилган спектрли сигналнинг (шовқинга ўхшаш сигнал) символларини узатиш тезлиги айтилади. 2- бобда батафсилроқ кўринг.

1990 йилдан бошлаб ХТИ ҳамда ETSI (Европа), ARIB (Япония), ANSI (АҚШ) минтақавий стандартлаштириш ташкилотлари томонидан бутун дунёда 3 авлодга (3G) мансуб сотали алоқа стандартини яратиш учун ягона (умумий) талабларни ишлаб чиқиш бўйича ишлар бошланди. Бу талаблар 3G тизимларининг минимал мезонлари тўплами сифатида киритилди ва кўп ваъдалар берувчи «IMT-2000 Дастури» (ингл. *International Mobile Telecommunications* — «Халқаро мобил алоқа») номини олди. Аммо учинчи авлод даражасида ягона алоқа стандартини яратиш мақсадига амалда эришиб бўлмади ва натижада “Учинчи авлод мобил алоқа тармоқларини ривожлантириш бўйича ҳамкорлик дастури” (3GPP) томонидан GSM тармоқларини 3G томонга эволюцион йўл билан ривожлантириш мақсадида UMTS стандарти ишлаб чиқилди. Параллел равишда бошқа - 3GPP-2 ҳамкорлик дастури томонидан cdmaOne стандартини 3 авлод сари ривожлантириш мақсадида CDMA-2000 стандарти яратилди ва бу стандарт, асосан, Америка бозори учун мўлжалланди. UMTS ва CDMAлардан ташқари 3G технологияларига FOMA (Япония) ва TD-SCDMA (Хитой) тизимлари, шунингдек, UMTS стандартининг вақтли дуплекс (TDD) асосидаги TD- CDMA версияси ҳам киритилди.

XXI аср бошларига келиб эса телекоммуникация саноатида янги — тўртинчи авлод технологияларини яратиш зарурати таъкидланди ва яна мобил алоқанинг ягона глобал стандартини яратиш ғояси илгари сурилди. Натижада, мутахассисларнинг фикрича, шу ғояни амалга ошириш учун етарлича салоҳиятга эга бўлган мобил алоқанинг LTE технологияси пайдо бўлди.

Бўлим хулосасида шуни қўшимча қилиш лозимки, мобил тизимларининг ривожланиши макросотали тармоқлардан микросотали ва пикосота/фемтосотали тармоқлар тузилмаларига ўтиш йўлидан ҳам бормоқда. Бундай тармоқлардан фойдаланиш зич қурилишли ва ёпиқ зонали (офислар, ер ости автомобил турар жойларида ва бошқаларда) шаҳар туманларида абонентларга хизмат кўрсатишга имкон беради. Микросотали тизимларни куриш принциплари макросотали тизимларникидан фарқланади: уларда частотавий режалаштириш мавжуд эмас, “хэндовер” таъминланмайди ва сигнал сатҳини ўлчаш амалга оширилмайди.

2.1.3. Симсиз телефония тизимлари

XX асрнинг охирида ҳаракатдаги алоқа ривожланишининг муҳим йўналишларидан бири абонент радио уланиш тизимларининг яратилиши бўлди. 1975 йилда Motorola (АҚШ) компанияси биринчи аналог симсиз телефон аппаратини (ингл. *Cordless Telephone* - CT) яратди. Бу телефон УФТТга симли линия бўйича уланган таянч платформадан 100м радиус узоқликда радиотелефон трубка ёрдамида абонентга эркин ҳаракатланиш имконини берди. Мазкур технология асосида СТ номли аналог

стандартлари, кейинроқ унинг такомиллаштирилган СТ-2 версияси ишлаб чиқилди. Кейинчалик, СТ-2 тизими принциплари асосида яратилган TDMA технологиясидан фойдаланган кўп каналли тизимлар: 900MGs диапазондаги DCT-900 стандарти (Швеция) ва 1800 MGs диапазондаги рақамли симсиз телефониянинг Европа стандарти - DECT (ингл. *Digital European Cordless Telecommunications*) ишлаб чиқилди. Кичик қувватли нурланишни (10-25mVt) ва абонент ускуналарининг жуда юқори зичликда жойлашувини таъминлай олган DECT стандарти ETSI институти томонидан 1992 йилда тасдиқланди. Бу технологиянинг кенг жорий этилиши 1995 йилда бирданига 2 миллионга яқин терминаллар сотилганидан сўнг бошланиб кетди [16]. У даврда бир неча йиллардан кейин DECT стандарти симсиз телефония бозорини деярли тўлиқ эгаллаб олишига кўпчилик ишонмас эди. 2001 йилга келиб, рақамли симсиз телефонлар сони тахминан 50 миллионни ташкил этиб, аналог симсиз телефонлардан (45млн.) ўзиб кетди.

Симсиз телефониянинг кейинги ривожланиши сотали алоқа тармоқлари (пикосоталар ва фемтосоталар) билан бирикиб кетиш йўлидан боради ва мобил алоқа тизимларида ўзаро бир-бирини тўлдириб боради.

2.1.4. Йўлдошли алоқа тизимлари

Йўлдошли алоқа тизимларини (ЙАТ) бошқа ХРТ тизимларидан ажратиб турадиган қатор ўзига хос характеристикалари бор. Масалан, йўлдошли алоқа аниқ бир жойга деярли боғланмаган ва ер сирти алоқа тизимларига таққосланганида жуда катта хизмат кўрсатиш ҳудудига эга. У олис, бориш қийин жойларда самарадор, баъзан эса, ягона алоқа тури бўлиб қолмоқда.

ЙАТ турли белгилар бўйича синфларга бўлинади. Вазифаси бўйича улар ҳарбий, фуқаровий, давлат ёки тижорат; ер усти (абонент) станциялари тури бўйича стационар ёки мобил бўлишлари мумкин. Тақдим этиладиган хизматлар бўйича ЙАТ овоз (радиотелефон) алоқаси, маълумотларни пакетли узатиш ёки объектларнинг жойлашишини аниқлаш хизматлари билан ажратилади. Шунингдек, ЙАТ ўзларининг ишчи орбиталари баландлиги бўйича синфларга бўлинади. Ҳозирги вақтда қўлланилаётган ЙАТ тизимлари қуйидагилар: юқори орбитал (ёки геостационар¹², ингл. *GEO*) - 40 минг километр баландликдаги доиравий орбитали тизимлар, ўрта орбитал (ингл. *MEO*) - 5-15 минг километр баландликдаги тизимлар ва паст орбитал (ингл. *LEO*) - 700-1500 километр баландликдаги тизимлар.

ЙАТ ривожланиши XX асрнинг 70-йилларидан бошланиб, дастлаб орбитага Marisat геостационар коинот аппарати (КА) чиқарилгандан кейин

¹² Геостационар орбитада сунъий йўлдошнинг Ер атрофида айланиш даври 24 соатга тенг, шу сабабли сунъий йўлдош Ерга нисбатан мунтазам бир нуқтада бўлади. Учта геостационар сунъий йўлдошли тизим ёрдамида Ер юзини қамраб олиш мумкин.

авж олди. Дастлабки мобил ер станциялари (ЕС) махсус қўлланиш тизимлари сифатида (денгиз, ҳаво, автомобил, темир йўл транспортлари учун) ишлаб чиқилди ва фойдаланувчиларнинг чекланган сонига мўлжалланган эди. Алоқанинг ишончлилиги юқори бўлмади, чунки ҳаракатдаги объектларнинг энергия таъминоти паст эди ва мураккаб маҳаллий рельефларда ҳамда жойнинг кичик ишчи бурчакларида алоқанинг барқарорлигини таъминлаш қийин эди. Биринчи авлод ер станциялари (Inmarsat-A стандарти) махсус ва корпоратив тармоқларни яратиш учун мўлжалланди.

Ҳаракатдаги ЙАТ соҳасида революцион ўзгаришлар 90-йилларнинг бошларида бўлиб ўтди ва бундай ўзгаришларга қуйидаги учта омил сабаб бўлди:

- коинот дастурларининг тижоратлантирилиши;
- паст ва ўрта орбитал КАлардан фойдаланиш;
- рақамли сигнал процессорларидан фойдаланиб, рақамли алоқага оммавий ўтиш.

Конверсия жараёни илғор ҳарбий технологияларни тижорат дастурларга киритиш ва жалб қилиш билан боғлиқ бўлди. Натижада паст орбиталардаги (Iridium ва Globalstar) ва ўрта орбиталардаги (ICO) бир неча глобал йўлдошли алоқа тизимлари, шунингдек, иккита регионал (ACeS ва Thuraya) тизимлар ишга туширилди. Iridium шахсий йўлдошли алоқа глобал тизими 1998 йилнинг охирида ишга туширилди ва бор-йўғи бир ярим йил атрофидагина ишлади. 2000 йилдан бошлаб учта: Globalstar шахсий йўлдошли алоқа глобал тизими ва нафақат товушли алоқа, балки маълумотларни ҳам узатишга мўлжалланган икки минтақавий - ACeS ва Thuraya, тизимларини ишлатиш бошланди. Бир йилдан сўнг ICO (Inmarsat-P) тизими ишга туширилди.

Ҳаракатдаги ЙАТ тизимларининг кейинги ривожланиши IMT-2000 ва IMT-Advanced лойиҳалари доирасида амалга оширилади.

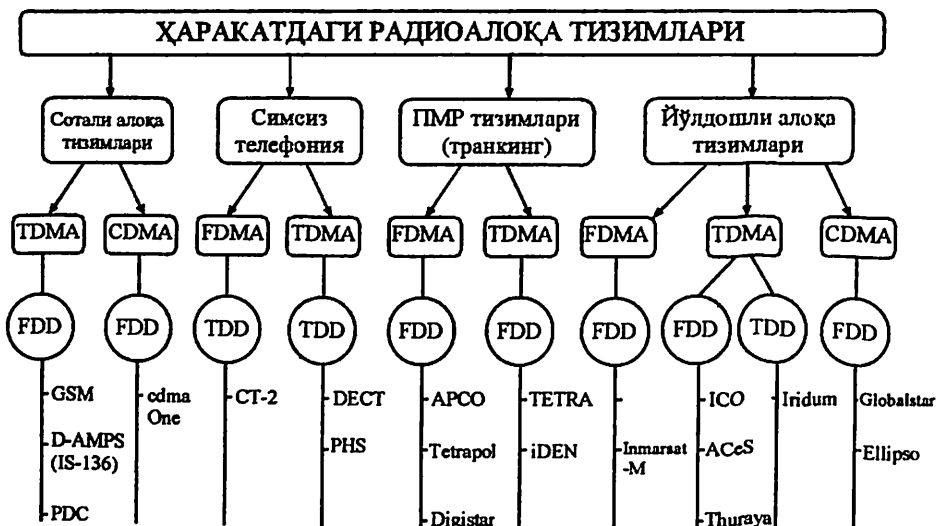
2.2. Ҳаракатдаги радиоалоқа тизимларининг классификацияси

Ушбу қўлланмада [17] манбада тақдим этилган ва ХРТнинг қуйидаги учта белгига асосланган классификациясидан фойдаланилган (2.1-расм):

- тизимнинг вазифаси ва хизмат кўрсатиш зонаси;
- кўп сонли уланиш технологиясидан фойдаланиш;
- каналларни дуплекслаш¹³ схемаси.

¹³ Дуплекслаш деганда узатиш ва қабул қилиш учун радиоалоқа каналини ажратиш тушунилади. Узатиш ва қабул қилиш бир каналда навбатма-навбат амалга ошириладиган симплекс радиоалоқасидан фарқли равишда дуплексли радиоалоқа бир вақтнинг ўзида турли каналларда узатиш ва қабул қилиш амалга ошириладиган икки томонлама радиоалоқадир.

Шунингдек, классификацион белги сифатида “хэндоверни” ташкил этиш схемаси ҳам кўриб чиқилган.



2.1.- расм. Ҳаракатдаги радиоалоқа тизимларининг классификацияси

2.2.1. ҲРТнинг вазифаси ва хизмат кўрсатиш зонасининг ўлчами

Вазифаси ва хизмат кўрсатиш зонасининг ўлчамлари бўйича барча ҲРТларни 4 синфга ажратиш мумкин:

- хизмат кўрсатиш зонаси бир нур (сектор) учун 400-800 km ва бир сунъий йўлдош учун (орбитанинг баландлигига боғлиқ равишда) умумий диаметри 3000-8000 km бўлган йўлдошли алоқа тизимлари;
- таъсир этиш радиуси 0,3 дан 35 km гача бўлган сотали ҳаракатдаги радиоалоқа тизимлари;
- хизмат кўрсатиш зонаси антеннанинг кўтарилиш баландлигига қараб 2 дан 50km гача бўлган радиусда ишловчи профессионал мобил радиоалоқа (транкинг) тизимлари;
- таъсир этиш радиуси 0,3 km гача бўлган симсиз телефон тизимлари.

ҲРТнинг турли синфлари орасидаги фарқ, аввало, улар тақдим этадиган хизматларнинг турлари ва сифатидан иборат. Энг юқори сифатни ҳам мобил, ҳам стационар абонентлар учун икки томонлама радиоалоқа хизматларини тақдим этадиган сотали алоқа тармоқлари ва симсиз телефон тизимларини таъминлайди. Бу каби хизматларни (камроқ имкониятлар билан) ЙАТ тизимлари тақдим эта олади. ПМР тизимлари

эса, асосан, ярим дуплексли алоқа ва абонентлар билан гуруҳли алоқа хизматларини кўрсатади.

Хизмат кўрсатиш зоналарининг ўлчамлари хизмат кўрсатиладиган ҳудуд бўйича абонентларнинг зичлиги ва тақсимланиш характериға боғлиқ. Абонентлар юқори зичликли жойларда 100m гача радиусли фемтосоталар ва пикосоталар яратилади, кўп биноли ва аҳоли зич жойлашган ҳудудларда эса микросоталар (0,1 – 0,5km) ташкил этади. Шаҳар ва шаҳар атрофидаги зоналарни қамраш учун эса радиокамров радиуси 30-35km гача бўлган макросоталар ишлатилади. Олис ва бориш кийин туманларда ва қишлоқ жойларида абонентларға хизмат кўрсатиш ҳам сотали, ҳам йўлдошли алоқа тизимлари орқали амалға оширилиши мумкин.

Сотали алоқа тармоқлари абонентлар зичлиги квадрат километрга, хатто 10 000 Эрлангача бўлган шароитларда ҳам хизмат кўрсатиши мумкин. Транкинг тармоқлари эса трафик ҳажми 10-20 Erlang/kv.km дан ошмаган ҳолларда самаралироқ ишлайди. Сотали алоқа тизимларида спектрал самарадорликни ошириш учун TDMA ва CDMA кўп сонли уланиш технологиялари қўлланилади ва кенг полосали каналлардан фойдаланилади. ПМР тармоқларида эса асосан FDMA ёки TDMA технологиялари ва тор полосали каналлар қўлланилади.

Алоқани ташкил этиш тартибида ҳам фарқлар мавжуд. Сотали алоқа ва симсиз телефон тизимларида абонентлар орасида асосан индивидуал чақирувлар амалға оширилади. Бунда сўзлашувнинг ўртача давомийлиги бир неча дақиқаға етиши мумкин. ПМР тизимларининг одатий иш тартиби эса қисқа (1 дақиқадан кам), лекин тез-тез чақирувларға асосланган. Бунда чақирувлар тўғридан-тўғри, ёки диспетчер орқали амалға оширилиши мумкин. ПМР тизимларида алоқа ўрнатиш вақти, қондаға кўра, 0,3 секунддан ошмаслиги керак.

Частота ресурсидан фойдаланиш усули бўйича ҳаракатдаги радиоалоқа тизимлари икки синфға ажратилади:

- абонентларға каналлар турғун (доимий равишда) бириктирилган алоқа тизимлари;
- умумий хизмат кўрсатиш зонасида абонентларнинг талабиға асосан канал тақдим этувчи тизимлар.

Каналлар турғун бириктирилган тизимларда юқори тезкор алоқа таъминланади. Каналларни турғун бириктириш принципи, аввало, ПМР конвенционал тизимларида кенг ишлатилди. Транкинг тизимлари эса каналларға “эркин” уланишли тизимлар қаториға киради. Улар ажратилган частоталар тўплами орасида исталган каналда ишлаш имкониятиға эға. Сотали алоқа ва симсиз телефония тизимларида абонент қайси бир хизмат зонасида бўлса, унинг талаби бўйича канал тақдим этилади.

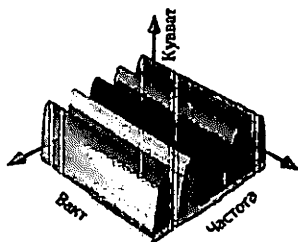
ХРТда янги тизимли ва техник ечимлардан фойдаланиш туфайли сигнал/шовқин¹⁴ нисбатини (ингл. E_b/N_0) яхшилашга эришилди. Агар аналог тизимларда E_b/N_0 нисбати 17 – 18 dB бўлган бўлса, рақамли тизимларда эса бу кўрсаткич 7 – 9 dBга тенг бўлди.

Ҳаракатдаги радиоалоқа тизимлари учун (йўлдошли алоқа тизимларидан ташқари) ўзаро нисбий характеристикалар 2.1-жадвалда келтирилган. Ушбу тизимлар рўйхати етарлича тўлиқ бўлмаса-да, у тизимларнинг таркибий фарқларини баҳолаш имконини беради.

2.2.2. Кўп сонли уланиш технологиялари

Кўп сонли уланиш – бу таянч станциянинг (ретрансляторнинг) бир вақтнинг ўзида бир нечта абонент ускуналарининг (мобил станцияларнинг) сигналларини қабул қилиш ва узатиш қобилиятини ифодалайди. Кўп сонли уланиш (ёки каналларни ажратиш) технологиялари мобил алоқа технологиялари билан бирга чамбарчас ривожланиб келмоқда. Агар 1G ва 2G авлодларда, тақдим этилган классификацияга кўра (2.1-жадвал), ХРТ тизимлари асосан икки технология, яъни каналларни частота (FDMA) ва вақт асосида (TDMA) ажратиш асосида кўп сонли уланиш усуллари билан қурилган бўлса, 3G авлод тизимлари каналларни кодли ажратиш (CDMA) технологияси асосида қурилган. Тўртинчи авлод янги мобил технологиялари эса каналларни ортогонал частотавий ажратишли кўп сонли уланиш (OFDMA) усули асосида қурилмоқда.

1. FDMA усули (ингл. *Frequency Division Multiple Access*) аналог ХРТ тизимларида анъанавий равишда, шунингдек, баъзи рақамли тизимларда, одатда, бошқа усуллар билан биргаликда ишлатилади. Частотали ажратиш усулида ҳар бир абонентга унинг тўлиқ сўзлашуви мобайнида мавжуд частоталар диапазонидан алоҳида бир канал (спектрнинг қисқа бўлаги) ажратиб берилади (2.2-расм).



2.2-расм. Каналларни частота бўйича ажратиш асосида кўп сонли уланиш усули

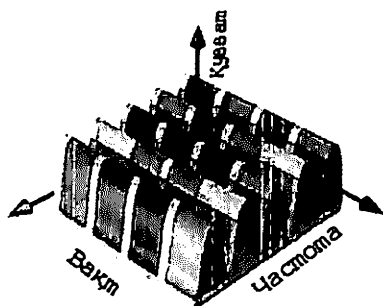
¹⁴ “Сигнал-шовқин” нисбати бу 1 битли сигнал энергиясини 1Гцдаги шовқинлар қуввати зичлигига нисбатидир (E_b/N_0). ХРТда бу параметр кўрсаткичи қанчалик паст бўлса, тизимнинг алоқа сифати шунчалик юқори бўлади. E_b/N_0 кўрсаткичи қатта амалий аҳамиятга эга, чунки хатоли битларнинг пайдо бўлиш тезлиги (ингл. BER) бу нисбатнинг (камаювчи) функцияси ҳисобланади.

ХРТнинг ўзаро нисбий характеристикалари

Стандарт Характеристика	2-авлод сотали алоқа тизимлари				Симсиз телефония			ГМР рақамли тизимлари	
	GSM	D-AMPS	cdmaOne	PDC	CT-2	DECT	TETRA	APCO-25	Tetrapol
Хастоталар диапазони, MHz	890-915/1710-1785; 935-960/1805-1880	824-849; 869-894	824-849; 869-894	810-826; 940-956; 1429-1453 1477-1501	864-868	1880-1900	380-400; 410-430 (450-470)	138-174; 406-512; 746-869	70... 520
Полоса кенглиги, MHz	25	25	25	25	24	20	20	н/а	5
Дуплекс ажратиш, MHz	45/95	45	45	48(130)	Йуқ	Йуқ	10	н/а	10
Каналлар ажратиш, MHz	200	30	1250	25 (50)	100	1728	25	12,5/6,25	12,5/10
Дуплекс каналлар сони	124	832	20	640	40	10	н/а	н/а	400
Кўп-сонли улааниш	TDMA	TDMA	CDMA	TDMA	FDMA	TDMA	TDMA	FDMA	FDMA
Дуплекслаш усули	FDD	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	FDD	FDD	FDD
Битта элтувчиға тўғри келадиган каналлар сони	8 или 16	3(6)	55	3(6)	1	12	4	1	1
Модуляция усули	GMSK	π/4 DQPSK	QPSK(π/4) OQPSK(π/4)	π/4 DQPSK	GFSK	GFSK	π/4 DQPSK	C4FM CQPSK	GMSK
Маямуомлар узатиш тезлиги, kbit/sek	270,8 (EDGE)	48,6	1288	42	72	1152	32 (4 манг. канал)	9,6	8
Овоз кодекси тури	RPE-LTP	VSELP	QCELP	VSELP	ADPCM	ADPCM	ACELP	IMBE	RPCELP
Овоз кодекси тезлиги, kbit/sek	13 или 6,5	7,95	13 или 8,5	6,7	32	32	4,5	4,4	6
Овоз учун каналли кодлаш	R=1/2, K=5	R=1/2	R=1/3, R=1/2	R=1/2	н/а	CRC	R=2/3	R=1/2, Golay	н/а
Кадр узунлиги, ms	4,6	40	20	20	2	10	57	180	20
Мобил станция қуввати: ўртача (максимал), Вт	GSM-900: 0,1-8(0,6-20) GSM-1800: 0,25-1(0,03-0,125)	3,0 (9); 1,6(4,8); 1,6(1,8)	0,6 (6,3); 2,5; 1,0	0,66 (2)	0,005 (0,01)	0,01 (0,25)	2,5 (10); 0,75 (3); 1(0,25)	н/а	10 (автом.)
Еб/Но нисбати	9	16	6-7	17	20	12	19	н/а	н/а
Хэндовер	Бор	Бор	Бор (компоқ)	Бор	Йуқ	Йуқ	Бор	н/а	н/а

Персонал алоқа тизимларида частота канали кенглиги, одатда, 25-30kGs ни ташкил этади. Абонентларни ажратиш учун вақт фактори эмас, балки частота фактори ишлатилади. Бундай ёндашув қатор афзалликларга эга бўлиб, барча ахборотлар реал вақтларда узатилади, частоталарни ажратиш алоқани ташкил қилиш жиҳатидан ҳам қулайдир. FDMAнинг асосий камчилиги (кичик фаолликли) кўп сонли абонентларга хизмат кўрсатишда паст ўтказувчанлик қобилияти ҳисобланади.

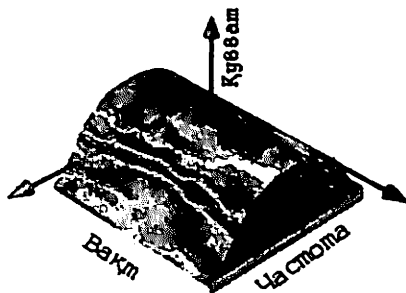
2. TDMA (ингл. *Time Division Multiple Access*) усулидан кўплаб рақамли ХРТ тизимларида фойдаланилади: GSM, D-AMPS, TDMA (IS-136), PDC, DECT, TETRA ва бошқалар. Частота асосида ажратувчи тизимлардан фарқли ўлароқ, бу усулда абонентлар кенг частота полосаларида ишлайдилар ва уларнинг ҳар бирига бу полосалар ичида вақт интерваллари (манتيқий каналлар) ажратилади ва маълум бир вақт мобайнида (ингл. *Time slot*) ахборот узатишга рухсат этилади (2.3-расм).



2.3- расм. Каналларни вақт бўйича ажратиш асосида кўп сонли уланиш усули

Масалан, GSM стандартида 200kGs кенгликдаги полоса 8та вақт интервалага (мантиқий каналларга) бўлинади, D-AMPS стандартида эса 30kGs ли полоса 3 мантиқий каналга бўлинади. Абонентга нисбатан трафик пульсацияланувчи характерга эга бўлади, яъни абонентлар сони кўпайган сари, уларнинг ахборот узатиш имкониятлари ҳам камаёверади. Алоқа каналининг ўтказувчанлик қобилиятини ошириш учун TDMA усули кўпинча FDMA усули билан биргаликда ишлатилади. Умуман олганда, TDMA усули FDMA усулига нисбатан тизимнинг канал сигимини 3 мартагача (ярим тезликли кодлаш ишлатилса 6 мартагача) оширар экан.

3. CDMA (ингл. *Code Division Multiple*) технологияси иккинчи авлодга мансуб CDMAone (IS-95) стандартида ва деярли барча учинчи авлод стандартларида (10дан 8сида) ишлатилади. Эфирни бундай ажратиш усулида трафик каналлари уларга рақамли код бериш асосида яратилади ва улар бутун полоса кенглигида ёйилади, яъни частота ва вақт бўйича ажратилмайди, абонентлар бутун канал кенглигида ишлайдилар (2.4-расм).



2.4-расм. Каналларни код бўйича ажратиш асосида кўп сонли уланиш усули

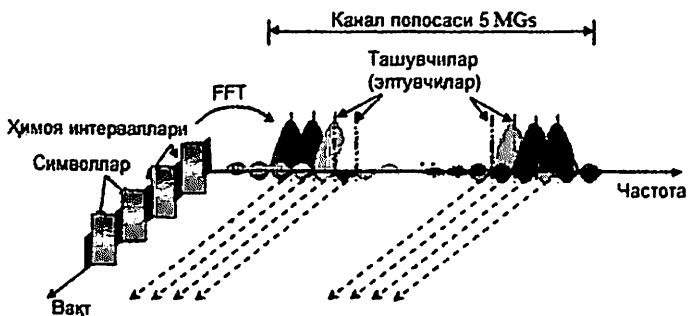
Алоҳида каналнинг частота полосаси жуда кенг бўлиб, абонентларнинг узатмалари устма-уст тушади, лекин улар код бўйича фарқ қилганлиги сабабли, уларни бир-биридан ажратиш мумкин бўлади. CDMA усулининг асосий принципи физик каналларни кодли ажратиш билан биргаликда псевдо-тасодифий кетма-кетликларни (ППК) модуляциялаш ҳисобига спектрни кенгайтириш ҳисобланади. Усулнинг афзалликларига юқори ҳалакитбардошликни, сигналнинг кўп нурли тарқалиш шароитларига яхши мослашувчанлигини, тизимнинг юқори сигимлилигини ва ахборотларнинг яхши ҳимояланганлигини киритиш мумкин.

Техник нуқтаи назардан CDMA асосидаги тизим бошқа FDMA ва TDMA асосидаги тизимлардан фарқланадиган қатор ўзига хос хусусиятлари билан тавсифланади. Аввало, қабул қилинадиган сигналлар сатҳларини юқори аниқликда тенглаштириш (текислаш) зарур, шунингдек, тизимли вақт шкаласининг абсолют қийматига аниқликда мобил станцияларнинг синхронлигини таъминлаш керак. Тизимнинг сигими бўйича CDMA усули TDMA усулидан 3 марта самаралироқдир (лекин, TDMA да спектрал самарадорликни оширишнинг такомиллаштирилган усуллари қўлланилиши натижасида ушбу кўрсаткич бўйича CDMA усули билан тенглашиб олди).

4. OFDMA усули (ингл. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) кўп сонли яқин жойлашган ортогонал нимэлтувчи часоталардан фойдаланган ҳолда кўпсонли уланишнинг рақамли схемаси ҳисобланади. Бунда бир мантиқий канал, одатда, бутун рухсат этилган частоталар диапазони бўйлаб тақсимланган нимэлтувчиларнинг маълум бир тўплами орқали ташкил этилади. Ҳар бир нимэлтувчи паст символли тезликда ишлайдиган оддий модуляция схемалари (масалан, квадратура-амплитудавий модуляция, QAM) асосида модулланади. Бунда худди шундай ўтказиш полосасида бир элтувчи асосида ишлайдиган оддий модуляция схемаларидаги каби маълумот узатиш умумий тезлиги сақлаб қолинади. OFDMA-символи ўз ичига маълумот узатиш зонасини ва бу

зонадан олдин турадиган символларро интерференцияни олдини олувчи ҳимоя интерваллини (яъни, символнинг бошланғич фрагментини такрорланиши) киритади (2.5-расм).

Бир элтувчи схемаларга нисбатан OFDMAнинг асосий афзаллиги унинг каналдаги мураккаб вазиятларга бардош бериш қобилияти ҳисобланади (масалан, мураккаб филтър-эквалайзерлардан фойдаланмаган ҳолда тор полосали ҳалақитлар ва тўлқин тарқалишининг кўпнурлилигидан келиб чиқадиган частота-танловчанлик сўнишларга қарши курашиш кабилар). OFDM-сигнал битта тез модулланадиган кенг полосали сигнал сифатида эмас, балки кўплаб секин модулланадиган тор полосали сигналлар сифатида кўрилиши лозим. Символларнинг паст тезлиги улар орасида ҳимоя интервалидан фойдаланишга имкон беради, ва шу туфайли вақт бўйича сочилишларни тўғрилашга ва символларро бузилишларни тузатишга хизмат қилади. Спектрал самарадорлик нуқтан назаридан OFDMA усулини CDMA усулига нисбатан тахминан 10 карра юқорироқ деб ҳисоблаш мумкин.



2.5-расм. Каналларни ортогонал частотали ажратиш асосида кўп сонли уланиш усули

2.2.3. Каналларни дуплекслаш схемалари

Дуплекслаш тушунчаси битта линия бўйича икки йўналишда ахборот алмашиш имкониятини англатади. Дуплексли узатишнинг частота (ингл. *Frequency Division Duplex-FDD*) ва вақт (ингл. *Time Division Duplex-TDD*) бўйича асосий ажратиш турлари мавжуд. Частота бўйича ажратилган дуплексда (FDD) “пастга” ва “юқорига” линиялари бўйича алоқа турли (одатда, симметрик) частотавий каналларда амалга оширилади. Вақт бўйича ажратилган дуплексда эса (TDD) абонентлар орасидаги икки томонлама алоқа узатиш ва қабул қилиш каналларини вақт асосида зичлаштириш ҳисобига битта элтувчи воситасида таъминланади. FDD режими катта соталарда (макросоталар) ҳамда абонент ускуналари (АУ) юқори тезликда ҳаракатланган ҳолларда самаралироқ бўлади. Ўз ўрнида TDD режими пико- ва микросоталарда, яъни АУни ҳаракатланиш тезлиги

унча катта бўлмаган ҳолларда ишлатиш учун мўлжалланган. FDDдан фарқли равишда TDD режимида жуфт частоталар полосаси талаб қилинмайди, бу сотани қидириш жараёнини соддалаштиради ва соталар орасида каналларни самарали тақсимлаш имкониятини беради. TDD режимида тўғри ва акс каналларда трафик ҳам симметрик, ҳам асимметрик ҳолда бўлиши мумкин. TDDнинг яна бир афзаллиги – бу абонент терминалларини ясашни соддалаштиришдадир, чунки бунда дуплексер керак бўлмайди.

Ўз навбатида, FDD режими, TDD режимида фарқли ўларок, узатиш ва қабул қилиш орасида химоя интервали бўлишини; узатиш ва қабул қилиш учун алоқа сеансларининг узвийлигини (ингл. *discontinuous transmission*); ва, шунингдек, слотлараро¹⁵ интерференцияни олдини олиш учун тармоқдаги ТС ларни синхронлашни талаб қилмайди.

Шундай қилиб, иккала режим ҳам тармоқларнинг турлича ишлаш шароитларида муайян тарзда намоён бўладиган маълум бир афзалликларга эгадир. Шу боис кўпчилик анъанавий ХРТ тармоқларида аввалига FDD режимида фойдаланилади, кейин эса абонент сони ошгани сари ва частота ресурслари танқислашиши сабабли TDD режимига қизиқиш пайдо бўлади.

Харакатдаги радиоалоқа тизимларининг аксарияти частотали дуплексдан фойдаланади. TDD режими DECT ва Iridium тизимларида асосий режим сифатида, UMTS, CDMA-2000, Wi-Fi, WiMAX ва LTE тизимларида эса FDD билан бир қаторда ишлатилади. Алоқани ташкил этишда мослашувликни ва тармоқларнинг юқори спектрал ва ўтказувчанлик самарадорлигини таъминлаш учун FDD ва TDD усулларида комбинацион (яъни, аралаш) тарзда фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади. Албатта, бунда икки режимли (FDD/TDD) абонент терминалларида фойдаланиш керак бўлади, лекин бир хил микросхемалардан фойдаланиш натижасида бундай терминаллар бир режимли терминалларга қараганда унчалик мураккаб бўлмайди.

2.2.4. “Хэндовер”нинг ташкил этилиши

Сотали ва йўлдошли алоқа тизимларида абонент ускунаси (ёки мобил станция) бир сотадан бошқа сотага ёки бир сунъий йўлдошдан бошқа сунъий йўлдошга ўтганида чакирувни бошқа каналга автоматик тарзда қайта улаш усули муҳим роль ўйнайди. Бундай усул “хэндовер” (ингл. *handover*) деб аталади. Одатда қўшни сотали таянч станцияга ёки сунъий йўлдошнинг борт антеннасининг бошқа нурига улаишда элтувчи частота алмашади, бу ҳолат алоқа сифатининг пасайишига олиб келиши мумкин.

¹⁵ Слот – (ингл. қисқартирилган *Time slot*) TDMA усулида мантиқий канал яратиш учун ишлатиладиган энг қисқа вақт интервали.

Хэндовернинг икки асосий тури мавжуд: “дағал” ва “юмшоқ” хэндовер. “дағал хэндовер” да АУ сотадан сотага ўтган пайтда алоқанинг қисқа вақтли узилиши содир бўлади. Хэндовернинг бундай усулидан кўпинча иккинчи авлод сотали тизимларида ва ҳамда аралаш тармоқларда АУ эски тармоқ ҳудудига ўтганида фойдаланилган. Бунда алоқанинг узилиши ва қайта тикланиши телефон трубкасида абонент томонидан “шиқ” этилгандек қабул қилинар эди.

“Юмшоқ хэндовер” эса алоқа сифатини туширмасдан амалга оширилади. У сота ичида таянч станция антеннасининг турли секторлари орасида (бир элтувчи частотада ёрдамида) амалга оширилади. “Юмшоқ хэндоверда” янги канал эскиси узилишидан олдинроқ уланади. Агар “юмшоқ хэндовер” ташкил этилганида узилиш бўлса, у ҳолда “дағал хэндовернинг” оддий алгоритми ишлатилади.

Микросотали тизимларни куриш принциплари макросотали тизимлардан шу билан фарқ қиладики, уларда “хэндовер” бўйича қайта уланишлар тез-тезлиги анча юқорироқдир. Демак, каналларни тезкор қайта улаш алгоритмларини ишлатиш зарур. Бу масалада DECT симсиз телефония тизими анча самарали ташкил этилган бўлиб, унда абонентнинг мажбурий қайта улаш усулига асосланган ҳолда тақсимланган бошқариш алгоритмлари ишлатилади.

2.3. Сотали алоқа тизимларининг эволюцияси

2.3.1. Биринчи авлод - 1G стандартлари

Қайд қилиб ўтилганидек, мобил алоқанинг илк тижорат тармоқлари 70-йилларнинг охири ва 80-йилларнинг бошларида пайдо бўлган. Уларнинг барчасида овозни узатишда аналогли частотавий модуляциядан фойдаланилган. Биринчи авлод сотали алоқа стандартларига, одатда, қуйидагилар киритилади (2.2-жадвалга қаранг):

- **AMPS** (ингл. *Advanced Mobile Phone Service* - “Тақомиллаштирилган мобил телефон хизмати”, шунингдек, “Шимолий Америка стандарти” номи билан машҳур. 800MGs диапазонда ишлаган, 1983 йилда фойдаланишга туширилган) - АҚШ, Канада, Марказий ва Жанубий Америка, Австралия каби ҳудуд ва давлатларда кенг қўлланилган; Ўз вақтида (1995 йилда) жаҳондаги мобил алоқа тармоқларидаги барча абонентларнинг 1/3 қисмига хизмат кўрсатган ва D-AMPS рақамли модификацияси билан биргаликда энг кенг тарқалган сотали тизим бўлган. Жумладан, Россияда AMPS регионал стандарт сифатида (асосан D-AMPS вариантыда) тасдиқланган ва энг кенг тарқалган стандарт ҳисобланган. Ўзбекистонда AMPS/D-AMPS стандартлари “Уздунробита” ҳамда “Rubicon Wireless Communications” операторлари томонидан ишлатилган [18];

- **TACS** (ингл. *Total Access Communication System* - “Умумулашилган алоқа тизими”, 900MGs диапазонда ишлаган, 1985 йилда

ишга туширилган) - Буюк Британия, Италия, Испания, Австрия, Ирландия давлатларида фойдаланилган, Американинг AMPS стандарти асосида ишлаб чиқилган. ETACS (Европа) ва JTACS/NTACS (Япония) модификацияларига эга бўлган. TACS аналог стандартлари орасида тарқалиши бўйича иккинчи ўринда турган. 1995 йилда абонентлар базаси бўйича ҳам у жаҳонда иккинчи ўринни эгаллаган, лекин 1997 йилга келиб тез ривожланган рақамли стандартлар томонидан тўртинчи ўринга тушириб қўйилган;

- **NMT - 450** (ингл. *Nordic Mobile Telephone* - “Шимоллий давлатлар мобил телефони”, 450MGs диапазонда ишлаган, 1981 йилда ишга туширилган) мобил алоқа тарихидаги ilk стандартдир. Скандинавия давлатларида ва жаҳоннинг бошқа кўплаб минтақаларида фойдаланилган. “Скандинавия стандарти” номи билан машҳур бўлган. Жаҳоннинг аналог стандартлари орасида тарқалиши бўйича учинчи ўринни эгаллаган. Аҳоли нисбатан сийрак жойлашган ҳудудларда узоқ масофаларда алоқа таъминлаш учун анча қулай бўлган. 1985 йилда NMT-450 базасида 900MGs диапазонда ишлайдиган NMT-900 стандарти ишлаб чиқилган. У тизимнинг функционал имкониятларини кенгайтириш ва абонент сифимини сезиларли оширишга имкон яратган. Ўзбекистонда сотали алоқа даври бошланишида NMT-450 стандарти асосида “Уздунробита” ҚҚ ўз фаолиятини бошлаган;

- **C-450** (450MGs диапазонда ишлаган, 1984 йилда ишга туширилган) – асосан Германия ва Португалияда фойдаланилган;

- **RTMS 101H** (ингл. *Radio Telephone Mobile System* - “Радиотелефон мобил тизими”, 450MGs диапазонда ишлаган, 1985 йилда ишга туширилган) - Италияда ишлаб чиқарилган ва фойдаланилган;

- **Radiocom 2000** (170MGs, 200MGs, 400MGs диапазонларида ишлаган, 1985 йилда ишга туширилган) - Францияда ишлаб чиқарилган ва фойдаланилган;

- **NTT** (ингл. *Nippon Telephone and Telegraph System* - “Япония телефон ва телеграф тизими”, 800-900MGs диапазонларида учта вариантда ишлатилган, 1986 йилда ишга туширилган) – Японияда ишлатилган;

Барча аналог стандартларда овозни узатиш учун частотавий модуляция (ЧМ) ёки фазавий модуляция (ФМ) ишлатилган, бошқариш сигналларини (ёки сигнализацияни) узатиш учун эса частотавий манипуляциядан фойдаланилган. Турли каналларда ахборот узатиш учун частота спектрининг турли қисмларидан фойдаланилган. Турли стандартларда 12,5kGsdан 30kGsgача бўлган полосаларда FDMA усулидан фойдаланилган. Аналог тизимларнинг асосий камчилиги ҳам айнан шу билан боғлиқ эди, яъни ажратилган полосада частота бўйича каналларни ажратиш частота ресурсларидан самарали фойдаланиш имконини бермас эди ва, шу билан бирга, абонент сифими ҳам нисбатан кичик бўлишига сабаб бўлар эди.

Турли авлод сотали алоқа стандартлари

Мобил алоқа стандартлари	1G	2G	3G	Pre 4G
GSM / UMTS (3GPP) оиласи		GSM <ul style="list-style-type: none"> • GPRS • EDGE (EGPRS) <ul style="list-style-type: none"> ◦ EDGE Evolution • CSD • HSCSD 	UMTS <ul style="list-style-type: none"> • W-CDMA (UMTS) • HSPA <ul style="list-style-type: none"> ◦ HSDPA ◦ HSUPA ◦ HSPA+ • UMTS-TDD <ul style="list-style-type: none"> ◦ TD-CDMA ◦ TD-SCDMA • FOMA 	3GPP Rel. 8 <ul style="list-style-type: none"> • E-UTRA (LTE)
cdmaOne / CDMA-2000 (3GPP2) оиласи AMPS оиласи	<ul style="list-style-type: none"> • AMPS • TACS / ETACS 	cdmaOne	CDMA-2000 <ul style="list-style-type: none"> • EV-DO 	UMB
		D-AMPS (TDMA)		

Мобил алоқа стандартлари	1G	2G	3G	Pre 4G
Бошқа технологиялар				
<ul style="list-style-type: none"> • PTT • MTS • IMTS • AMTS • OLT • MTD • Autotel / PALM 	<ul style="list-style-type: none"> • NMT • Hicap • CDPD • Mobitex • DataTAC 	<ul style="list-style-type: none"> • iDEN • PDC • CSD • PHS • WiDEN 		<ul style="list-style-type: none"> • iBurst • HiperMAN • WiMAX • WiBro • GAN (UMA)
Кўп-сонли улавиш услублари	FDMA	TDMA/SSMA	CDMA/W-CDMA	OFDMA
Ишчи частота диапазонлари <ul style="list-style-type: none"> • Сотали тизимлар <ul style="list-style-type: none"> ○ GSM ○ UMTS ○ PCS • SMR 	170MGs, 200MGs, 400MGs, 450MGs, 800MGs, 900MGs	800MGs, 900MGs, 1800MGs, 1900MGs	800MGs, 1800MGs, 1900MGs, 2200MGs	2,4 – 2,6GGs, 3,5GGs 5,6GGs

Кўп сонли ўзаро мос бўлмаган стандартларнинг мавжудлиги ҳам жаҳонда сотали алоқа хизматларини оммалашшига ҳалақит берди. Бу камчиликлар ўтган аср 80-йилларининг ўрталаридаёқ, яъни жаҳоннинг етакчи давлатларида сотали алоқанинг кенг тарқалиши даврида яққол намоён бўлиб қолди, шу сабабли кўплаб тадқиқотчиларнинг асосий эътибори янги мукамал техник ечимларни қидиришга йўналтирилди. Бу ҳаракатлар ва қидирувлар натижасида иккинчи авлод тизимлари – “2G” номини олган рақамли сотали тизимлар пайдо бўла бошлади. Рақамли сотали алоқа тизимларига ўтишга замин яратган омиллар ушбу рақамли техниканинг кенг жорий этилиши, паст тезликли кодлаш усуллариининг ихтиро қилиниши ва сигналларга рақамли ишлов бериш учун жуда кичкина микросхемалар яратилиши кабилар бўлди.

Шу билан биринчи авлод тармоқларининг “асри” аста-секин тугаб, улар ўз ўрнини янги, иккинчи авлод тизимларига бўшата бошлашди. Аналог тизимларнинг абонентлари сони тез суръатларда камайиб борди: 1997 йил 91,4 миллион, 1999 йил 79,5 миллион, 2003 йилга келиб эса бор йўғи 54,5 миллион кишини ташкил этди ва ҳ.к. Лекин турли стандартлар учун бу жараён турлича кечди. Масалан, AMPS тармоқлари қисқа вақт ичида D-AMPS ва cdmaOne стандартлари билан алмаштирилган бўлса, аксинча, NMT-450 стандартининг амалдаги тармоқларини (2G томон қилинган баъзи бир такомиллаштиришлар билан) янги асрнинг бошларигача учратиш мумкин эди. Хулоса қилиб шуни айтиш лозимки, 1G тармоқлари ўзининг тарихий миссиясини (вазифасини) бажарди, яъни, биринчидан, каналларни ажратишнинг сотали принципи техник ғоясининг тўғрилигини тасдиқлади, иккинчидан, бу турдаги алоқанинг ўсиш имкониятини кўрсатди ва, ниҳоят, сотали алоқа тизимларини такомиллаштиришнинг асосий йўналишларни аниқлаб берди.

2.3.2. 2G – иккинчи авлод стандартлари

Юқорида қайд қилиб ўтилганидек, рақамли сотали алоқа тизимларининг илк лойиҳалари ўтган асрнинг 90-йиллари бошларида пайдо бўла бошлади. Бундай тизимларнинг олдинги аналог тизимлардан икки принципиал фарқи бор эди:

- аналог тизимлардаги каби каналларни частота бўйича тақсимлаш (FDMA) усули ўрнига вақт бўйича тақсимлаш (TDMA) ҳамда кодлар бўйича тақсимлаш (CDMA) усуллари билан бирга модуляциянинг спектрал самарадор усуллариини ишлатиш;
- овоз ва маълумот узатишни интеграциялаш билан биргаликда маълумотларни шифрлаш (маҳфийлаштириш) ҳисобига фойдаланувчиларга кенг турдаги хизматлар спектрини тақдим этиш имкониятини мавжудлиги.

Бироқ рақамли тизимларга ўтиш осон бўлмади. Масалан, АКШда AMPS аналог стандарти ўз вақтида жуда кенг тарқалган ва уни тўғридан-тўғри рақамли тизим билан алмаштиришни имконияти амалда деярли

мавжуд эмас эди. Ушбу муаммо бир частота диапазолида икки тизимнинг аралаш ҳолда ишлашини таъминлайдиган икки режимли аналог-рақам тизимини ишлаб чиқиш орқали ҳал қилинди. Мазкур стандарт бўйича ишлар 1988 йилда бошланиб, 1992 йилда тугатилди ва стандарт D-AMPS номини (*Digital* – инг. “рақамли” олд қўшимчаси билан) ёки IS-54 белгисини олди. Стандартнинг амалда ишлатилиши 1993 йилда бошланди.

Европада ҳам кўплаб бир-бирига мос бўлмаган аналог стандартларнинг мавжудлиги туфайли аҳвол қийинлашди. Бу ерда вазиятдан чиқишнинг ягона ечими умумий Европа стандарти - GSM (GSM-900, 900MGs диапазоли) нинг ишлаб чиқиши бўлди. Стандарт устида ишлар 1982 йили бошланди ва 1987 йилга келиб, стандартнинг барча асосий характеристикалари аниқлаб олинди. 1988 йилда эса стандартнинг асосий ҳужжатлари қабул қилинди. GSM-900 нинг амалда қўлланилиши 1991 йилдан бошланди.

Техник характеристикалари бўйича D-AMPS тизимига ўхшаш рақамли стандартнинг яна бир тури Японияда 1993 йилда яратилди. Дастлаб у JDC (инг. *Japan Digital Cellular* - “Япония рақамли сотали алоқаси) номи билан, кейинчалик, 1994 йилдан бошлаб эса PDC (инг. *Personal Digital Cellular* - “Персонал рақамли сотали алоқа”) номи билан танилди (2.2-жадвалга қаранг).

Мобил алоқа рақамли тизимларининг ривожланиши бу билан тўхтаб қолгани йўқ. D-AMPS стандарти каналларни бошқаришнинг янги усуллари яратилиши ҳисобига янада такомиллашиб борди. Гап шундаки, IS-54нинг рақамли версияси аналог AMPS стандартининг каналларни бошқариш тузилмасини ўзида сақлаб қолган, бу эса, ўз навбатида, тизимнинг имкониятларини чеклаб қўяр эди. Рақамли каналларни бошқаришнинг янги усули стандартнинг IS-136 версиясида (стандартнинг тижорат номланиши - TDMA) киритилди. Ушбу версия 1994 йилда ишлаб чиқилди ва 1996 йилдан бошлаб ишлатила бошлади. Бунда TDMA стандартининг AMPS/D-AMPS стандартлари билан мослашуви сақлаб қолинди, аммо бошқариш канали сиғими оширилди ҳамда тизимнинг функционал имкониятлари сезиларли даражада кенгайтирилди.

GSM стандарти техник такомиллаштиришни давом эттириб, (кетма-кет киритилган 1, 2 ва 2+ фазалар) 1989 йилда янги 1800MGs частота диапазолини ўзлаштира бошлади. GSM-1800 тизимининг аввалги GSM-900 тизимидан фарқи кўпроқ техник жиҳатдан эмас, балки техник ечимлар асосидаги маркетинг ютуқларидан иборат эди, яъни кичик ўлчамли ячейкалар (соталар) билан биргаликда, кенгрок диапазондаги ишчи частоталар полосасида ишлаш натижасида анчагина катта сиғимли сотали тармоқлар қуриш имкониятини берди. Нисбатан ихчам (компакт), енгил, қулай ва арзон абонент терминаллари ишлаб чиқиш натижасида мобил алоқа тизимидан фойдаланиш оммавий тус олишига эришилди. GSM-1800 стандарти (асосан GSM-900 стандартига қўшимчалар кўринишда) 1990-91 йилларда Европада ишлаб чиқилди ва DCS-1800 (инг. *Digital Cellular System*- “Рақамли сотали алоқа тизими”) номини олди. Стандарт дастлаб

(1993 йилларда) PCN (ингл. *Personal Communication Network* - "Персонал алоқа тармоғи") номи билан ҳам юритилди. Кейинчалик эса (1996 йилда) стандартни GSM-1800 деб номлаш тўғрисида қарор қабул қилинди.

GSM тармоқларининг ривожланиш йўлидаги асосий қадами – бу бир неча канал интервалларини (тайм-слотларни) бирлаштириш ҳисобига маълумот узатиш тезлигини ошириш имконини берадиган - HSCSD (ингл. *High Speed Circuit Switch Data* - канал коммутацияси ҳисобига юқори тезликда маълумот узатиш) схемасининг киритилиши бўлди. Тайм-слотларни бирлаштириш натижасида 19,2 (9,6x2) ва 28,8 (14,4x2) kbit/sek тезликларга эришиш мумкин бўлди. Бунда тармоқ тузилмаси ва аппарат қисмига эмас, балки протоколларни қўллаб-қувватлайдиган дастурий воситаларгагина тегишли ўзгартиришлар киритиш етарли бўлди. Юқорироқ тезликларга эришиш учун эса (масалан, $9,6 \times 4 = 38,4$ kbit/sek) абонент ускуналарининг аппарат қисмини модернизация қилиш талаб қилинарди.

Шуниси ажабланарлики, АҚШда 1800MGs диапазони бошқа фойдаланувчилар билан банд бўлса-да, лекин 1900MGs диапазонидида бўш полосалар топилди ва бу диапазон Америкада "Персонал алоқа тизимлари диапазони" (ингл. *Personal Communications System* - PCS) номини олди. "Сотали алоқа диапазони" номи эса (ингл. *Cellular Band*) 800MGs диапазонидида қолдирилди. 1900MGs диапазонини ўзлаштириш 1995 йилнинг охирларида бошланди ва бу диапазонда TDMA (IS-136) стандартининг ишлаши кўзда тутилди (бу даврга келиб, AMPSнинг шу диапазондаги аналог версияси ишлатилмас эди). GSM стандартининг ушбу версияси ("Америка" GSM-1900 ёки IS-661 стандарти) 1997 йилда ишга туширилди.

Японияда ҳам персонал алоқа йўналишида кескин бурилиш содир бўлди, бу ерда 1800MGs диапазонидидаги PHS (ингл. *Personal Handyphone System* - "Персонал қўл телефони тизими") стандарти 1991-1992 йилларда ишлаб чиқилиб, 1995 йилдан бошлаб кенг фойдаланишга топширилди.

Юқориди санаб ўтилган барча иккинчи авлод рақамли тизимлари каналларни вақт бўйича тақсимлаш (TDMA) усулига асосланган эди. Бироқ 1992-1993 йиллардаёқ, АҚШда Qualcomm компанияси томонидан каналларни кодли тақсимлаш (CDMA) усули асосидидаги стандарт ишлаб чиқилди ва ишлатиш учун тавсия қилинди. Стандарт cdmaOne номини ҳамда IS-95 белгисини олди. Стандарт дастлаб, 800MGs диапазонидида фойдаланиш учун мўлжалланган эди. 1995-1996 йиллар давомида cdmaOne асосидидаги тармоқлар АҚШ, Гонконг ва Жанубий Кореяда ишлатила бошлади. Шу билан бир вақтда АҚШда бу стандартнинг 1900MGs диапазонига мўлжалланган версияси ҳам ишлатила бошлади.

Шуни таъкидлаш лозимки, 2-авлод тизимлари ҳам бир-бирлари билан ўзаро мослашмаган эди. Жаҳоннинг уч йирик минтақасининг ҳар бирида - Шимолий Америка, Европа ва Осиёда турди технологиялар ва биринчи авлод аналог тизимларидан иккинчи авлодга ўтишнинг турди йўллари билан фойдаланилаётган эди. Бундан ташқари, ҳар бир минтақа

ичидаги айрим давлатлар ҳам ҳаракатдаги радиоалоқа тизимларини яратиш ва жорий этишга турлича ёндашаётган эдилар. Шунга қарамай, иккинчи авлод рақамли тизимлари олдида турган асосий масала - оммавий равишда овозли алоқа ва паст тезликда маълумот узатиш хизматларини тақдим этишга эришилган эди.

2.3.3. 2,5G авлод мобил алоқа тизимлари

Сигналларни рақамли узатиш тизимига ўтиш натижасида, бир томондан, радиоресурслардан фойдаланиш самарадорлигининг ошиши, бошқа томондан, маълумотларни юқори тезликда узатишга боғлиқ иловаларнинг оммавийлашиши ахборотларни узатиш усуллари ва мобил алоқа тизимларининг кейинги эволюциясига сабаб бўлди. Гарчи ўтган асрнинг 90-йиллар охирига келиб, 3G тармоқларининг асосий спецификация (тавсифнома) лари аниқланган бўлса-да, қуйида келтириб ўтиладиган айрим сабабларга кўра реал тижорат тармоқларининг пайдо бўлиши бироз кечикди. Бошқа томондан, GSM тармоқлари бутун дунёда шундай кенг тарқалган эдики, уларнинг яқин орада 3G тармоқларига алмаштирилиши ҳақиқатдан йироқ эди. Шунинг учун ишлаб чиқарувчилар томонидан GSM тармоқларидан 3G тармоқларига босқичма-босқич ўтиш (яъни, эволюцион тарзда, технологияларни такомиллаштириб бориш йўли билан) варианты тақлиф этилди. Бундай оралиқ босқич 2,5G¹⁶ авлод мобил алоқа тизимлари номини олган, пакетли режимда ахборот узатиш технологиясининг яратилиши орқали амалга оширилди. Маълумки, каналларни коммутациялаш тармоқларида радиоресурслардан фойдаланиш самараси анча паст: узатиладиган ахборот сеанслар асосида узатилади ва маълумотларни узатиш оралиқларида каналлар бекор туради. Шу сабаб радиотармоқларда фойдаланиладиган маълумот юбориш бўйича иловалар ва хизматлар тахлили ўтказилди ва унинг натижасида GPRS номини олган маълумотни пакетлар асосида узатадиган янги технология яратилди.

GPRS (ингл. *General Packet Radio Service* - умумий фойдаланиш учун пакетли радиоалоқа хизмати) - GSM технологияси устидаги маълумотларни пакетлаб узатувчи қурилмадир. GPRS технологияси фойдаланувчиларга GSM тармоғи ичидаги бошқа қурилмалар билан, ёки ташқи тармоқлар билан, жумладан, Интернет тармоғи билан маълумот алмашиш имконини беради.

GPRSдан фойдаланилганда, ахборот пакетларга бўлинади ва айти вақтда эгалланмаган овоз каналлари орқали узатилади. Бундай технология GSM тармоғида частота ресурсларидан самарали фойдаланиш имконини беради. Шунингдек, алоқа оператори овоз ва маълумот трафиклари орасида муҳимлик даражаси асосида имтиёزلарни ўрнатиши мумкин.

¹⁶ Баъзи адабиётларда бу технологиялар авлоди 2G+ деб ҳам аталади.

Бирданига бир неча каналлардан фойдаланиш эвазига маълумот узатиш тезлигини анча юқори даражага етказиш мумкин. Жумладан, TDMA тайм-слотларининг барчасини ишлатган ҳолда назарий максимал тезлик 171,2 kbit/sek.гача етиши мумкин. Маълумот узатиш тезлиги ҳамда товуш ва маълумот трафикларини аралаштириб узатиш имконияти бўйича GPRS технологиясининг турли синфлари мавжуд.

Алоқа сессияси ўрнатилганда, тармоқнинг ҳар бир ускунасига уникал (ягона) манзил (IP-манзил) ажратилади. GPRS технологияси TCP/IP протоколлар стекини¹⁷ қўллаб-қувватлайди ва шунинг учун унинг Интернет билан ишлаши фойдаланувчи учун “сезиларсиз” амалга ошади. GPRS хизмати маълумотларни ҳам юқори, ҳам паст тезликда узатиш, шунингдек, бошқариш сигналларини узатиш мақсадида ишлатилади ва шу билан тармоқлар ҳамда радиоресурслардан анча унумли фойдаланишни таъминлайди.

2.3.4. 2,75G авлод мобил алоқа тизимлари

GSM тизимларининг маълумотларни пакетлаб узатишда тезликни ошириш йўналишидаги кейинги ривожланиши EDGE технологиясининг яратилишига олиб келди. Ушбу технология илк бор 2003 йилда АҚШда ишга тушдирилди. Технология айнан Шимолий Америка GSM-операторлари томонидан қўллаб-қувватланди, чунки у ерда кучли рақобатчи - CDMA-2000 стандарти пайдо бўлган эди. Ҳақиқатан ҳам, 2003 йиллари кўплаб GSM-операторлар (асосан Европа операторлари) навбатдаги йўналиш сифатида UMTS технологиясини ривожлантиришни кўзда тутган эдилар, шунинг учун дастлаб EDGE нинг жорий этилишини ўтказиб юборишни ёки фақат UMTS тармоқлари қамрай олмаган ҳудудлардагина ишлатишни маъқул кўришди. Бироқ UMTS технологиясини жорий этишнинг иқтисодий жиҳатдан мураккаблиги ҳамда ишлар ҳажмининг катталиги (амалда тасдиқланганидек) баъзи ғарбий европалик операторларни EDGEга нисбатан ўз қарашларини қайта кўриб чиқишга мажбур қилди ва EDGE ёрдамида босқичма-босқич ривожланиш мақсадга мувофиқлиги таъминланди.

EDGE (ингл. *Enhanced Data rates for GSM Evolution*) - 2G ва 2,5G тармоқларига устқуришма, яъни такомиллаштирилган вариант сифатида ишлаб чиқилган мобил алоқа рақамли технологиясидир. Ушбу технология GSM ва TDMA стандартлари асосида ишлайди ва уни жорий қилиш учун маълум бир модификациялар ва такомиллаштиришлар талаб қилинади. EDGE технологиясида GSM/GPRSларда ишлатилган GMSK (ингл. *Gaussian Minimum-Shift Keying*) бинар манипуляция усули кўп позицияли 8PSK (ингл. *8 Phase Shift Keying*) усули билан алмаштирилиши ҳисобига

¹⁷ **Протоколлар стеки** - тармоқда тугушларни ўзаро ҳамкорлигини ташкил қилиш учун иерархик тарзда тузилган тармоқ протоколларининг тўплами. Энг таниқли протоколлар стеклари: TCP/IP, IPX/SPX, NetBIOS/SMB, DECnet ва SNA лардир.

GPRS технологиясига нисбатан маълумот узатиш тезлиги 3 мартага ошади (элтувчи фазасининг ҳар бир ўзгаришида GPRS даги 1бит ўрнига, 3 битли кетма-кетлик узатилади). Бу эса GSM/EDGE тармоғида тақдим этиладиган умумий тезликни сезиларли даражада ошириш имконини берди. Хусусан, EDGE технологияси 473,6kbit/sek гача тезликда (ҳар бири 59,2kbit/sek дан 8та тайм-слот жалб этилганда) маълумот узатиш тезлигини таъминлайди. Бу эса ХТИ томонидан 3G тармоқларига қўйилган талабларга мос келди. Шу боис EDGE технологияси ХТИ томонидан IMT-2000 Дастурининг бир қисми сифатида қабул қилинди ва у асосида қурилган тармоқлар ҳам 2G, ҳам 3G авлодига кириши мумкин (ташқил қилинган тармоқнинг ўтказиш қобилиятидан келиб чиқиб) деб тан олинди¹⁸.

EDGE технологиясининг ўзига хос хусусиятларидан яна бири ҳалақитбардошли кодлашда “қўпаювчан ортиқчалик” (ингл. *Incremental Redundancy*) усулини ишлатишдир. Бу усулда бузилган, яъни хатолик мавжуд пакетларни такрорий жўнатиш ўрнига қўшимча ортиқча маълумот (қўшимча “бит”) юборилади. Ушбу қўшимча маълумот қабул қилгичда йиғилиб туради ва бузилган пакетларни тўғри декодлаш имкониятини оширади. Шунингдек, GPRSдаги каби EDGE технологиясида маълумот узатиш тезлиги ва сифатига таъсир қилувчи, радиоканал ҳолатига мослаштирилган модуляция ва кодлаш схемасини адаптив созловчи MCS (ингл. *Modulation and Coding Scheme*) алгоритмидан фойдаланилган.

EDGE асосида қуйидаги технологиялар ишлаши мумкин:

- ECSD (ингл. *Enhanced Circuit Switch Data*) - CSD канали бўйича Интернетга тезкор уланиш;
- EHSCSD (ингл. *Enhanced High Speed Circuit Data*) - HSCSD канали бўйича уланиш;
- EGPRS (ингл. *Enhanced General Packet Radio Service*) - GPRS канали бўйича уланиш.

Шунга ўхшаш, оралиқ технологияларни ишлаб чиқиш иккинчи авлоднинг бошқа стандартлари учун ҳам пайдо бўлди. Хусусан, cdmaOne (IS-95) тармоқларида маълумот узатиш тезлигини ошириш учун модуляциянинг такомиллаштирилган усулларида фойдаланиш таклиф этилди ва бунинг ҳисобига трафикнинг асосий 64та каналига ортогонал бўлган 64та қўшимча канал ҳосил қилинди.

Шимолӣ Америкадаги кўпчилик GSM-операторлар бошқа регионлардаги операторлар каби 3G авлод оиласига яқин бўлган EDGE технологиясидан фойдаландилар. Американинг AT&T Wireless компанияси ушбу технология хизматларини ўз абонентларига 2003 йилда, T-Mobile USA 2005 йил октябр ойида, Канаданинг Rogers Wireless компанияси эса 2003 йил охирларида тақдим этди. EDGE технологиясининг қулайлик жиҳатлари унинг GSM стандарти ишлайдиган частоталарда ишлай олиши, мобил терминаллар ишлаб чиқарувчилар учун

¹⁸ Масалан, EDGE тармоғида максимал тезлик қабулда 236,8kbit/sek га етказилса, у 2Gга ҳам, 3Gга ҳам тааллуқли ҳисобланиши мумкин.

уни тадбиқ қилиш осонлиги, фойдаланишнинг қулайлиги, GSM технологиясида ишловчилар учун бу стандартга ўтишнинг осонлиги ва ҳоказолардир.

CDMA-2000 1X (IS-2000) (1xRTT ва 1x сифатида маълум бўлиб, ингл. *One Time Radio Transmission Technology*) - CDMA технологиясига асосланган маълумотларни юқори тезликда узатишга мўлжалланган мобил алоқа стандартидир. Стандарт пакетларни коммутациялаш ёрдамида узатиш принципи асосида ишлайди. Унинг назарий жиҳатдан максимал маълумот узатиш тезлиги 153kbit/sek, лекин амалдаги реал тезлиги 60-100kbit/sek ни ташкил этади. 1xRTT тизими 1,25MGs кенгликдаги ўтказиш полосасида ишлайди. Бу технология ҳам ХТИ томонидан ИМТ-2000 Дастурининг бир қисми сифатида тасдиқланган.

2.3.5. 3G – учинчи авлод стандартлари

Шундай қилиб, ўтган асрнинг охирида иккинчи авлод мобил алоқа тизимларининг асосий камчилиги уларнинг паст 9,6-14,4kbit/sek. тезликда малумот узатиши бўлди. Шу сабабли, юқорида кўрсатилганидек, ИМТ-2000 доирасида 3G тармоқларида кам ҳаракатланадиган абонентлар учун 2Mbit/sekгача ва мобил абонентлар учун 384kbit/sek гача маълумот оқими тезликларига эришиш бўйича ишлар олиб борилди. Маълумки, жаҳонда 3GPP ва 3GPP-2 номлари билан машҳур бўлган учинчи авлод стандартларини шакллантирувчи иккита глобал ҳамкорлик бирлашмалари мавжуд. 3GPP қатнашчилари частота (FDD) ва вақт (TDD) асосида дуплекслашдан фойдаланадиган кенг полосали W-CDMA (ингл. *Wideband-CDMA*) технологиялари учун хос хусусиятларни мувофиқлаштиришга эришдилар ва ХТИга тегишлича, ИМТ-DC ва ИМТ-ТС лойиҳаларини тақдим этдилар. Радиоинтерфейсни ташкил этиш бўйича асос сифатида Европа таклифлари - UTRA (ингл. *UMTS Terrestrial Radio Access* - UMTS тизимига ер усти уланиш радиоинтерфейси) асосида UTRA FDD ва UTRA TDD вариантлари қўйилди. 3GPP-2 бирлашма аъзолари D-AMPS технологиясини UWC-136 технологиясигача ва cdmaOne технологиясини CDMA-2000 технологиясигача ривожлантириш бўйича эволюцион йўлларни таклиф этишди. Бу таклифлар ХТИга, тегишлича, ИМТ-SC ва ИМТ-MC лойиҳалари сифатида тақдим этилди (2.3-жадвалга қаранг).

Шундай қилиб, ИМТ-2000 Дастури доирасида 3G даражасида стандартларни бирлаштиришга уринишларга қарамасдан, жаҳонда W-CDMA (UMTS, FOMA) ва CDMA-2000 технологиялари асосидаги ўзаро мослашмайдиган иккита стандартлар оиласи вужудга келди (2.4-жадвалга қаранг). Учинчи авлод мобил алоқа тизимлари ҳақида кейинги параграфларда атрофлича маълумот берилади, шу боис бу ўринда фақат уларнинг ривожланиш жараёнини ёритиш билан чекланамиз.

IMT-2000 радиоинтерфейслари

Радиоинтерфейс характеристикаси	Радиоинтерфейслар					
	IMT-DS	IMT-MC	IMT-TC	IMT-SC	IMT-FT	IMT Advanced
Спецификацияларни ишлаб чиқувчи ташкилот	3GPP, ARIB, ETSI	3GPP2, TTA, TR-45.3	3GPP, ETSI, CWTS	3GPP2, UWCC, TR-45.3, TTA	ETSI	IEEE
ЎТИ томонидан радиоинтерфейс қабул қилинган йили	1999й.	1999й.	1999й.	1999й.	1999й.	2007й.
Асосдаги технология	W-CDMA, UTRA FDD	CDMA-2000	UTRA TDD, TD-SCDMA	UWC-136	DECT EP	Wireless MAN, WiMAX
Уланиш усули	DS-CDMA	MC-CDMA	TDMA/CDMA	TDMA	MC-TDMA	OFDMA
Дуплекс ажратиш усули	FDD	FDD	TDD	FDD	FDD/TDD	TDD
Каналдаги манипуляция тезлиги (Мчип/сек.)	3,84		3,841 ¹⁾ 1,282 ²⁾	-	-	(0,5x3,84) ... (8x3,84)
¹⁾ UTRA TDD технологияси учун.						
²⁾ TD-SCDMA технологияси учун.						

2.4-жадвал

2G авлодидан бошлаб сотали алоқа тизимларининг стандартлари

2G	2,5G	2,75G	3G	3,5G	3,75G	Pre 4G	4G
<ul style="list-style-type: none"> • GSM • cdma One • D-AMPS • PDC 	<ul style="list-style-type: none"> • GPRS 	<ul style="list-style-type: none"> • EDGE 	<ul style="list-style-type: none"> • W-CDMA • UMTS • FOMA • TD-SCDMA • CDMA-2000 	<ul style="list-style-type: none"> • HSPA • HSDPA • HSUPA • EV-DO Rel.0 	<ul style="list-style-type: none"> • HSPA+ • EV-DO Rev.A,B 	<ul style="list-style-type: none"> • LTE 	<ul style="list-style-type: none"> • LTE Advanced

UMTS тармоқларининг жорий этилиши мобил алоқанинг ривожланишида принципиал янги босқич бўлди ва мобил тармоқларда маълумотларни узатишда максимал 2,048Mbit/sek гача тезликка эришишга имкон берди. UMTS тизимларининг GSM/GPRS/EDGE тизимларидан асосий фарқи 5MGs ўтказиш полосасига эга бўлган кенг полосали сигналлардан (КПС) фойдаланилиши бўлди. UMTS технологиясининг яна бир афзаллиги сигналнинг юқори тўсиққа бардошлилиги ва унинг кўп нурилилик таъсирига барқарорлиги ҳисобланади. Бундан ташқари, КПСдан фойдаланиш каналларини ажратишнинг кодли усулини (CDMA) ишлатиш имконини беради.

cdmaOne (IS-95) стандартининг ривожланишидаги оралиқ босқич IS-95b спецификацияси бўлди. У 8тагача мантиқий каналларни бирлаштиришга ва $14,4 \times 8 = 115,2 \text{ kbit/sek}$. назарий тезликка эришишга (реал тезлик 64 kbit/sek .ни ташкил этди) имкон берди. Кейинги қадам CDMA-2000 лойиҳаси бўлди, у пировард натижада IMT-2000 томонидан 3G тармоқларига қўйилган талабларга жавоб бериши керак эди. CDMA-2000 стандартлари ривожланишининг учта босқичи кўзда тутилган эди: 1X ($2,75 \text{ G}$ даражасида), 3X ва CDMA-2000DS (ингл. *Direct Sequence* – “тўғри кетма-кетлик”). Сўнги босқич техник жиҳатдан W-CDMAга ўхшаш бўлгани учун бу юзасидан иш олиб бориш тўхтатилди. CDMA-2000 стандартлари оиласи 3G даражасидаги тармоқлардан то Pre4G даражасидаги тармоқларгача оралиқ босқичлардан ўтиб келмоқда. Лекин ҳозирги кунда 3,5G, 3,75G, 3,9G авлодлари ҳақида гап кетганида, бизнинг ҳудудимизда кўпроқ 3GPP (яъни, UMTS - HSPA – HSPA+ ва LTE) технологияларининг ривожланиш босқичлари назарда тутилмоқда. Шу боис бу ерда айнан шу технологиялар ёритилади (2.6-расм) ва CDMA-2000 стандартларининг эволюцион босқичлари ҳақида учинчи авлод тармоқларига бағишланган 2.4-бобида таҳлил қилинади.

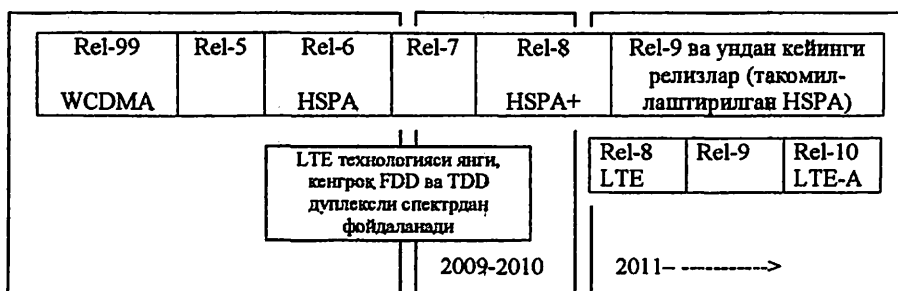


Рис. 2.6. 3GPP лойиҳасининг босқичлари

2.3.6. 3,5G авлод стандартлари

Маълумот узатиш тезлигини ошириш ва маълумот узатилишининг кечикишини (маълумот пакети адресатга етиб бориб қайтиш вақтини, қисқача, “жавоб кечикиши вақтини”) камайтириш мақсадларида UMTS стандартининг навбатдаги ривожланиш босқичида кўп позицияли квадратура-амплитудавий модуляциялар, яъни 16-QAM, 64-QAM усуллари қўлланилган HSPA (ингл. *High Speed Packet Access*) технологияси ишлаб чиқилди. Бу технологияда жавоб кечикиши вақтини камайтириш мақсадида асосий эътибор MAC (ингл. *Media Access Control*) - муҳитга уланишнинг бошқарув протоколини модернизациялашга қаратилди. HSPA технологияси 3GPP лойиҳаси стандартларининг 6 Босқич спецификацияси (ингл. *3GPP Release 6*) сифатида киритилган бўлиб, одатда 3,5G авлодига мансуб деб кўрсатилади. Ўз навбатида, HSPA стандарти иккита ташкил этувчи технологиялар – HSDPA ва HSUPAлардан иборат.

HSDPA (ингл. *High-Speed Downlink Packet Access* – “пастга” йўналишида маълумотларни юқори тезликда пакетли узатиш) – мутахассислар томонидан тўртинчи авлод технологияларига ўтишда оралиқ босқичларидан бири сифатида баҳоланаётган мобил алоқа технологиясидир. HSDPA технологиясида маълумот узатишнинг максимал назарий тезлиги 14,4Mbit/sek гача етиши мумкин, мавжуд тармоқларда амалий эришилган тезлик эса 3Mbit/sekни ташкил этади.

HSDPA технологияси каби **HSUPA** (ингл. *High-Speed Uplink Packet Access* – “тепага” йўналишида маълумотларни юқори тезликда пакетли узатиш технологияси) такомиллашган модуляциялаш усуллари ҳисобига фойдаланувчининг W-CDMA АУсидан БСга маълумот узатишни тезлатишга имкон берадиган мобил алоқа технологияси ҳисобланади¹⁹.

Назарий жиҳатдан HSUPA технологияси “юқорига” маълумотларни максимал 5,76 Mbit/sek гача бўлган тезликда узатишга мўлжалланган бўлиб, бу билан АУдан БСга маълумотларнинг катта оқимини талаб қилувчи учинчи авлод иловаларини (масалан, видеоконференция) ишга тушириш имконини беради.

2.3.7. 3,75G авлод стандартлари

3GPP доирасида HSPA технологиялари характеристикаларини яхшилаш бўйича ишлар давом этди ва натижада 2007 йилнинг охирида “Такомиллаштирилган HSPA” ёки HSPA+ (ингл. *Evolved High-Speed Packet Access*), деб номланган версия ишлаб чиқилди. Бу технология HSPA стандартининг кейинги босқичи ҳисобланади ва унга MIMO антенна

¹⁹ 3GPPда HSUPA технологиясини белгилаш учун EUL (ингл. *Enhanced Uplink* – “юқорига” йўналишда такомиллаштирилган узатиш) атамасидан ҳам фойдаланилади. HSUPA атамаси Nokia (Финляндия) компанияси томонидан таклиф этилган.

технологиялари билан бир қаторда, мураккаброк 64-QAM модуляция схемалари қўшилган. Шу боис HSPA+ тармоқларида назарий жиҳатдан “пастга” йўналишда 56Mbit/sek гача ва “юқорига” йўналишда 22Mbit/sek гача бўлган тезликларга эришиш мумкин бўлди. Ушбу технология маълумот узатиш тезлигини 168Mbit/sek гача ошириш потенциал имкониятига эгаллиги тахмин қилинмоқда. Технологияда бир неча элтувчи частоталарда (ҳар бири 5MGs дан) бир вақтда узатиш ва қабул қилиш принципи ҳам ишлатилиши мумкин, бу нарса тезликни бир неча марта ошириб бериши мумкин. Опционал равишда HSPA+ тармоқлари тўлиқ IP-архитектураси асосида (ингл. *all-IP-architecture*) қурилиши мумкин, бу БСларни IP-протоколлар асосида қурилган магистрал линияларга тўғридан-тўғри улаш имкониятини беради. HSPA+ технологиясида АУ лар аккумуляторлари тежамлироқ ишлатилади ва уларнинг “кутиш” режимидан “фаол” режимга ўтиш вақти сезиларли қисқаради.

HSPA+ технологияси 3GPP лойиҳаси стандартларининг 7- ва 8-босқичлари (релизлари)га (ингл. *3GPP Rel. 7 & 8*) қиради.

HSPA+ технологияси асосидаги биринчи тармоқ 2008 йилда Австралиянинг Telstra компанияси томонидан Ericsson (Швеция) усқуналари ёрдамида ишга туширилди. 2011 йилнинг май ойида жаҳоннинг 65 давлатида 123та HSPA+ тармоқлари бор эди [19].

2.3.8. 3,9G ёки Pre 4G авлод стандартлари

Wi-Fi/WiMAX симсиз маълумот узатиш тармоқларида OFDM технологиясидан фойдаланиш эвазига келиб чиққан техник “инқилоб” мобил алоқа дунёсини ҳам четлаб ўтмади. HSOPA (ингл. *High Speed OFDM Packet Access*) технологиясини ишлаб чиқиш билан бошланган йўл 3GPP лойиҳаси стандартларининг 3GPP-LTE (ингл. *3GPP Long Term Evolution*) узоқ муддатли эволюция концепциясига қўшилиб кетди. Эслатиб ўтиш керакки, OFDM асосида ишлаб чиқилган радиоинтерфейс технологияси 2007 йилда ХТИ томонидан IMT-2000 Дастурининг асосий радиоинтерфейси сифатида қабул қилинган (2.4-жадвалга қаранг).

3GPP-LTE (қисқартирилган ҳолда LTE) – маълумот узатиш тезликларига бўлажак талабларни қондириш учун UMTS стандарти имкониятларини такомиллаштирувчи мобил алоқа технологияси ҳисобланади. Бу такомиллашув алоқа самарадорлигини ошириш, тармоқларни ташкил этишдаги сарф-харажатларни камайтириш, тақдим этиладиган хизматлар даражасини кўтариш ва кенгайтириш, шунингдек, мавжуд мобил ва кенг полосали алоқа протоколлари билан ўзаро ишлаш кабиларни ўз ичига олади. Назарий жиҳатдан LTE технологиясида маълумотларни “пастга” узатиш тезлиги 326,4Mbit/sek гача, “юқорига” эса 172,8Mbit/sek гача етиши мумкин. LTE стандартининг 8 версиясидаги (3GPP Rel.8) имкониятлари 4G талабларигача етиб бормагани туфайли сўнгги пайтларда LTE кўпинча 3,9G ёки Pre4G авлод мобил алоқа технологиялари деб аталмоқда.

2.3.9. 4G - тўртинчи авлод стандартлари

Мобил алоқа дунёсини олдинда янги имкониятларга эга бўлган технологиялар ишланмалари кутмоқда. Ҳозирги кунда ўтказилаётган тажрибалар натижалари 4G технологиялари олдига ҲТИ томонидан кўйилган талабларга эришиш мумкинлигини тасдиқламоқда. Масалан, Япониянинг NTT DoCoMo компанияси 2009 йилдаёқ мобил алоқа тармоқларини синаш жараёнида маълумотларни узатишда 5Gbit/sek тезлигига эришди, ва бунда ММО технологиясини 12x12 ажратиш схемасидан фойдаланди, мобил станция эса 10km/soat тезликда ҳаракатланди [20].

Юқорида таъкидлаб ўтиланидек, 2002 йилда ҲТИ нинг Радиоалоқа Сектори (МСЭ-R) ИМТ келажагини стратегик кўринишини ифодаловчи ИМТ-Advanced (4G) ташаббусини тақлиф қилган эди. Уни ишлаб чиқиш жараёнида муносиб хизматлар яратилди, ИМТ-Advanced лойиҳасига таълуқли ишчи характеристикаларнинг талаблари ва ҳажми аниқланди ва уларни баҳолаш услублари батафсил таёрланди. МСЭ-R нинг 5D ишчи гуруҳи қошида бутун дунёдан егилган мустақил ташқи баҳолаш гуруҳлари ёрдамида ҲТИ га 2009 йил октябрида топширилган 4G радиоинтерфейслари бўйича олти тақлиф ҳар бири алоҳида батафсил ўрганиб чиқилди. Натижада, 2010 йил ноябрида Женевада бўлиб ўтган Бутунжаҳон радиоалоқа конференциясида икки технология: “LTE-Advanced” ва “WirelessMAN-Advanced” ИМТ-Advanced технологиялар тизимининг биринчи версияси сифатида қабул қилинди.

2.5-жадвалда ўтказилган таҳлиллар якунидаги мобил алоқа тизимлари эволюцион ривожланишининг асосий кўрсаткичлари келтирилган.

2.5 – жадвал

Мобил алоқа тизимлари эволюцияси

Мобил алоқа авлодлари	1G	2G	2,5G	3G	3,5G	4G
Ишлар бошланиши йили	1970	1980	1985	1990	<2000	2000
Ишга тушириш йиллари	1984	1991	1999	2002	2006-2007	2009-2012
Кўрсатилаётган хизматлар	Аналог стандартлар	Рақамли стандарт, SMS, 9,6kbit/sek маълумот узатиш тезлиги	Тармоқнинг катта ҳажми, маълумотларни пакетли узатиш	Тармоқнинг янада катта ҳажми, 2 Mbit/sek гача тезлик	3G тармоқларидаги тезликларни ошириш	Катта ҳажмли, IP-асосидаги тармоқ, мультимедиа, юзлаб Mbit/sek тезлик

2.4. 3G - учинчи авлод сотали алоқа тизимлари

3G атамаси билан (ингл. *third generation* – «учинчи авлод») маълумот узатиш ва Интернет тармоқларига юқори тезликда мобил уланиш билан бирга, маълумот узатиш каналини яратувчи радиотехнология ёрдамида фойдаланувчиларга бир қатор хизматлар тўпламини тақдим этувчи сотали алоқа тизимлари номланади.

3G тизимлари мобил алоқанинг турли хизматлари, «глобал роуминг» ҳамда мультимедиянинг кенг имкониятларини, жумладан: видеотелефония ва видеоконференция хизматлари; Интернет ва интранетга (яъни, ички тармоқларга) юқори тезликда уланиш; турли хилдаги бизнес, кўнгилочар ва илмий хизматларга алоқадор маълумотларни узатиш кабиларни тақдим этади. Ушбу тизимлар абонентларнинг ҳаракатланиш тезлиги чекланмаган ҳолатида - 64kbit/sek, ҳаракатланиш тезлиги чекланган ҳолатда (пиёда юргандаги тезлик) - 384kbit/sek, абонент ҳаракатланмаган ҳолатида эса 2Mbit/sek гача бўлган тезликларда маълумот узатиш имконини беради. 3G тизимларининг иккинчи авлод (2G) тармоқларидан асосий фарқи ҳам катта ҳажмдаги маълумотларни юқори тезликда узатиш имкониятидadir. Бу эса ўз навбатида мобил алоқани сифат жиҳатдан янги даражага кўтаради: бир томондан абонент Интернетга тўлақонли уланиш, видеоалоқа хизматлари, юқори тезликда маълумот узатиш имкониятларига эга бўлса, иккинчи томондан - операторлар аънанавий алоқа хизматларидан даромад олиш билан бирга, турли хилдаги қўшимча хизматларини кўрсатиш ҳисобига янги даромад манбаларига эга бўладилар. 3G тизимлари - видеотелефон алоқасини ташкил этиш, мобил телефон ёрдамида фильмлар ҳамда турли теледастурларни томоша қилиш имконинихам беради.

Юқорида таъкидлаб ўтилганидек, дунёда 3G стандартларининг асосий икки оиласи: W-CDMA (UMTS, FOMA) ҳамда CDMA-2000 технологиялари асосидаги тизимлари мавжуд. UMTS стандарти асосан Европада, FOMA - Японияда, CDMA-2000 эса Америка ва Осиё қитъаларида тарқалган. Шунингдек, асосан Хитойда тарқалган TD-SCDMA стандарти ҳам 3G технологиялари оиласига киради.

Мобил алоқа қурилмаларини таъминловчиларнинг глобал уюшмаси - GSA (ингл. Global Association of Mobile Suppliers) нинг маълумотларига кўра, 2011 йилнинг май ойида бутун дунёдаги 3G ва 3,5G тармоқлари сони 710тани ташкил этган, бу эса дунёдаги барча сотали алоқа тармоқларининг 25% ни ташкил этган [21]. Бунда 400та тармоқ W-CDMA технологияси асосида қурилган бўлиб, ушбу тармоқлардаги абонентлар сони 684млн. ташкил этган. Шу билан бирга 323тадан ошди тармоқлар CDMA - 2000 стандартлар оиласи асосида қурилган ва уларда абонентлар сони 561млн. ташкил этган. Шу жумладан 245та тармоқ EV-DO (Rel.0, Rev. A, B) стандарти асосида қурилган [22].

3G тизимларининг имкониятлари яккахон миждозлар учун ҳам, жамоа бўлиб фойдаланувчи (корпоратив) миждозлар учун ҳам мобил алоқадан

фойдаланишнинг янги қирраларини очади. Юқорида таъкидлаб ўтилган Интернетга уланиш ҳамда видеоалоқа хизматларидан ташқари, 3G абонентлари корпоратив тармоқларга масофадан туриб уланишлари ҳам мумкин. Ва бу билан мобил алоқанинг учинчи авлоди офисда ишлашнинг анъанавий тарзини тубдан ўзгартиради.

2.4.1. 3G тизимларининг ривожланиш тарихи

Янги (учинчи) авлод мобил алоқа тизимларини яратиш ишлари 1986 йилларданоқ халқаро телекоммуникация иттифоқи (ХТИ) доирасида бошланган эди. Уша пайтдаёқ *FPLMTS* (ингл. *Future Public Land Mobile Telecommunications System* — «Умумий фойдаланувдаги қуруқликдаги мобил алоқа истиқболли тизими») номи остида ягона стандарт концепцияси ишлаб чиқилган эди. 1992 йилда ХТИ таркибидаги радиочастоталар бўйича бутун дунё маъмурий конференцияси (WARC-92) *FPLMTS* тармоқларини ривожлантириш учун глобал равишда 2GGs диапазонида 230MGs частоталар полосасини ажратди. Бундан ер усти тизимлари учун 170MGs (1885-1980MGs, 2010-2025MGs ва 2110-2170MGs) ҳамда келгусида қурилажак сунъий йўлдош алоқа тизимлари учун 60MGs (1980-2010MGs ва 2170-2200MGs) полосалар ажратилди [23]. Янги авлод алоқа тизимлари концепциясини ривожлантириш жараёнида унинг яратувчиларига шу аён бўлдики, ер усти алоқа тармоқлари билангина глобал алоқа қамровини таъминлашни иложи бўлмайди ва бу фақатгина сунъий йўлдошли алоқа тизимлари ёрдамида амалга оширилиши мумкин. Шунинг учун, 1995 йилда ХТИда иккита дастурни, яъни юқорида таъкидланган *FPLMTS* ва *GMPCS* (ингл. *Global Mobile Personal Communications by Satellite* — «Глобал йўлдошли алоқа персонал тизими») ни бирлаштириб, «Бутун дунё мобил алоқа тизими» - *IMT-2000* (ингл. *International Mobile Telecommunications*) Дастурини яратиш бўйича қарор қабул қилинди. Бунда «2000» сони тасодифан танланмади: у дастурнинг ишга тушиш йили, унда ишлатилиши режалаштирилган радиочастота диапазони (MGsда) ва кўзланган маълумот узатиш тезлиги (kbit/sek..да) каби кўрсаткичлар билан боғлиқ.

Шундай қилиб, *IMT-2000* — бу ер усти ва йўлдошли алоқа манфаатларида тўлиқ хизматлар тўпламини тақдим этувчи миллий, регионал ва халқаро тармоқларни тадбиқ этишда кўмаклашувчи ва стандартлаштириш бўйича узоқ муддатли дастур шаклида қабул қилинди.

3G тармоқларини ривожлантириш режасида иккита: дискриминацион ва нодискриминацион ёндашув ишлаб чиқилган эди. Биринчи ёндашувда, жами ажратилган частота ресурслари барча иштирокчилар орасида тенга тенг тақсимланиши кўзда тутилган эди. Иккинчи ҳолда, бир неча истиқболли технологиялар ажратиб олиниши ва келгусида фақат уларни ривожлантириш таклиф этилган эди. Лекин, концепцияни ишлаб чиқиш босқичидан аниқ лойиҳаларга ўтиш жараёнида

турли халқаро ва минтақавий ташкилотлар манфаатларини ягона стандарт доирасида бирлаштиришнинг иложиси йўқлиги яққол кўриниб қолди.

IMT-2000 стандартларини яратиш устида олиб борилган ишлар шуни кўрсатдики, уша даврда фақатгина умумий тавсияларни ишлаб чиқиш масалалари муваффақиятли ечилиши мумкин экан. 2G тармоқларидан 3G тармоқларига ўтиш эволюциясининг тахлили жаҳоннинг турли регионларидаги айрим аппаратура ишлаб чиқарувчилар манфаатларида жиддий фарқлар мавжудлиги ва уларни бирлаштиришнинг деярли имконияти йўқлигини кўрсатди. Масалан, бир қатор тақдим этилган учинчи авлод ер усти ва йўлдошли алоқа тизимларининг лойиҳаларида келтирилишича, амалда бир хил даражадаги хизматлар тақдим этилсада, бироқ радиоулашиш услубларида принципиал турли, яъни TDMA ва CDMA технологияларидан фойдаланилган. Шулар сабаб, ушбу босқичда ҳар хил лойиҳаларни бирлаштириш ва жаҳон миқёсида ягона стандарт яратиш имкони бўлмади.

1998 йилга келиб, ХТИ қошида Европа, Шимолий Америка ва Осиё-Тинч океани минтақасининг кўплаб ҳудудий ва миллий ташкилотлари иштирокида олиб борилаётган янги технологияларни стандартлаштириш жараёни тўлиқ тугатилди. Учинчи авлод тизимларига ягона талабларни ишлаб чиқиш ва мослаштиришга қатор муваффақиятсиз уринишлардан сўнг, ХТИ бу муаммога ўзгача ёндашишга қарор қилди. Хусусан, унинг янги концепцияси, “глобал роуминг” ғоясини сақлаб, уни янги IFS (ингл. *IMT-2000 Family of Systems*) номини олган учинчи авлод тизимларини мавжуд аналог ва рақамли тармоқлари билан бирлаштириш учун ғоявий асос сифатида ишлатиш бўлди. Бир неча стандартлар гуруҳини қабул қилган, ва бу билан глобал халқаро стандарти ғоясидандан воз кечган ХТИ бу стандартларни яқинлаштиришга (гармонизация) ўз уринишларини фаоллаштирди. Шундай қилиб, дунёда учинчи авлод даражасида бир эмас, балки стандартлар оиласи вужудга келди.

Дунёда илк бор 1996 йилда Ericsson компанияси томонидан Чиста (Швеция) шаҳрида W-CDMA технологияси асосида 3G тажрибий тармоғи қурилиб, ишга туширилди. Бу технология Европада универсал алоқа тизими бўлган UMTS - ер усти мобил сегменти лойиҳасига асос бўлди. CDMA-2000 асосидаги биринчи тармоқ 2000 йил октябр ойида Жанубий Кореяда SK Telecom ҳамда LG Telecom компаниялари томонидан ишга туширилди. FOMA (W-CDMA) нинг илк тармоғи 2002 йилда Японияда NTT DoCoMo компанияси томонидан ишга туширилди. Япон операторларини W-CDMA технологиясида абонент сифими юқорилиги қизиқтирди. Биринчи TD-SCDMA тармоқлари эса 2006 йилдан бошлаб, Хитойда ишга туширилди.

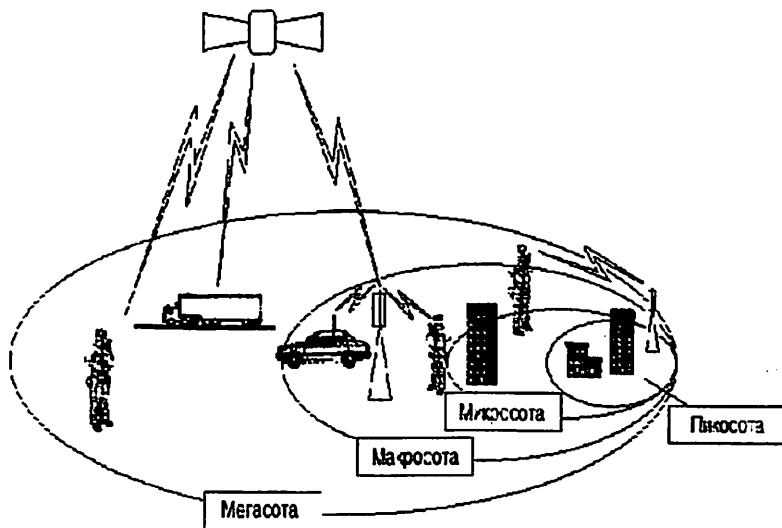
Ўзбекистонда биринчи 3G тармоқларини яратиш ишлари 2007 йилдан бошланди. 2008 йилнинг охирига келиб, икки оператор (МТС ва Билайн) 3G тармоқларини тижорат мақсадида фойдаланишга тушириши ҳамда Интернетга кенг полосали уланиш хизматларини тақдим этиши ҳақида эълон қилди. Учинчи оператор (UCell) ўзининг 3G тармоғини 2009

йилда ишга туширди. Шунингдек, Ўзбекистонда 800MGs ва 450MGs диапазонларида CDMA-2000 стандарти асосида ишловчи икки тармоқ (Perfectum Mobile ва UzMobile) фаолият олиб бормоқда.

2.4.2. 3G тизимларининг қурилиш принциплари

Учинчи авлод мобил алоқа тизимлари қуйидаги принциплар асосида қурилади:

- “умумқамров” алоқа, яъни «ҳамма жойда ва ҳар доим» мавжуд алоқа - бу принцип Ернинг исталган жойида умумий фойдаланиш тармоқларига уланиш имконияти мавжудлигини кўзда тутди. 3G тизимларини яратишда UPT (ингл. *Universal Personal Telecommunications* – “Универсал шахсий алоқа”) технологияси муҳим ўринни эгаллайди. Унга мувофиқ, ер юзида яшовчи ҳар бир шахс учун офис, шаҳар, минтақа ва глобал масштабдаги алоқа тармоқларига исталган жойда ва исталган вақтда улана олиши учун шахсий идентификация рақами ажратилади (2.7-расм) [24];



2.7-расм. IMT-2000 доирасида ер усти ва йўлдошли алоқа тармоқларининг бирлашиши

- ягона ахборот майдони, яъни бутун дунё ахборот майдони ресурсларига мобил тарзда уланишнинг унификацияланган (яқинлаштирилган) услубларини ишлаб чиқишни кўзда тутди. Бу радиоуланиш ва Интернет тармоқларининг интеграциялаш (бирлаштириш) йўли билан амалга оширилади;

- ягона частота майдони, IMT-2000га мувофиқ 3G тизимларини ривожлантириш учун бутун дунё негизда 2GGs диапазонида 230MGs кенгликдаги частоталар полосасини ажратилиш кўзда тутилади;

- мобил терминалларнинг оммабоплиги, 3G тармоқлардаги мобил терминаллар кўп функцияли, кўп режимли, фойдаланувчилар талабларига мос ва шу билан бирга ихчам ва арзон нархда бўлиши назарда тутилади;

- мобил ва турғун алоқа тизимларининг бирлаштирилиши - **FMC** (ингл. *Fixed Mobile Convergence*) – турғун ва мобил алоқа хизматларининг интеграциялаш ва конвергенциялаш (бир бирига сингиши) ҳамда «бир киши - бир телефон» принципини амалга ошириш кўзда тутилади;

- «**фрақамли тенгсизлик**» (ингл. *Digital Divide*) муаммосини ечиш, яъни дунёнинг турли давлатлари ва миштакаларида алоқа ва ахборот технологиялари ривожланишида фарқни (номутаносибликни) қисқартириш. Шунга кўра, 3G тизимлари бу фарқни тузатиш мақсадида кўприк (ингл. *Bridge the Telecommunications Gap*) вазифасини ўташи лозим.

3G тизимларини ишлатиш учун мобил алоқа глобал унификацияланган стандартлари бўйича қуйидаги тавсиялар ишлаб чиқилган эди:

- овоз узатиш сифатини симли алоқа тармоқларидаги овоз узатиш сифати даражасига етказиш;

- ахборот хавфсизлигини таъминлашда симли тармоқлардаги хавфсизлик даражасига етказиш;

- миллий ва халқаро «роуминг» ни таъминлаш;

- бир неча маҳаллий ва халқаро операторлар тармоқларига улана олишни таъминлаш;

- частоталар спектрдан самарали фойдаланиш;

- кўп сатҳли сотали тузилмалар (структуралар) ни қўллаб қувватлаш;

- пакетли ва каналли коммутация услубларини таъминлаш;

- йўлдошли алоқа тизимлари билан ўзаро ишлаш имкониятини таъминлаш;

- маълумот узатиш тезлигини босқичма-босқич 2Mbit/sek гача етказиш.

2.4.3 3G стандартлари

2.4.3.1. UMTS стандарти

UMTS стандарти (ингл. *Universal Mobile Telecommunications System* – “Мобил алоқа универсал тизими”) - учинчи авлод мобил алоқа тизимлари туркумига кирувчи сотали алоқа технологиясидир. Ушбу стандартда радиоэфир орқали маълумот узатиш услуги сифатида W-CDMA технологиясидан фойдаланилган. UMTS тизими 3GPP лойиҳасига

мувофиқ стандартлаштирилган ва Европа ишлаб чиқувчилари томонидан ХТИнинг IMT-2000 Дастури бўйича талабларига жавоб беради. Рақобатдаги тизимлардан ажралиб туриши учун UMTS стандарти гоҳида 3GSM деб ҳам юритилади. Шу билан, бир томондан, уни 3G-учинчи авлод технологияларига тегишлилиги таъкидланса, иккинчи томондан, уни GSM тармоқларининг “кейинги авлодчилиги” назарда тутилади.

UMTS стандартининг характеристикалари

Каналларни код асосида бўлиш (CDMA) технологиясининг кириб келиши мобил алоқа тизимларининг ривожланишига катта туртки бўлди ва 3G тармоқларида 2G тармоқларида эришилмаган имкониятларга эришишга замин яратди. Бунга ёрқин мисол - бу радиосигналининг қувватига нисбатан қабул қилгичнинг юқори сезгирлиги асосида сигнални нурланиш қувватини тезкор тарзда бошқариш имконияти пайдо бўлгандир. Шунингдек, UMTS технологиясининг ўзига хос хусусиятларига қуйидагиларни ҳам киритиш мумкин:

- RRC – тармоқ радиоресурсларини янада ихчамроқ бошқариш;
- хизматлар сифати (ингл. *Quality of Service - QoS*) ни «бошидан-охиригача» (яъни, “сўнги фойдаланувчидан – сўнги фойдаланувчигача” занжирида) бошқаришни қўлланилиши;
- янги - “транспорт” каналларини киритиш ҳисобига сигнал узатувчи физик муҳитдан фойдаланишнинг самарадорлигини ошириш;
- MGW ва SoftSwitch медиашлюзларини тадбиқ этиш йўли билан таянч тармоғи (ингл. *Core Network*) трафигини оптималлаштириш;
- тармоқда IP- протоколдан фойдаланишни максимал кенгайтириш;
- адаптив (мослашувчан) овоз кодекларининг хилма-хиллиги (AMR-NB, AMR-WB, AMR-WB+);
- турғун алоқа тармоқлари билан конвергенциялаш (SS7 сигнализацияси асосида);
- “IP асосидаги овоз” (ингл. *VoIP*) хизматидан фойдаланиш имкониятлари;
- интеллектуал антенна тизимлари (йўналтириш диаграммасини адаптив холда бошқарувчи «сма́рт-антенналар») дан фойдаланиш имкониятлари.

Бироқ, UMTS стандартининг (ва барча 3G стандартларининг) 2G стандартларига нисбатан асосий ажратиб турувчи хусусияти - бу маълумот узатиш тезлигини мумкин қадар оширилиши бўлса ажаб эмас. UMTS тизимининг асл даражасида маълумот узатиш тезлигини назарий 2Mbit/sek гача етказиш имкони мавжуд. HSPA ва HSPA+ каби UMTS базасида қурилган янги технологияларнинг ишлатилиши натижасида, юқорида баён этилганидек, мувофиқ равишда 14Mbit/sek ва 100Mbit/sek гача тезликларни таъминлаш мумкин. Шу билан, UMTSнинг ҳатто асл вариантыдаги тезлик кўрсаткичларихам GSMдаги 9,6kbit/sek, ёки ҳатто GPRSдаги 171kbit/sek ва

EDGEдаги 474kbit/sek. тезлик кўрсаткичларига нисбатан сўзсиз прогресс (ўсиш) ҳисобланади ва Интернет тармоқларига ва бошқа «тезкор» сервисларга мобил терминаллар орқали кенг полосали уланиш имкониятларини беради.

UMTS стандарти радиointерфейси технологияси²⁰

UMTS тизими GSM тармоғининг «ядриси» (таянч тармоғи) га W-CDMA, TD-CDMA²¹ ёки TD-SCDMA²² радиointерфейс технологияларидан бирини тадбиқ этиш асосида қурилиши мумкин. Лекин, сўнги вақтда UMTS (ёки ўхшаш - FOMA) тармоқларини ишлатаётган қўллаб операторлар радиointерфейс технологияси сифатида айнан W-CDMA вариантини танлашмоқда.

W-CDMA (ингл. *Wideband Code Division Multiple Access* – “каналларни кодли бўлиш асосида кўп сонли кенг полосали уланиш”) - 3G хизматларини қўллаб-қувватлаш мақсадида кенг полосали радиоуланишни таъминлаш учун қўллаб сотали алоқа операторлари томонидан танлаган радиointерфейс технологиясидир. W-CDMA технологияси фойдаланувчиларга юқори тезликдаги мультимедиа хизматларини тақдим этиш учун оптималлаштирилган ва 2Mbit/sek гача тезликда маълумот узатишни таъминлай олади. Маълумки, бундай тезликлар кенг частоталар полосасини талаб қилади, шунинг учун W-CDMAда полоса кенглиги 5MGsни ташкил этади. W-CDMA технологиясини мавжуд GSM ва PDC - иккинчи авлод тармоқларига қўшимча ўзгартиришлар киритиш йўли билан қуриш мумкинлиги уни тармоқ ресурсларидан фойдаланиш ва глобал мослаштириш нуқтаи назардан истиқболли эканлигидан дарак беради. W-CDMA дастлаб GSM тармоқларини алмаштирилиб, аста - секин 3G тармоқларига ўтиш технологияси деб қабул қилинган. Шунинг учун унинг тармоқ инфратузилмаси MAP/GSM²³ архитектураси билан мос келади, ва европадаги W-CDMA тармоқлари учун яратилган абонент терминаллар GSM тармоқларида ҳам ишлай олади. Бу эса операторларга, аввалига, аҳолиси зич жойларда W-CDMA «оролчаларини» яратиш (2G/2,5G тармоқлари билан ўзаро хизматда), кейин эса, босқичма-босқич уларни йирик тармоқларга айлантириш имкониятини беради. Бундан ташқари, W-CDMA технологияси пакетли коммутация протоколларини (IP, X.25) қўллаб-қувватлашга мўлжаллангани туфайли, бу уни умумий

²⁰ Қуйидаги маълумот UMTSдан фарқи, лекин W-CDMA радиointерфейсини ишлатадиган, (масалан FOMA) тармоқлари учун қўлланилмайди.

²¹ TD-CDMA (янгл. *Time Division – CDMA*) каналларни кодли-вақтли ажратиш асосида кўп сонли уланиш.

²² TD-SCDMA (ингл. *Time Division - Synchronous CDMA*) – каналларни синхрон кодли-вақтли бўлиш асосида кўп сонли уланиш.

²³ MAP – (янгл. *Mobile Application Protocol*) – мобил абонентларга хизмат кўрсатиш учун GSM таянч тармоғи қисмларининг иловалар сатҳида ўзаро ишини таъминлайдиган SS7 протоколи.

фойдаланишдаги бошқа тармоқлар билан ўзаро ишлашнинг соддалаштирилади.

W-CDMA технологияси ҳар бир каналда 5MGsлик полосада спектрни тўғри кетма-кетликда кенгайтириш - DSSS (ингл. *Direct-Sequence Spread Spectrum*) услубига асосланган. Дастлаб белгиланган чиплар оқимининг тезлиги (4,096 Mchip/sek) кейинчалик бошқа технологиялар билан мослашиш мақсадида бир оз камайтирилди (3,84 Mchip/sek гача). W-CDMA технологияси чекланган ҳаракатдаги абонентлар учун талаб қилинган 2 Mbit/sek гача ва юқори ҳаракатдаги абонентлар учун 384Mbit/sek гача маълумот узатиш тезликларини қўллаб-қувватлаши мумкин.

Ишлаб чиқувчилар томонидан W-CDMA технологиясининг икки варианты таклиф этилган: частота ва вақт бўйича дуплекслаш асосидаги жуфтлик (ингл. муносиб равишда *FDD W-CDMA* ва *TDD W-CDMA*). Улар учун 2110-2170MGs ва 1920-1980MGs полосаларида пойлик частоталар ҳамда 1900-1920MGs ва 2020-2025MGs полосаларида 25MGs гача пойсиз частоталар ажратиш таклиф этилган. *FDD W-CDMA* технологиясини ташкил этиш принциплари кўп жиҳатдан *cdmaOne* технологиясиникига ўхшасада, лекин, табиийки, W-CDMA технологияси анча мураккаброқ. Принципиал фарқларидан бири - *FDD W-CDMA* асосидаги тармоқлар ҳам синхрон, ҳам асинхрон режимларда ишлаши мумкинлиги ҳисобланади. Жуфт каналларга 5MGs частотани ажратиш имконияти бўлмаган ҳоллар учун *TDD W-CDMA* версияси қўл келиши мумкин. Вақтлик дуплекслаш принципи оддий бўлиб, бутун вақт диапазони тенг канал интерваллари (оралиқлари) кетма-кетликларига бўлинади. Ҳар бир канал интервали давомида ҳар бир мантиқий каналда (кодли тақсимлаш асосида) фақат бир йўналишда, ё «пастга» йўналишда, ёки «юқорига» йўналишда узатиш амалга оширилади. Шу тарзда, маълум вақт оралиқларида барча каналлар ёки чиқувчи, ёки кирувчи бўлади. Кирувчи/чиқувчи каналларнинг оралиқ интерваллари орасидаги муносабат ва кетма-кетлик икки томонга узатилаётган трафикнинг интенсивлигига (фаоллигига) боғлиқ равишда мослашувчан тарзда ўзгариши мумкин. Бу эса ассиметрик маълумот узатувчи қўллаб иловалар (масалан, Интернетга уланиш) учун ўта муҳим.

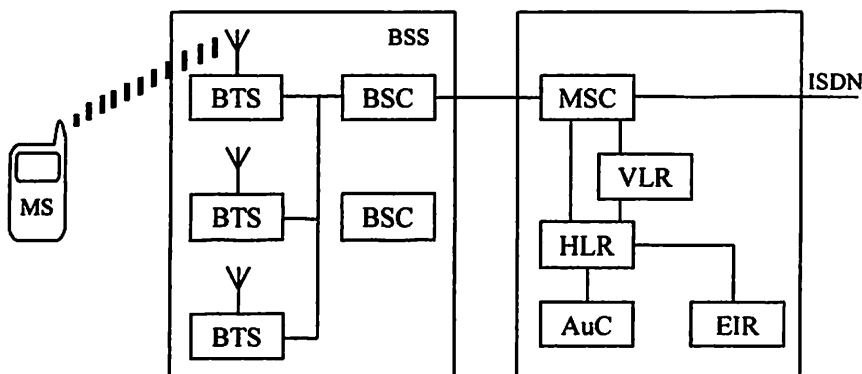
*FDD*дан фарқли равишда *TDD* режими W-CDMA тармоғидан синхронликни талаб қилади, қолган ҳолларда эса уларнинг параметрлари деярли бир бирига мос тушади.

UMTS стандартида тармоқ архитектураси

UMTS тизим архитектураси уни GSM тармоқлари билан (биринчи навбатда GSM/GPRS жуфтлиги билан) ўзаро ишлашнинг таъминлаш мақсадида яратилган ва шунинг учун UMTS тизим архитектурасини ўрганишдан аввал, GSM тизими архитектурасини ҳамда унда GPRS қўлланилган вариантини ёдга олиш фойдадан холи эмас, деб ҳисобладик.

Маълумки, GSM тармоқлари уч асосий тузилма элементини ўз ичига олади (2.8-расмга қаранг):

- MS (ингл. *Mobile Station*) – мобил станция;
- BSS (ингл. *Base Station Subsystem*) – таянч станциялар нимтизими;
- NSS (ингл. *Network and Switching Subsystem*) – тармоқ ва коммутация нимтизими.



2.8-расм. GSM тармоғининг тузилиш схемаси

BSS нимтизими MS учун радиоуланишни бошқариш вазифасини бажаради, хусусан: овозни кодлаш/декодлаш, сигнални модуляциялаш/демодуляциялаш, «юқорига» ва «паст» йўналишлари бўйича узатиш тезлигини радиомухит шароитларига мослаштириш ва бошқалар.

BSS нимтизими қуйидаги қисмлардан ташкил топган:

- **BTS** (ингл. *Base Transceiver Station*) – таянч станция: сота деб аталувчи чекланган географик ҳудудда радиосигналларни узатиш ва қабул қилиш учун керак бўлган қурилмаларни ўз ичига олади.

- **BSC** (ингл. *Base Station Controller*) – таянч станция контроллери: радиоканалларни ва “хэндовер” жараёнини бошқариш вазифаларини амалга оширади.

NSS нимтизими деб радиоуланиш тармоғи ва ташқи умумий фойдаланиш алоқа тармоқлари орасида коммутацияни (уланишни) амалга оширувчи қисм ҳисобланади.

NSS ўз ичига қуйидаги қисмларни олади:

- **MSC** (ингл. *Mobile Switching Center*) - мобил коммутация маркази: радиоуланиш тармоғи ва PSTN, PDN ва ISDN каби тургун алоқа тармоқлари орасидаги ўзаро боғловчи қисм, ҳамда симли таянч тармоғи ҳисобланади. Мобил алоқа тармоғида MSC маркази BSC контроллерларини бир-бири билан улаш, ҳамда бошқа MSC марказлари билан уланиш вазифаларини бажаради.

- **HLR** (ингл. *Home Location Register*) - маҳаллий («қуй») абонентлар регистри: тармоқда доимий рўйхатдан ўтган абонентлар

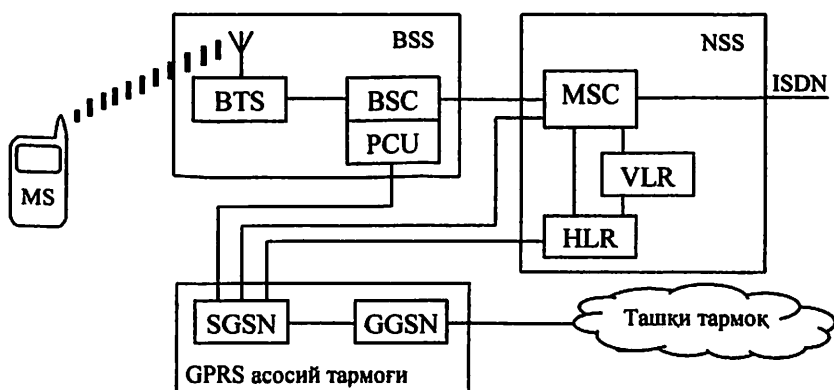
ҳақида маълумот базаси ҳисобланади. HLR да абонентни танитадиган манзиллар (адреслар), рақамлар ва абонентларнинг ҳақиқийлигини билдирадиган ва тасдиқлайдиган параметрлар, шунингдек, абонентга кўрсатилаётган алоқа хизматлари таркиби, маршрутлаштириш ва «роуминг» бўйича маълумотлар сақланади.

- **VLR (ингл. Visitor Location Register) - кўчма (меҳмон) абонентлар регистри:** тегишли географик ҳудудда жойлашган фаол абонентлар ҳақидаги вақтинча сақланадиган маълумот базаси ҳисобланади. Аслида VLRда HLRдаги билан деярли бир хил маълумотлар жойлашган бўлади, лекин VLR бу маълумотларни фақатгина абонент унинг “жавобгарлик” ҳудудида бўлган даврагина сақлайди.

- **EIR (ингл. Equipment Identity Register) - қурилмаларни идентификациялаш регистри:** тармоқ мобил станцияларининг халқаро идентификацион номерлари – IMEI (ингл. *International Mobile Equipment Identities*) бўйича маълумот базаси ҳисобланади. EIR шунингдек бир неча хавфсизлик вазифаларини ҳам бажаради (масалан, кўнғироқларни тақиқлаш).

- **AuC (ингл. Authentication Center) – авторизация маркази:** абонентни аутентификациялаш (аслигини тасдиқлаш) жараёнини бажаради.

GSM тармоқ архитектурасига GPRS технологиясини жорий этилиши билан тармоқнинг канал коммутацияси ҳамда пакет коммутацияси режимларида ишлаши натижасида ҳам товуш, ҳам маълумот трафикларини узатиш имконияти пайдо бўлди. GPRS технологияси маълумотларни юқорироқ тезликда узатиш ва пакет коммутацияли тармоқлар билан ўзаро ишлашини таъминлаш учун GSM технологиясини давомчиси сифатида ишлайди. GPRS технологиясини ишлатиш учун GSM тизими архитектурасига куйидаги таркибий элементлар қўшимча тарзда киритилади (2.9-расм).



2.9-расм. GPRS тармоғининг тузилиш схемаси

- **SGSN** (ингл. *Serving GPRS Support Node*) - **GPRS**ни қўллаб-қувватловчи хизмат тугуни: GPRS режимида ишлайдиган барча абонентларни фаолиятни, шу жумладан, абонентлар билан пакетли маълумотлар алмашиш, абонентларни мобил хизматларга уланиши, тармоқнинг хизмат доирасидаги абонентларни рўйхатга олиш кабиларни умумий бошқарувини таъминлайди.

- **GGSN** (ингл. *Gateway GPRS Support Node*) - **GPRS**ни қўллаб-қувватловчи шлюз тугуни: GPRS тармоғини ташқи маълумот узатиш тармоқлари билан мослаштириш ва улаш вазифасини бажаради. Ҳар бир GPRS тармоғида ҳар доим бир ёки бир неча SGSN тугунлари билан боғлиқ битта GGSN тугуни бўлиши керак. GGSN тугунларининг иккиламчи вазифасига маълумотларни адреслаш (манзиллаш), IP-манзилларни динамик (тезкор) тарзда тақсимлаш, шунингдек, ташқи тармоқлар ва шахсий абонентлар ҳақида ахборотларни (шу жумладан хизматларни тарифлаштириш бўйича) кузатиб бориш кабилар киради.

- **PCU** (ингл. *Packet Control Unit*) - пакетли узатишни назорат ускунаси: таянч станция контроллери - BSCга ўрнатилади ва маълумот трафиғини BSCдан SGSNга бевосита йўналтирилишига жавоб беради.

Шунингдек, GPRS технологиясини мавжуд GSM тармоқларига жорий этиш учун юқорида кўрсатилган ускуналардан ташқари, BTS, BSC, HLR ҳамда VLR регистрларида дастурий таъминотни янгилашкам талаб қилинади.

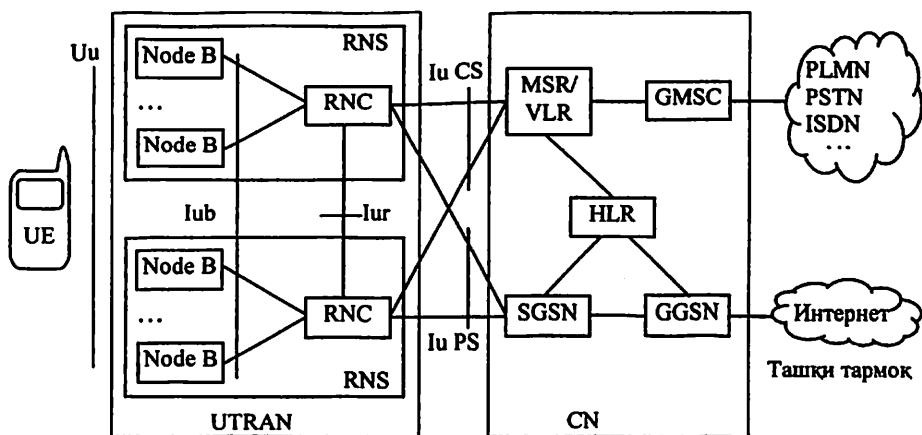
GSM стандартининг кейинги такомиллашуви - унинг GERAN (ингл. *GSM/EDGE Radio Access Network*) радиоуланиш тармоғига EDGE технологиясини жорий этиш билан боғлиқ бўлди. EDGE технологиясини тадбиқ этишда GSM/GPRS тизим архитектурасида ўзгартиришлар киритилмади, аксинча, мавжуд тармоқда фақат янги, тезкор модуляциялаш (8PSK) услубидан фойдаланилди.

GPRS ва EDGE технологияларининг жорий этилиши, албатта, GSM тармоқларининг “умрини узайтиришга” хизмат қилди, лекин узок муддатли ривожланиш жараёнида телекоммуникация “сахнасида” кейинги авлод янги стандартларининг, хусусан UMTS тизимининг пайдо бўлишига ҳалақит қила олмади.

UMTS структураси GSM тармоқларининг нимтизимлари билан ишлашда канал коммутациясини таъминлайдиган тармоқ элементларига ва таянч тармоғи - CN (ингл. *Core Network*)да GPRS нимтизими билан ишлаш учун пакет коммутациясини таъминлайдиган элементларга асосланган. Шуни учун UMTS тизимининг таянч тармоғи GSM/GPRS тармоқларидан бизга маълум бўлган: MSC (бу ерда VLR билан бирга), HLR, AuC, SGSN ва GGSN тугунлари, шунингдек, канал коммутациясилик ташқи тармоқлар билан ўзаро ишлаш учун шлюз - GMSC (ингл. *Gateway Mobile services Switching Center*)ларни ўз ичига олади. UMTS тизимининг GSM/GPRS тизимларидан асосий фарқи - унинг радиоинтерфейсининг ташкил этилишида. Бунда радиоинтерфейсни бутунлай янги тармоғи - UTRAN (ингл. *UMTS Terrestrial Radio Access Network*) ишлатилади. UTRAN

тармогида ишлаш учун бир оз ўзгартиришлар талаб қилинади, хусусан янги радиотармоқ контроллерлари - RNC (ингл. *Radio Network Controller*) ва янги ном олган таянч станциялар (ингл. *Node B*) дан фойдаланиш керак бўлади.

Функционал жиҳатдан тармоқ тузилмаси ер усти радиоулиниш тармоғи - UTRAN ва таянч тармоғи - CNлардан иборат (2.10-расмга қаранг). GSM тармоқлардан фарқли равишда UMTS тармоқларида фойдаланувчи қурилмаси - UE (ингл. *User Equipment* - абонент ускунаси) деб номланади. Бунга сабаб шуки UMTS тармоқларида UE нафақат мобил станция вазифасини, балки маълумот узатиш терминали функцияларини ҳам бажаради.



2.10-расм. UMTS тизимларининг архитектураси

UTRAN тармоғи таянч тармоғи CNга уланган RNS (ингл. *Radio Network Subsystem*) радиоулиниш тармоқларининг нимтизимлари мажмуасидан ташкил топган. RNS нимтизими RNC контроллери ва бир ёки бир нечта таянч станциялар Node B ларини ўз ичига олади.

Радиотармоқ контроллери - RNC таянч станцияларни бошқарувини бажаради ҳамда MSC/VLR - мобил коммутация маркази билан ўзаро ишлашни амалга оширади. RNCнинг асосий вазифаларига қуйидагилар киради:

- радиоканаллар тақсимланишини бошқариш;
- уланишларни назорат қилиш;
- уланишлар кетма-кетлигини бошқариш;
- масофадан динамик коммутация қилиш;
- абонент юкламаларининг тақсимланишини назорат қилиш.

Таянч станция Node B нинг асосий функцияси радиоинтерфейсни ташкил этишдадир. Бунга қуйидагилар киради: радиосигнални қайта ишлаш, сигнал спектрини кенгайтириш/сиқиш билан

модуляция/демодуляция, кодлаш/декодлаш ва бошқалар, шу жумладан, RLC радиоканалларни бошқариш бўйича баъзи операцияларни бажариш (масалан, нурланиш қувватини бошқариш, “хэндоверни” амалга ошириш) ва х.к. Таянч станция FDD, TDD ёки аралаш (ингл. *dual-mode*) режимларда ишлай олади.

UMTS тизимининг таянч тармоғи - CN қуйидаги элементлардан иборат:

MSC/VLR – мобил коммутация маркази тармоқнинг марказий элементи ҳисобланади. У таянч станцияларни (ТС) катта гуруҳига хизмат қилиши мумкин ҳамда абонент ускуналарининг (АУ) иш жараёнида зарур бўладиган барча турдаги уланишларини таъминлайди. MSC/VLR турли тармоқ элементларини (хусусан, RNS нимтизимлари элементларини) ўзаро улаган ҳолда UMTS тармоғи ичида маълумот алмашувини таъминлаб беради. Шунингдек, MSC/VLR бошқа MSCлар, қисман ҳудудий GMSC ва яна бошқа қисмлар билан ҳам уланишни амалга оширади. MSC таркибидаги VLR реестрида меҳмон абонентлар учун кўрсатилган алоқа хизматлари, шунингдек, тизимнинг хизмат кўрсатиш доирасидаги АУларнинг жойлашган ўрни ҳақидаги аниқ маълумотлар сақланади.

HLR реестри, SGSN ва GGSN тугунлари худди GSM тармоқларидаги каби вазифаларни бажаришади.

Операторлар ўзларига мос тармоқ конфигурацияларини яратишлари учун UMTS тизимининг архитектураси етарли даражада мослашувчан ва универсалдир.

UTRAN тармоғи 4та асосий интерфейсдан фойдаланишини эслаб ўтамыз:

- **Iu** – RNC ва CN ўртасидаги интерфейс;
- **Uu** - Node B билан АУ ўртасидаги интерфейс;
- **Iur** – RNCлар орасидаги интерфейс;
- **Iub** - Node B ҳамда RNC орасидаги интерфейс.

Uu ва Iu интерфейслари икки қисмга бўлинади:

- **U-Plane** (ингл. *User Plane*) - транспорт хизматлари ва радиоуланиш тармоғи орқали маълумот узатиш хизматларини амалга оширувчи абонент сатхи протоколлари;

- **C-Plane** (ингл. *Control Plane*) - радиоуланиш тармоғидаги транспорт хизматларини ҳамда АУ ва тармоқ орасидаги уланишларни, шу жумладан, хизмат кўрсатишга оид сўровлар, узатиш ресурсларини бошқариш, “хэндовер” ва хоказолар бошқарувини амалга оширувчи бошқарув сатхи протоколлари.

UMTS стандарти учун радиочастота спектри

Стандарт спецификацияларига кўра, UMTS қуйидаги частоталар спектридан фойдаланади:

- “юқорига” йўналишда 1885MGs - 2025MGs (АУдан БСга йўналишида);

- “пастга” йўналишда 2110MGs – 2200MGs (БСдан АУга йўналишида).

АҚШда 1900MGs частоталар диапазони бандлиги сабабли, UMTS тармоқлари учун муносиб равишда 1710MGs – 1755MGs ҳамда 2110MGs – 2155MGs полосалар ажратилган.

Бундан ташқари, айрим давлатлар UMTS тармоқларини қуриш учун ўзларининг ички имкониятларидан келиб чиққан ҳолда, давлат доирасида қўшимча частота полосаларини ажратишган (масалан, АҚШда 850MGs, Финляндияда 900MGs).

2004 йилнинг декабрида бутун дунё бўйлаб W-CDMA радиоулашиш технологияси асосидаги тармоқларни жорий этган операторларга жами 120дан ортиқ лицензиялар (радиочастотан фойдаланишга рухсат) берилган эди. Европада лицензия бериш жараёни юқори технологик компаниялар акцияларига талаб кучайган вақтига тўғри келган эди. Буюк Британия ва Германия каби давлатларда, кўплаб мутахассисларнинг фикри бўйича, лицензиялар нархи ўта юқори бўлиб, харажатларни қоплай олмайдиган даражада бўлган. Масалан, Германияда операторлар 6 лицензия учун 50 млрд. евродан ортиқ маблағ сарфлаганлар, ва улардан иккитаси кейинчалик тўлови қайтарилмасдан бекор қилинган (Mobilcom компанияси ва финляндияни Sonera ва испанияни Telefonica компанияларининг концорциуми лицензиялари).

UMTS ва GSM тармоқларининг ўзаро ишлаши

UMTS ва GSM тизимлари радиоинтерфейс сатҳида турли хил механизмлардан фойдаланади, шунинг учун ушбу сатҳда иккала тармоқлар мослаша олмайдилар. Лекин ҳозирги пайтда иккала стандартда ишлай оладиган UMTS абонент ускуналари ва модуллари Европа, АҚШ, Шимолий Африка ва Осиёнинг кўп ҳудудларида кенг тарқалган. Бунда, агар UMTS тизимининг абоненти UMTS хизмат доирасидан четга чиқса, унинг терминали автоматик равишда GSM форматида қабул қилиш ва узатиш ҳолатига ўтади (ҳатто тармоқ турли операторларга тегишли бўлса ҳам). Лекин GSM стандартининг мобил терминаллари UMTS тармоқларида ишлай олмайди.

GSM стандартида хизмат кўрсатаётган алоқа операторлари учун UMTS стандартига ўтиш техник нуқтан назардан оддий бўлсада, тармоқни ташкил этиш нуқтан назаридан анча харажатли бўлади. Янги даражадаги тармоқларни қуришда олдинги инфратузилманинг аксарият қисми сақланиб қолади, лекин шу билан бирга БСлар учун янги ускуналарни сотиб олиш ҳамда янги лицензиялар олиш учун катта миқдорда маблағ сарфланиши талаб қилинади.

UMTS тизимининг GSM тизимидан асосий фарқи радиоулашиш тармоғини (ингл. *Radio Access Network - RAN*) умумий уланиш принципида қурилишидадир. Бу UMTS тизимини бирлашган хизматлар кўрсатувчи рақамли тармоқлар - ISDN, Интернет, GSM, ёки бошқа UMTS тармоқлари билан ўзаро ишлаш имконини беради. UTRAN номини олган UMTS

стандарти радиоулашиш тармоғи “Тизимларнинг очик ўзаро ишлаш” моделининг (ингл. *Open Systems Interconnection - OSI*) учта қуйи сатҳларида ишлайди, улардан энг юқорисини (учинчи, тармоқ сатҳини) радиоресурсларни бошқарувчи тизим протоколлари (RRC протоколи) ташкил этади.

UMTS стандартининг камчиликлари

UMTS стандартининг асосий камчиликларига қуйидагилар киради:

- спектрдан нисбатан самарасиз фойдаланиш (SMGs кенгликдаги жуфт каналлар) ва бошқа хизматларга тегишли бўлган частоталарни бўшатиш зарурати, бу тармоқларни қурилишини секинлаштиради (масалан, АКШдагидек);
- баъзи давлатларда (шу жумладан, АКШ ва Японияда) радиочастота спектрини тақсимлаш тартиби ХТИ тавсияларига мос келмайди, ва натижада UMTS тармоқларини стандарт учун мўлжалланган частоталарда қуриб бўлмайди;
- UMTS ва GSM тармоқлари орасида “хэндовер”ни текис амалга оширишнинг технологик мураккаблиги;
- сотанинг унча катта бўлмаган радиуси (хизматларни тўлиқ тақдим этиш учун у 1-1,5km ни ташкил этади);
- аккумулятор батареяларининг кам сифимлилиги билан бирга мобил терминалларнинг нисбатан оғирлиги.

2.4.3.2. CDMA-2000 стандарти

3GPP-2 лойихаси доирасида амалга оширилган тадқиқотлар натижасида CDMA-2000 оиласи таркибига кирадиган стандартлар гуруҳи ишлаб чиқилди. Ўз номидан маълум қилганидек, CDMA-2000 стандартларининг оиласи (CDMA2000 1X - CDMA2000 EV-DO Rel.0, CDMA-2000 EV-DO Rev.A, CDMA-2000 EV-DO Rev.B, - CDMA-2000 3x) каналларни код асосида ажратувчи – CDMA технологиясини қўллаган ҳолда қурилади. CDMA технологияси ўзининг юқори спектрал самарадорлиги туфайли сотали алоқа тизимларининг иккинчи авлодидан учинчи авлодига ўтиш учун қатъий ечим бўлди. CDMA-2000 стандарти cdmaOne (IS-95) тармоқларининг эволюцион ривожланишида учинчи авлоди деб ҳисобланади, ва шуни учун ҳам бу стандартлар тармоқлари ўзаро ишлай олади. CDMA-2000 стандартлари IS-95A версиясининг асосий принципларини сақлаган ҳолда узлуксиз ривожланмоқда ва такомиллашиб бормоқда. Ўзининг кейинги эволюцион ривожланишида CDMA-2000 стандартлари LTE стандарти томон харакатланмоқда.

CDMA-2000 стандартининг характеристикалари

CDMA-2000 тизимларининг тижорат ютуғининг негизида уларнинг кенг хизмат кўрсатиш ҳудуди, овоз узатишнинг юқори сифатлилиги (деярли симли тизимлардагига тенг), тизим мослашувчанлиги ва янги

хизматларни жорий этишда нисбатан кам харажатлилиги ҳисобланади. Бу тизимлар халақитдан юқори даражада ҳимояни, шунингдек, алоқа каналини рухсатсиз уланиш ва эшитишларга қарши юқори чидамлилигини таъминлайди, бу эса абонентлар ва операторлар учун жуда қўл келади. Шунингдек, абонент ускуналарини радио узаткичларининг нурланиш қуввати пастлиги ҳам муҳим аҳамиятга эга. Масалан, GSM-900 тизимлари учун ушбу кўрсаткич 2Vt (импульсда), GSM-1800 тизимлари учун эса 1Vt бўлса, CDMA-2000 тизимларида максимал нурланиш қуввати бор йўғи 0,25 ваттни ташкил этади.

CDMA-2000 1X стандарти асосидаги мобил алоқа тизимларида 1,25MGs кенгликдаги частоталар полосасидан фойдаланилади ва 153kbit/sek. гача бўлган маълумот узатиш тезлиги таъминланади. Бу эса товушли алоқа, қисқа хабарларни (SMS) узатиш, электрон почта ва Интернет тармоғида ишлаш, маълумот базалари билан ишлаш, маълумотлар ва ҳаракатсиз тасвирларни узатиш каби хизматларни кўрсатиш имконини беради.

Кейинги, CDMA-2000 EV-DO Rel.0 стандартида худди шу полоса кенглигидан фойдаланилсада, маълумот узатиш тезлиги “пастга” йўналишда 2Mbit/sek ва “юқорига” йўналишда 153kbit/sek гачани ташкил этди, ва бу стандартни 3G талабларига жавоб берадиган қилди ва реал вақт режимида видео узатиш билан бирга қўшимча хизматлар туркумини тақдим этиш имконини берди.

CDMA-2000 стандартларининг кейинги ривожланиши EV-DO Rev.A фазаси бўлди ва унда тармоқ сигимини ҳамда маълумот узатиш тезлигини (“пастга” йўналишда 3,1Mbit/sek гача ва “юқорига” йўналишда 1,8Mbit/sek гача) оширишга эришилди. Бу фазада олдинги - Rel.0 фазасида амалга оширилиши мумкин бўлган хизматларга қўшимча IP-тармоқлар бўйлаб кенг-эшиттиришли маълумотларни узатиш хизмати киритилди.

Навбатдаги EV-DO Rev.B фазанинг ишга туширилиши натижасида маълумот узатиш тезлигини бир частота каналида “пастга” йўналишда 4,9Mbit/sek гача ва “юқорига” йўналишда 2,4Mbit/sek гача етказишга эришилди. Стандартнинг кейинги ривожланиши маълумотларни узатиш тезлигини ошириш учун бир нечта частота каналларини бирлаштириш томонига (3x, 6x, 9x, 12x, 15x каби) қаратилган. Масалан, 15та частоталар каналларини бирлаштириш (максимал амалга оширилиши мумкин бўлган қиймат) натижасида “пастга” йўналишда 73,5Mbit/sek гача ва “юқорига” йўналишда эса 27Mbit/sek гача тезликларга эришилди. Бундай тармоқларда энди вақтдан ушланишларга сезгир бўлган VoIP, Push-to-Talk, видеотелефония, товуш ва мультимедиа хизматларини параллел равишда ишлатиш, мультисессион тармоқ ўйинлари ва бошқа шу каби хизматлардан фойдаланиш мумкин бўлди.

CDMA-2000 стандарти радиointерфейс технологияси²⁴

CDMA-2000 оиласи стандартларининг асосида ётадиган CDMA (ингл. *Code Division Multiple Access* - каналларни код бўйича ажратиш асосида кўп-сонли уланиш) технологияси - ажратилган бутун частота полосаси бўйлаб ҳар бир алоқа сеансига алоҳида рақамли код (манتيкий канал) ажратиш ҳисобига радиомухитни тақсимлаш асосида қурилади. Технология анча кенг полосалардан (1,25MGs) фойдаланади, ва сигналларни узатиш ўша битта частота каналида амалга оширилади. Сигнал кодлари бир-биридан фарқ қилади, ва шуни ҳисобига улар қабул қилиш томонида бир биридан ажратиб олинади. Бундан шу келиб чиқадики, CDMA технологияси асосидаги тармоқларда БСларни ишлаши синхрон равишда бўлиши керак.

CDMA технологияси бир неча элтувчи частоталарда (ингл. *Multi Carrier – MC*) алоқани ташкил этиш имконини беради. Битта элтувчи частотадан фойдаланилганда (CDMA 1xRTT стандартида) технология 1,25MGs полосада манتيкий каналлар сонини 128тагача ва тезликни 153kbit/sek гача ошириши мумкин. Бунга қўшимча, Qualcomm компанияси томонидан таклиф этилган, 4дан 8-разрядли фазавий модуляцияга ўтиш услуги (ингл. *High Data Rate - HDR*) ҳисобига, маълумот узатиш тезлигини бир ярим баробаргача ошириш мумкин.

Учта элтувчи частотадан фойдаланилганда (CDMA-2000 3X стандарти) маълумот узатиш тезлиги 2Mbit/sekдан ошиб кетади. “Пастга” каналда маълумотлар 1,25MGs кенгликдаги уч канал бўйлаб ($1,25 \times 3 = 3,75MGs$) параллел равишда узатилади. “Юқорига” каналда эса узатиш DSSS услуги асосида яхлит 3,75MGs полосасида амалга оширилади.

CDMA технологиясининг муҳим ўзига хос хусусияти CDMA-2000 стандартлари фазалари орасида мослашувчанликни таъминлаш ҳисобланади. Бунда операторларга янги частоталар диапазонлари учун лицензиялар (рухсатномалар) олиш ҳамда техник ускуналарга сезиларли ўзгартиришлар киритиш талаб қилинмайди. Яъни, IS-95 стандартидан то CDMA-2000 EV-DO Rev.B стандартига қадар мавжуд тармоқларни кетма-кетлик билан ривожлантириш имконияти мавжуд.

CDMA радиointерфейс технологияси ишлаши бўйича W-CDMA радиотехнологисидан фарқ қилади, ва шу сабаб CDMA-2000 ва UMTS ёки FOMA тармоқлари орасида ўзаро мослашув на терминаллар даражасида, на инфратузилмалар даражасида (MAP/GSM ва ANSI-41) таъминланмайди. Бинобарин, ҳар иккала радиointерфейс технологияси ҳам

²⁴ Каналларни код бўйича ажратиш асосида кўп-сонли уланиш (CDMA) технологияси анча илгари маълум булган. СССРда бу мавзуга бағишланган биринчи иш 1935 йилда Д.В. Агеев томонидан ёритилган. Иккинчи жаҳон урушидан сўнг узок вақт давомида CDMA технологияси ҳам СССРда, ҳам АКШда ҳарбий алоқа тизимларида ишлатилган. 1980 йилларнинг иккинчи ярмида АКШнинг ҳарбий идораси бу технологияни махфийликдан озод қилди, ва шундан сўнг уни оммабоп алоқа воситаларида ишлатиш бошланди.

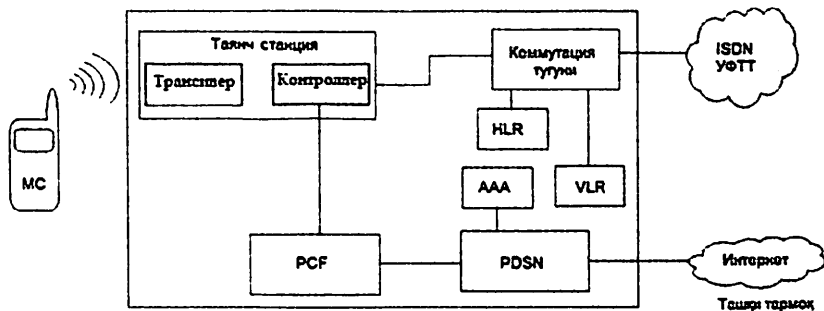
IP-протоколини қўллаб-қувватлайди, ва бу улар учун бирлаштирувчи платформа бўлиб ишлаши мумкин.

CDMA-2000 стандартининг тизим архитектураси

CDMA-2000 стандартлар туркуми таянч интерфейслар, тармоқ унумдорлигига талаблар, шунингдек, кўрсатиладиган хизматлар тавсифини ўз ичига олади. CDMA-2000 тизимлари олдинги CDMA технологиясига асосланган тизимлар билан мослаштирилган бўлиб, бу CDMA-2000 абонент қурилмалари ҳам CDMA-2000, ҳам CdmaOne (IS-95) тармоқларида ишлай олишини билдиради. Мослаштиришни таъминлаш стандарт учун тизимнинг параметрларини, ўрнатиш жараёнларини ва уланишни қайта ишлаш, шунингдек, сигнализация тизимининг параметрларини белгилайди. Стандартда, шунингдек, абонент қурилмаларининг ўзаро таъсирлашишни бошқариш учун уларнинг нурланиш қувват даражалари ҳам келтирилган.

CDMA-2000 тизимининг архитектураси GPRS ва UMTS тизим архитектуралари билан қўлаб умумийликка эга. Бу ерда ҳам икки даражага бўлиниш мавжуд: радиоуланиш - RAN ва таянч - CN тармоқлари, шунингдек, пакетли ва каналли коммутация учун алоҳида нимтизимлар иштирок этади. CDMA тармоғи қуйидаги тузилиш элементларидан иборат (2.11-расм):

Радиоуланиш даражасида BTS - таянч станциялар (трансиверлар) ва BSC- таянч станциялар контроллерлари иштирок этади ва ўзлари учун аънавий бўлган функцияларни бажаради.



2.11-расм. CDMA-2000 тармоғининг содалаштирилган схемаси

Таянч тармоғи даражаси қуйидаги элементлардан иборат:

- PCF (ингл. *Packet Control Function*) - пакетли узатишни бошқарув маркази;
- PDSN (ингл. *Packet Data Service Node*) - пакетли маълумотларни узатишга хизмат қиладиган тугун.

Бу тугунлар пакетли коммутация жараёнида қатнашишади.

- **MSC** – мобил коммутация маркази: GPRS тармоқларидаги каби симли таянч тармоғи ҳисобланиб, радиоулиниш тармоғи ва умумий уланиш турғун тармоқлари оралиғидаги боғловчи тугун ҳисобланади. MSC маркази каналли коммутация ёрдамида уланишни таъминлайди.

Тармоқнинг қуйидаги тугунлари эса, ўзларининг аъъанавий функцияларини бажаришади:

- **AAA** - авторизация, аутентификация ва ҳисоб маркази;
- **HLR** - уй абонентлари регистри;
- **VLR** - меҳмон абонентлар регистри.

CDMA-2000 тизимларининг архитектураси таҳлил қилинганда, **PDSN** - маълумотларни пакетли узатиш таянч тармоғи **UMTS** тармоғидаги **SGSN** тугуни ўрнига ишлатилишини кўриш мумкин. Яна бир фарқ шундаки, **CDMA-2000** тизимида **AU** лар мобиллигини бошқариш учун **UMTS** каби **HLR** регистри эмас, балки **Mobile IP** протоколининг кенгайтирилган версияси ишлатилади (яъни, **IP**- протоколи билан мослаштирилган). Бу эса, янги мобил алоқа тармоқларини, асосан, мобил Интернет иловалари ва хизматларига йўналтирилганлигини ҳисобга олганда, **CDMA-2000** тизимларининг шубҳасиз авзаллиги ҳисобланади. Шу билан бирга, **UMTS** ва **CDMA-2000** тизимларида оммавий фойдаланиш телефон тармоқларига ва маълумотни пакетли узатиш тармоқларига уланишда ўхшашлик мавжуд.

CDMA-2000 стандарти учун радиочастота спектри

CDMA-2000 тармоқларини мобил алоқа тизимлари учун ажратилган деярли барча частота диапазонларида қуриш мумкинлиги туфайли радиочастоталардан фойдаланиш масаласида катта мослашувчанлик мавжуд.

CDMA-2000 тизимлари **cdmaOne (IS-95)** тармоқлари вориси сифатида яратилгани туфайли, уларни **800MGs** ва **1900MGs** диапазонларидаги частоталарни қўллаб-қувватлаши асосий талаблардан бўлди. Шу боис **CDMA-2000** операторлари ўз тармоқларини қуришларида сармоя масаласида катта афзалликларга эга бўлдилар.

AҚШ алоқа маъмуриятининг «**3G Viability Assessment**» номи биланҳам юритилган янги режаси 2004 йилга келиб **1710-1770MGs** ва **2110-2170MGs** диапазонларида қўшимча частоталар ажратилиш ғоясини олға юритди. Натижада **3G** тизимлари учун (хусусан, **CDMA-2000** учун) **1710-1755MGs** диапазонда **45MGs** ва **2110-2150 MGs** диапазонда **40MGs** кенгликдаги полосалар ажратилди.

Шунингдек, **CDMA-2000** тизимлари кўплаб давлатларда **NMT-450** биринчи авлод тармоқларининг «муносиб ўринбосарлари» бўлди ва уларнинг частота диапазонини ўзлаштирди.

Шундай қилиб, замонавий **CDMA-2000** тармоқлари асосан қуйидаги диапазонларда ишлатилади:

- 850MGs ва 1900MGs (асосан АҚШ га хос) – дунёдаги барча тармоқларни 87 фоизи ушбу полосаларда ишлайди;
- 450MGs, 1700MGs, 2100MGs (дунё миқёсида) – тармоқларнинг қолган 13 фоизига мансуб.

Мисол учун, Жануби-шарқий Осиё давлатларида кўплаб CDMA-2000 тармоқлари «юқорига» каналда 825-832,5 MGs ва «пастга» каналларда 870-877,5MGs (FDDда иккита 7,5MGs лик полосалар) частоталардан фойдаланади. Россияда CDMA-2000 тармоқлари учун 828-831MGs ва 873-876MGs частота бўйича ажратилган полосалар жуфтлиги ишлатилади. Юқориди таъкидланганидек, бизнинг республикамызда 450MGs (453MGs – 457,4MGs / 463MGs – 467,4MGs) ва 800MGs (835,02MGs-844,98MGs) частота диапазонларида CDMA-2000 стандарти асосида икки тармоқ ишлаб келмоқда.

2.4.3.3. FOMA стандарти

FOMA (ингл. *Freedom of Mobile Multimedia Acces*) Япониянинг NTT DoCoMo сотали алоқа оператори томонидан тақдим этилаётган 3G хизматлари учун W-CDMA технологиясига асосланган стандартнинг савдо белгиси ҳисобланади.

NTT DoCoMo компанияси бу стандарт устида ишларни аввалги аср 90-йилларини охирида бошлаб 2001 йилга келиб дунёдаги биринчи W-CDMA технологияси асосидаги 3G тармоғини ишга туширишга шай бўлди. Шундай қилиб, FOMA биринчи тармоқлари 2001йилнинг октябрида иккита япон шаҳарлари: Токио ва Йокогамада муваффақиятли ишга туширилди. 2004 йилдан бошлаб FOMA тармоқларида оммавий савдо кўрсаткичлари кескин ўсишни бошлади ва абонентлар сони жуда ортди. 2007 йил 29 сентябрь маълумотларига кўра FOMA тармоқлари 40 миллиондан ортиқ фойдаланувчиларга хизмат кўрсатган [25].

FOMA стандарти «юқорига» ва «пастга» йўналишларда мос равишда 1920MGs – 1980MGs ва 2110MGs – 2170MGs частота диапазонларида FDD дуплекси асосида W-CDMA технологиясидан фойдаланади. Кўшимча равишда PDC стандарти тармоқларидан бўшашган 800MGs диапазонидан ҳам фойдаланиш кўзда тутилган. FOMA стандарти ATM технологиясини ишлатади ва пакетли ва каналли коммутация режимларини кўллаб-қувватлайди. Шунингдек, ATM кўлланилиши туфайли, асинхрон трафик, ҳамда «нуқта-нуқта» ва «нуқта-кўп нуқта» режимларида коммутацияхам кўллаб-қувватланади. FOMA стандартида W-CDMA технологияси икки режимда ишлатилиши мумкин: спектрни кенгайтириш асосида (ингл. *Spread Spectrum Technology*) ёки мультитезлик асосида (ингл. *Multirate Technology*). Бунда узатиш канали ва тезлиги узатиладиган маълумотларнинг тури ва ўлчамига боғлиқ равишда танланади.

Ҳозирги вақтда NTT DoCoMo компанияси «пастга» каналда 7,2Mbit/секва «юқорига» каналда 5,7Mbit/сек гача маълумот узатиш тезлигини таъминловчи “Ўта тез FOMA” (ингл. *FOMA High-Speed*) номини олган HSPA хизматларини тақдим этмоқда.

Умуман, ўзининг техник характеристикалари бўйича FOMA стандарти UMTS стандартига жуда яқин, шуни учун бу дарслик доирасида ушбу стандартнинг қисқа таърифи билан чекланилди.

Табиийки, FOMA стандартининг бўлажак ривожланиши LTE стандарти билан қўшилиш томонига қаратилган ва ARIB ва TTC япон стандарт ишлаб чиқувчилари 3GPP доирасида LTE лойиҳасини яратишда бевосита иштирок этганлари бунга қўшимча далилдир.

2.4.3.4. TD-SCDMA стандарти

TD-SCDMA (ингл. *Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access*) бу бир элтувчи частотали, вақт бўйича дуплексловчи CDMA технологияси асосидаги учинчи авлод тизимларининг “Хитой” варианты ҳисобланади. Стандарт 2006 йилда Хитой телекоммуникация саноатини қўллаб-қувватлаш ва CDMA-2000, W-CDMA технологиялари патентлари учун тўловлардан холи бўлиш мақсадида ишлаб чиқилган ва расмий қабул қилинган.

TD-SCDMA стандарти TDD дуплекслаш усули ишлатилган W-CDMA технологиясини ривожлантирилиши ҳисобланади. Германияни Siemens компанияси ва Хитой телекоммуникация технологиялари академияси - CATT (ингл. *China Academy of Telecommunications Technology*) ҳамкорлигида яратилган ушбу стандарт ХТИ томонидан UMTS стандартлар оиласининг бир аъзоси сифатида маъқулланган. TD-SCDMA стандарти аҳолиси ўта зич ҳудудларда, Хитойга хос бўлган чекланган частота ресурслари шароитида ишлашга мўлжалланган.

RAT (ингл. *Radio Access Technology*) радиоулашиш технологияси уч комбинациясидан иборат: каналларни вақт бўйича дуплекслаш (TDD), каналларни вақт (TDMA) ва код (CDMA) асосида мультиплекслаш механизмлари. Алоқа 5мс давомийликдаги еттита вақт интервалларига (тайм слотларга) ажратилган даврий равишда такрорланадиган кадрлар (фреймлар) орқали амалга оширилади. Бундан ташқари, ҳар бир тайм-слотда 16 та кодли кетма-кетликлар ёрдамида 16 тагача CDMA каналларини шакллантириш мумкин. Технологиянинг муҳим хусусияти бу реал узатиладиган трафикдан келиб чиққан ҳолда тайм-слотларни мослаштириб тақсимлаш имкониятидир. Масалан, асимметрик иловаларда (Интернетда ишлаш) “юқорига” канал учун бир тайм-слоти эгалланса, “пастга” канал учун эса қолган олтита тайм-слотларни ажратиш мумкин.

TD-SCDMA тармоқлари учун 1,6MGs кенгликдаги полосалар ишлатилиши кўзда тутилган. Ягона канал учун мўлжалланган фреймдаги тайм-слотларни сонини ўзгартириш ҳисобига, модуляторни 1,28 Mchip/sek символ тезлиги асосида, ушбу технология 1,2kbit/sek дан 2Mbit/sek гача бўлган кенг кўламдаги мослашувчан маълумот узатиш тезлигини таъминлаши мумкин. Фойдаланилган частота диапазониغا қараб алоқа узоқлиги 40km гачани ташкил этиши мумкин. Стандарт абонентларни юқори мобиллигини таъминлайди ва 120km/soat гача бўлган абонентнинг ҳаракатланиш тезлигида ҳам алоқа сифатини сақлайди.

TD-SCDMA технологиясида TDD дуплекс схемаси танланиши асослидир. Маълумки, TDD дуплекси кичик хизмат кўрсатиш ҳудудида абонентларнинг зич жойлашган шароитларида ўзининг афзалликларини кўрсатади ва 45-220MGs га бир-биридан тарқалган жуфт частоталар бўлмаган холларда ягона ечим ҳисобланади. Шунингдек, TDD туфайли кирувчи ва чиқувчи трафик муносабатларини мослашувчанлик билан ўзгартириш мумкин ва бу ассиметрик иловалар билан ишлашда жуда қўл келади.

Шунингдек, муҳими шуки, ишлаб чиқувчилар TD-SCDMA тизимлари GSM тармоқлари билан ўзаро ишлашсини, ҳамда GSM ва W-CDMA технологияларининг юқори даражалардаги сигнализация ва протоколларини қўллаб-қувватлаши туфайли W-CDMA тармоқларига “силлик” ўтишини кўзда тутишди. Бунга қўшимча, TD-SCDMA стандартининг биринчи телефонлари икки режимли бўлиб, GSM-чипсетлари билан бирга TD-SCDMA чипсетларидан фойдаланган.

Тахминлар бўйича, TD-SCDMA стандарти асосидаги тармоқлар ўзларининг 4G томон эволюцион ривожланишда LTE стандартига ўтадилар.

Назорат саволлари

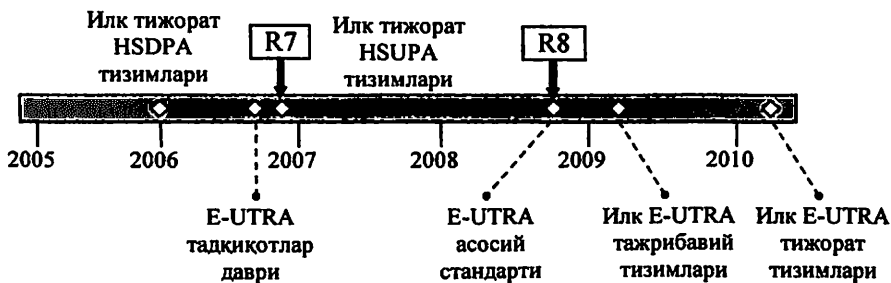
1. Сотали алоқа тизимларининг ривожланишига қисқа таҳлил беринг.
2. Транкинг алоқа тизимларининг ривожланишига қисқа таҳлил беринг.
3. Йўлдошли алоқа тизимларининг ривожланишига қисқа таҳлил беринг.
4. Иккинчи авлод тизимларининг классификациясини келтиринг.
5. Кўп-сонли уланиш технологиялари ва дуплекслаш усулларини келтиринг.
6. Сотали алоқанинг 1G авлод стандартларини қисқача баён этинг.
7. Сотали алоқанинг 2G ва 2,5G авлод стандартларини қисқача баён этинг.
8. Сотали алоқанинг 3G ва 3,5G авлод стандартларини қисқача баён этинг.
9. 3G мобил алоқа тизимларининг характеристикаларини келтиринг.
10. Ҳозирги вақтда дунёда қанча 3G стандартлари (стандартлар оиласи) мавжуд?
11. W-CDMA технологиясининг асосий характеристикаларини келтиринг.
12. UMTS стандартининг ишлаб чиқилиши тарихи ва асосий характеристикалари.
13. UMTS тармоқларида маълумот узатиш хизматларига фойдаланувчилар қандай ускуналар ёрдамида уланишади?
14. UMTS тизимларига нисбатан қайси мобил алоқа тизимлари рақобатли ҳисобланади?
15. UMTS стандартининг асосий камчиликлари нимада?
16. CDMA-2000 стандарти асосидаги сотали алоқа тизимларининг эволюцияси.
17. FOMA стандартининг асосий характеристикалари.
18. TD-SCDMA стандартининг асосий характеристикалари.

3-боб. LTE МОБИЛ АЛОҚА ТЕХНОЛОГИЯСИ

3.1. LTE стандартининг ривожланиш тарихи

3GPP Long Term Evolution (LTE) - мобил алоқа протоколи бўлиб, келажақда маълумотлар узатиш тезлигига бўладиган эҳтиёжни қондириш учун UMTS стандартини такомиллаштириш бўйича 3GPP лойиҳаси ҳисобланади. Ушбу такомиллаштириш натижасида, мисол учун, алоқа самарадорлигини ошириш, тармоқларни ташкил этишдаги харажатларни камайтириш, тақдим этиладиган хизматлар даражасини мукамаллаштириш ва кенгайтириш, шунингдек, мавжуд мобил ва кенг поласали алоқа протоколлари билан ўзаро ҳамкорликни таъминлаб бериш имкониятлари пайдо бўлади. 3GPP LTE стандартида маълумот олишнинг назарий тезлиги 326,4 Mbit/sek, узатишнинг тезлиги эса, 172,8Mbit/sek гача етиши мумкин.

LTE стандартига 2004 йилда асос солинган. Асосий мақсад UTRA радиоуланиш (UMTS стандартида фойдаланиладиган) архитектурасини оптимизациялаш ҳамда 3GPP лойиҳасидаги учинчи авлод тизимларидан тўртинчи авлод томон ривожланишни таъминлаб беришга қаратилган эди. Тадқиқотларнинг бошланғич босқичидаги асосий мақсади маълумотларни юқори тезликда узатишни таъминлаб бера оладиган физик даражадаги технологияни белгилаб олиш эди. Асосий вариант сифатида икки йўналиш таклиф этилди: ё мавжуд W-CDMA технологияси асосидаги радиоинтерфейсни ривожлантириш, ёки OFDM технологияси асосида ишлайдиган бутунлай янги радиоинтерфейсдан фойдаланиш. Олиб борилган тадқиқотлар натижасида ушбу масаланинг ягона ечими OFDM технологиясидан фойдаланиш бўлди. LTE нинг илк спецификациялари “3GPP еттинчи релизи” доирасида яратилган эди (ингл. *3GPP Release 7*). 2008 йилнинг декабрь ойига келиб, LTE тизимларига қўйиладиган архитектуравий ҳамда функционал талабларни белгилаб берадиган 3GPP стандартларининг 8-релизи (ингл. *3GPP Release 8*) тасдиқланган эди [26] (3.1-расм).



3.1-расм. LTE технологияси ривожланишининг асосий босқичлари

3GPP лойихаси архитектура тизими бўйича SA WG2 ишчи гуруҳи параллел равишда “Тизим архитектурасининг эволюцияси” - SAE (ингл. *System Architecture Evolution*) ни ишлаб чиқиш бўйича ўзининг алоҳида тадқиқотларини олиб борди. Ушбу гуруҳнинг асосий мақсади - 3GPP тизимини ривожлантириш ёки маълумот узатиш тезлигини янада ошириш, жавоб вақтини камайтириш, маълумотларни пакетлаб узатиш каби имкониятларга эга ҳамда турли радиоулашиш технологияларини - RAT (ингл. *Radio Access Technology*) қўллаб қувватлайдиган тизимлар структурасини ишлаб чиқиш эди. SAE архитектураси устида ишлар “3GPP тизимлари архитектурасини ривожлантириш” шиори остида 2004 йилнинг декабрь ойидан бошланган эди. 2007 йилда “E-UTRA” деб номланган 3-авлод радиоулашиш технологияларини ривожлантириш бўйича узок муддатли лойиҳаси техник-иқтисодий асослаш босқичидан, илк маъқулланган техник спецификациялар босқичига ўтди ва 2008 йилнинг охирига келиб, технология тижорат мақсадларида фойдаланишга тайёр бўлди.

Шу сабабли мутахассислар 3GPP нинг янги стандарти ва янги архитектура тизимига нисбатан кўпинча LTE/SAE терминини қўллашади.

3.2. LTE стандарти ҳақида умумий маълумотлар

Кенг полосали мобил алоқа тури тез суратларда ҳаётимизга кириб келмоқда. Ericsson компаниясининг ҳисобига кўра, 2011 йилда кенг полосали алоқа хизматларидан фойдаланувчилар сони 1,5млрд. га етган ва уларнинг ярмидан кўпи алоқанинг мобил вариантдан фойдаланишмоқда. Шунингдек, компаниянинг фикрича, 2015 йилга келиб, мобил кенг полосали уланиш хизматидан фойдаланувчилар сони 3,8млрд. ни ташкил қилиши, шундан 95 фоизи эса HSPA,CDMA ва LTE тармоқларидан фойдаланиши кутилмоқда [27].

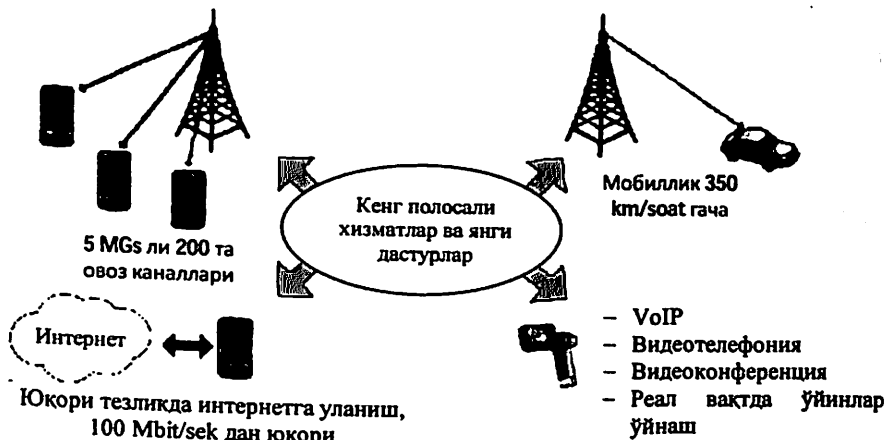
Бугунги кунда мобил тизимлар хизматлари фойдаланувчилари:

- веб-ресурслардан фойдаланиш ёки HSPA ни қўллаб қувватлайдиган телефонлар ва ноутбуклар ёрдамида электрон хатлар жўнатиш;

- DSL модемлар ўрнига HSPA модемларидан фойдаланиш;

- 3G-телефонлар ёрдамида катта ҳажмдаги видео ҳамда аудио файлларни жўнатиш каби бир қатор имкониятлардан фойдаланмоқдалар.

3GPP лойиҳаси 8-релизи сифатида кириб келаётган LTE стандарти мобил алоқа тизимининг ривожланиши учун сезиларли қадам бўлиши лозим. Ишлаб чиқувчиларнинг фикрича, фойдаланувчилар бу афзалликларни катта ресурслар талаб қиладиган хизматлар ва иловалар (интерактив ТВ, фойдаланувчилар томонидан яратилган видеоклиплар, мураккаб ўйинлар ва профессионал хизматлар) дан фойдаланганларида яққол хис қилишади.



3.2-расм. LTE тармоқларида мавжуд бўлган кенг поласали хизматлар ва янги иловалар

3GPP лойиҳасида кейинги авлод тизимларига қўйиладиган асосий талаблардан айримлари қуйида келтирилган:

- “пастга” йўналишда маълумотлар узатиш тезлигининг энг юқори қиймати - 100 Mbit/sek дан кам бўлмаслиги, радиоулашиш тармоғидаги жавоб кечикиш вақти эса 10ms дан ошмаслиги керак;
- турли элтувчи частота поласаларидан фойдаланиш қулайлиги, яъни бир элтувчидан бошқа элтувчи частоталар поласасига ўтишнинг силлиқлиги ва турли элтувчи частоталарни қўллаб қувватлаши - 5MGs ва ундан паст частоталар поласаларидан 20MGs гача бўлган кўплаб мавжуд ва янги частота диапазонларида;
- частота (FDD) ва вақт (TDD) асосида дуплекс режимларини қўллаб қувватлаш;
- қўшни таянч станцияларга абонентга хизмат кўрсатишни оширишнинг янги имкониятлари ва мавжуд мобил тармоқлар билан ўзаро «роуминг» ни амалга ошириш.

3GPP лойиҳаси иштирокчилари ва жалб этилган бошқа ишлаб чиқарувчилар томонидан ўтказилган кўп йиллик илмий-тадқиқот ва тажриба-конструкторлик ишлари (ИТТКИ) натижасида LTE технологияси 3GPP талабларига жавоб берадиган, айрим параметрлар бўйича эса улардан ошадиган универсал тизимга айланди.

LTE стандартида турли хил мултиплекслаш технологиялари ҳамда модуляция усуллари қўлланилиши кўзда тутилган, хусусан:

- “пастга” йўналишда узатиш учун - ортогонал частотали мултиплекслаш технологияси - OFDM ҳамда QPSK, 16-QAM ва 64-QAM модуляция усуллари;

- “юқорига” йўналишда узатиш учун - бир элтувчи частотали мультимплекслаш технологияси - SC-FDMA ҳамда BPSK, QPSK, 8-PSK, 16-QAM - модуляция усулларидан фойдаланилган.

E-UTRA технологияси радиоинтерфейси жуда мослашувчан бўлиб, 1,4MGs дан 20MGs гача (UTRAnинг 5MGs ли ўзгармас каналлардан фарқли равишда) бўлган турли хил ишчи канал кенгликларидан фойдаланиш мумкин. Шунингдек, E-UTRA технологиясининг спектрал самарадорлигини UTRA га нисбатан тўрт маротабага оширишга эришилди. Тармоқ архитектураси ва сигнализация усулларини такомиллаштириш натижасида “пастга” ҳамда “юқорига” йўналишларда жавоб ушланиши вақтини камайтиришга эришилди. “Кўп сонли қабул қилиш/кўп сонли узатиш” - ММО антенна технологиясини қўллаш натижасида LTE тизимида W-CDMA технологияси асосидаги 3GPP тизимларига нисбатан бир сотага тўғри келадиган абонентлар сонини 10 баробарга оширилди.

SAE тизим архитектураси ривожланиш дастурининг бир қисми сифатида LTE стандартида IP-протоколи асосида қурилган тармоқнинг “ясси архитектураси” таклиф этилди. LTE/SAE архитектурасининг вазифаси ҳар қандай IP-хизматларини тижорий фойдаланиш нуқтан назаридан самарали қўллаб қувватлашдан иборат. Ушбу архитектура мавжуд бўлган GSM/W-CDMA тизимларининг таянч тармоқлари асосида қурилган ва ривожланган ва уни қуришдан мақсад тармоқ эксплуатациясини янада соддалаштириш, ҳамда кейинги авлод тармоқларини босқичма-босқич ва самарали яратишдир. LTE/SAE архитектураси тармоқни қуриш ва эксплуатация қилишда сарфланадиган эксплуатацион ва капитал харажатларни сезиларли равишда камайтиради. Янги “ясси архитектура” модели трафикни ошиб кетиш ҳолларида фақатгина икки типдаги тармоқ тугунларининг (таянч станциялар ва шлюзларни) ўтказувчанлигини оширишни талаб қилади. Бундан ташқари, тармоқни конфигурация қилишда автоматизация даражаси борган сари ошиб бораётгани ҳам кузатилмоқда. Натижада, операторлар ишлатаётган тармоқлари, частота спектрлари ва ўзига хос тижорат хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда кенг полосали ва мультимедия хизматлари тақдим этувчи LTE технологиясини жуда мослашувчан равишда тадбиқ этишлари мумкин.

Шуни ҳам таъкидлаб ўтиш керакки, 3GPP ва 3GPP-2 лойиҳалари иштирокчилари CDMA-2000 ва LTE тизимларининг ўзаро ишлашини ташкил қилиш юзасида келишилган. Шундай қилиб, CDMA-2000 операторлари тармоқларини келажакда LTE стандарти асосидаги тармоқларга ўтказиш имкониятига эга бўлишди.

3.3. LTE тизими архитектураси

Илгари таъкидлаганимиздек, E-UTRA радиоуланиш технологиясига таянган LTE стандарти сўнги фойдаланувчи ускунасини имкониятларини сезиларли равишда яхшилаш, база ускуналари сифимини ошириш, жавоб

кечкикиш вақтини қисқартириш, шу билан бирга тўлиқ мобилликни таъминлаган ҳолда фойдаланувчи итерфейсини янада яхшироқ кўринишга келтириш каби вазифаларни бажаради. IP протоколи барча турдаги трафиклар билан ишлаш имконияти мавжудлиги сабабли кўпчилик операторлар учун оммабоп танлов бўлгани ҳеч кимга сир эмас. LTE стандарти ҳам хизматлар сифати – QoS ни узлуксиз таъминлаган ҳолда, IP протоколи асосида қурилади. Шу сабабли, овоз трафики асосан “IP орқали овоз” (VoIP ёки VoLTE) ни ташкил этади, бу эса бошқа мультимедия хизматлари билан янада ўзаро мослашишни таъминлайди.

UMTS тизими архитектураси асосида қурилган HSPA технологиясидан фарқли равишда 3GPP лойиҳаси LTE тизими учун икки сатх тармоқларини аниқлаб берди. Бу “Такомиллаштирилган пакетли таянч тармоғи” - EPC (ингл. *Evolved Packet Core*) номини олган маълумот узатиш таянч тармоғи, ҳамда “Такомиллаштирилган UMTS ер усти радиоуланиш тармоғи” - E-UTRAN (ингл. *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*) номини олган янги радиоуланиш тармоқларидир. Бу тармоқларнинг бажарадиган вазифалари ҳамда уларнинг тузилиши тармоқ элементлари сонини қисқартиришга, уларнинг функцияларини соддалаштиришга, пухтароқ резервлагга йўналтирилган. Энг муҳими, LTE/SAE тармоғи бошқа симли ва симсиз технологиялар билан ўзаро ишлашни ҳамда “хэндовер”ни таъминлаб беради ва бу билан операторлар ва сервис-провайдерларга “узлуксиз мобиллик” хизматларини босқичма-босқич тадбиқ қилиш имконини беради. EPC таянч тармоғи фаолиятини қўллаб қувватловчи таянч нимтизим - EPS (ингл. *Evolved Packet Subsystem*) деб ном олди.

LTE/SAE тизими архитектураси бир нечта асосий принциплар асосида қурилади:

- барча технологиялар билан уланиш учун умумий таянч нуқтаси ва шлюзлардан фойдаланиш;
- абонент сатҳида қулайроқ бўлган архитектурадан фойдаланиш - тармоқ даражаларини сонини қисқартириш (тўрттадан иккитага тушириш - таянч станциялар ва шлюзлар);
- барча интерфейслар IP протоколи асосида қурилади;
- радиоуланиш ва коммутация функцияларининг ажратилишини W-CDMA/HSPA технологияларидаги каби ташкил қилиш;
- бошқарув ва абонент сатҳларини мобилликни бошқарув модули ва шлюз орасида бўлиниши;
- IP-протокол ёрдамида 3GPP га тааллуқли бўлмаган радиоуланиш технологиялари билан ўзаро ишлаш.

Кўриниб турганидек, LTE стандарти олдиға функционаллик жиҳатдан бир қатор юқори даражадаги талаблар кўйилган. Улар орасида физик сатҳда ортогонал частотали мультимплекслаш - OFDM, кўп сонли қабул қилиш/кўп сонли узатиш антенна тизимлари - MIMO ҳамда “интеллектли” антенналар каби технологияларни тадбиқ этишлардир.

Шундай қилиб, LTE стандарти олдидаги вазифалар анча жиддий ва улар асосан қуйидагилардан иборат: соддалаштирилган инфратузилма ҳамда абонент қурилмаларини яратиш; мавжуд тизимларда ишлатилган радиочастоталар билан бир қаторда, янги частота диапазонларини қулай равишда ўзлаштириш; 3GPP ва 3GPP-2 оилаларига мансуб бўлган бошқа радиоулашиш технологиялари билан ўзаро ишлай олиш.

3.3.1. LTE тизимлари функционалликка қўйиладиган талаблар

E-UTRA радиоулашиш технологияси турли хил хизматларни амалга ошириш, шунингдек, Интернетда ишлаш, FTP файллари билан ўзаро алмашиш, видеоалоқа, IP бўйича овоз (VoIP), тармоқ ўйинлари, “жонли” видео, “push-to-talk” ҳамда “push-to-view” каби бир қатор хизматларни қўллаб қувватлайди. Шу сабабли, LTE таянч станциялари ва абонент қурилмаларида маълумот узатиш тезлиги етарли даражада юқори бўлиши керак ҳамда функционалликнинг асосий мезони сифатида жавоб кечикиш вақтини қисқа бўлиши зарур. 3.1-жадвалда LTE технологиясига қўйилган бир қатор талаблар келтирилган:

3.1-жадвал

LTE тизимлари функционалликка қўйиладиган талаблар

Функционаллик	Талаб қилинадиган қийматлар
Маълумотлар узатиш максимал тезлиги, (20MGs полоса кенглигида)	«пастга» каналда: 100Mbit/sek дан кам бўлмаслиги; «юқорига» каналда: 50Mbit/sek дан кам бўлмаслиги керак.
Абонентларнинг мобиллик даражаси	350-500 km/soat га
Абонент ускунасининг фаол режимга ўтиш вақти (пассив ҳолатидан актив ҳолатга ўтиш вақти)	100ms дан кўп эмас
Жавоб кечикиши вақти	10ms дан кўп эмас
Тармоқ сифими	Бир сотада абонентлар сони 200 тадан кам бўлмаслиги керак (5MGs полоса учун)
Радиоқамров зонаси (сотанинг ўлчами)	5 - 100km гача, (аммо 30km дан ортиқ масофада оғишлар бошланиши ҳисобга олган ҳолда)
Частота канали кенглиги (каналнинг ўтказиш полосаси)	1,4MGs; 3MGs; 5MGs; 10MGs; 15MGs ва 20MGs.

LTE тизими учун максимал ўтказиш полосаси узатиш ва қабул қилишда 20MGs бўлиши кутилмоқда. Ўз навбатида, хизмат кўрсатувчи провайдерлар 3.1-жадвалда санаб ўтилган исталган кенгликдаги каналлардан бирини танлашлари мумкин. Бу эса, провайдерларга уларда мавжуд радиочастота ресурсларига қараб, ўз имкониятларидан келиб чиққан ҳолда абонентларга хизматлар таклиф этиш имкониятини беради ва босқичма-босқич радиочастота ресурсларини кўпайтирган ҳолда ўз тармоқларини кенгайтиришларини таъминлайди.

Жадвалда кўрсатилган талаблардан ташқари, LTE стандарти олдида тизимнинг умумий қийматини ва истеъмол қувватини камайтириш ҳамда тизимнинг акс мослашувчанлигини ва UMTS тизимларидан самарали ўтишни таъминлаш каби талаблар қўйилган. Бунда LTE технологияси 3GPP тармоқлари билан, “6-релиз”дан бошлаб, (HSDPA, HSUPA, HSPA+ ларни ўз ичига олади) мослашувчанликни тўлиқ таъминлаши керак. “Broadcast” ва “multicast” хизматлари (барча ёки кўп сонли абонентларга кенг қамровлик узатиш) ни такомиллашган турларини, IP-протоколларининг турли версиялари (IPv4 ва IPv6) ни, узлуксиз хизмат сифати - QoS нинг такомиллашган усулларини қўллаш, шунингдек, тармоқ архитектурасида вариантлар сони ҳамда резервлаш функцияларининг қисқартирилиши каби имкониятлар ҳам LTE стандартига қўйиладиган талаблар сирасига киради.

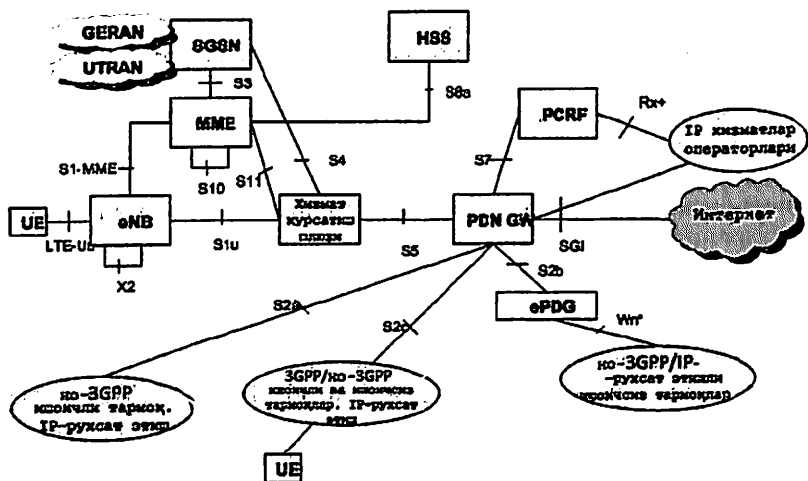
LTE тизимларининг спектрал самарадорлиги “пастга” йўналишда HSDPA технологиясига нисбатан 3-4 марта юқори бўлади, “юқорига” йўналишда эса, HSUPA технологиясига нисбатан 2-3 марта юқори бўлади. LTE да “хэндовер” жараёни иккинчи авлод даражасида канал коммутацияси асосида ишлайдиган тармоқлардагига нисбатан вақт жиҳатидан анча қисқа бўлади. Бундан ташқари, LTE ҳамда 2G/3G тармоқлари орасидаги “хэндовер” узлуксиз амалга ошади.

LTE тармоқларидаги ахборот хавфсизлиги даражаси (аутентификация, идентификация, маълумотларни шифрлаш) ҳозирда мавжуд бўлган пакетли ва каналли коммутацияга асосланган 3GPP тармоқлариникидан паст бўлмаслиги керак. Аутентификация жараёни тармоққа уланиш технологияси ва турига боғлиқ бўлмаслиги лозим.

3.3.2. LTE/SAE тизими архитектурасининг асосий ташкил этувчилари

Юқорида тақидлаб ўтилганидек, структура жиҳатдан LTE/SAE тизими архитектурасини олдинги авлод мобил алоқа тизимларидаги каби икки сатҳга бўлиш мумкин: радиоуланиш тармоғи - RAN ҳамда таянч тармоғи - CN.

LTE/SAE тизими архитектурасини соддалаштириш мақсадида ҳозирги кунда уни 3.3-расмда келтирилган каби вариантда қабул қилишган. Бу расмда LTE тизимининг асосий тармоқ тугунлари ва интерфейслари биргаликда келтирилган.



3.3-расм. LTE/SAE тизими архитектураси

3.3.2.1. E-UTRAN - такомиллаштирилган радиоулашиш тармоғи

LTE/SAE тизимида “такомиллаштирилган” E-UTRAN тармоғи номини олган радиоулашиш тармоғи «пастга» йўналишдаги улашиш, маълумотларни кодлаш, пакетларни йўналтириш ва қайта юбориш каби вазифаларга жавоб беради. E-UTRAN тармоғи “такомиллаштирилган В тугуни” яъни eNB номини олган ягона тугун даражасидан ташкил топган бўлиб, у абонент ускуналари (АУ) билан LTE-Ub интерфейси ёрдамида уланади. eNB тугуни OTЎ (ISO/OSI) моделининг физик (PHY), муҳитга улашишни бошқариш (MAC), радиоканалларни бошқариш (RLC) ҳамда пакетли маълумотларни бошқариш (PDCP) даражаларини қўллаб қувватлайди. eNB тугуни радиоресурсларни бошқариш (RRC), улашишни бошқариш, тармоқни режалаштириш, «юқорига» йўналишда QoS нинг келишилган даражасини таъминлаб бериш, кенг қамровли статус хабарларни жўнатиш, абонент ва бошқарув сатхларида маълумотларни кодлаш/декодлаш, шунингдек, абонент сатхида «пастга» ва «юқорига» йўналишларда пакетлар сарлавҳаларини компрессия/декомпрессия қилиш каби вазифаларни бажаради.

3.3.2.2. EPC- такомиллаштирилган пакетли таянч тармоғи

LTE/SAE тизимининг таянч тармоғи – EPC функционаллик жиҳатдан уч асосий таркибий қисмдан иборат:

- Мобилликни бошқариш модули – MME (ингл. *Mobility Management Entity*)
- Хизмат кўрсатиш шлюзи – S-GW (ингл. *Serving Gateway*). Айрим манбаларда S-GW шлюзи 3GPP Anchor (3GPP Лангар) деб ҳам юритилган.

• Пакетли маълумотлар тармоғи шлюзи – PDN GW (ингл. *Packet Data Network Gateway*, қисқартирилганда *P-GW*). Шунингдек, адабиётларда ушбу шлюз SAE Anchor (SAE Лангар) кўринишида ҳам келиши мумкин.

ЕРС тармоғининг сўнгги икки ташкил этувчилари мобил алоқа таянч тармоқ архитектурасининг бутунлай янги элементлари ҳисобланиб, уларни пайдо бўлишининг асосий сабаби юқорида айтиб ўтилган абонентнинг турли типдаги тармоқлар орасида кўчиб юриши жараёнида мобилликни таъминлаш талабидир. S-GW ва P-GW шлюзларини ягона шлюз сифатида номланганда, IASA (ингл. *Inter Access System Anchor*) номи ишлатилади, агарда улар ягона тармоқ элементи сифтида ишлатилган бўлса, бундай элемент – уланиш шлюзи aGW (ингл. *access GW*) деб номланади.

ЕРС тармоғининг функционал элементларини қурилма жиҳатдан бирлаштириш ёки тармоқ бўйича тақсимлаш мумкин, бу эса қўлланиладиган қурилмалар ва тармоқнинг хусусиятларига боғлиқ. Масалан, MME ҳамда S-GW модуллари ўзаро аралаш бўлиши ёки тармоқнинг турли тугунларида жойлашган бўлиши мумкин.

Мобилликни бошқариш модули – MME

MME модули E-UTRAN тармоғида асосий бошқарув тугуни ҳисобланади. У кутиш режимида турган АУ ни кузатиш, уни жойлашувини аниқлаш ва АУ ни фаол режимга ўтказувчи қисқа хабарларни юбориш, шунингдек, трафикни қайта жўнатиш жараёнига жавобгар ҳисобланади. Шу билан бирга, MME модули бир томонлама йўналтирилган канални активация/деактивация жараёни ва АУ учун биринчи S-GW шлюзини танлаш учун ҳам жавобгардир. LTE тармоғи ичидаги “хэндовер”да эса, ушбу модуль таянч тармоқ тугунлари орасидаги трафикни қайта манзиллаш (яъни бошқа манзилга йўналтириш) жараёнида иштирок этади.

MME модули HSS сервери билан АУ ни ўзаро уланишида АУ ни аутентификациясини амалга оширади. NAS (ингл. *Non Access Stratum*) - уланишга боғлиқ бўлмаган сатҳ сигналлари MME модулида тугаши туфайли унда АУларга вақтинчалик идентификатор - ID ҳосил қилинади ва белгиланади. Шундай қилиб, MME модули АУ авторизациясини текшириш, провайдер тармоғида мавжуд умумий фойдаланишдаги мобил хизматларга ва «роуминг» га уланишни чеклашга жавоб беради.

Шунингдек, MME модули тармоқдаги сатҳлар чегараси (ингл. *termination point*) ҳисобланади ва NAS сатҳидаги сигналлар бутунлигини ҳимоя қилиш ва шифрлашни таъминлаб беради ва ҳимоя қалитлари билан бошқарувни амалга оширади. Сигналларни қонуний ушлаб олиш (Тезкор қидирув тадбирлар тизими (рус. *СОРМ*) га таълуқли) ҳам ушбу модулда амалга оширилади. MME модули SGSN (GPRS тармоғидаги қўллаб қувватловчи тугун) орқали LTE ва 2G/3G тармоқлари орасида бошқарув сатҳидаги мобиллик функцияларига ҳам жавоб беради (2.4.3.1-бўлимга қаранг). Ва ниҳоят, MME HSS сервери билан ўзаро ҳамкорликда АУ «роуминг» ини қўллаб қувватлайди.

Тармоқ қурилмасини соддалаштириш, мустақил технологияга ўтиш ва тармоқ ўтказувчанлик қобилиятини ўзгартиришни ўта қулай қилиш мақсадида ММЕ модули функционал жиҳатда шлюзлардан ажратилган.

Баъзан, айрим манбаларда ММЕ модули икки мантиқий элементларга ажратилади: бевосита ММЕ модули ҳамда абонентни бошқариш модули - UPE (ингл. *User Plane Entity*) (ММЕ/UPE). Ўз навбатда UPE абонент даражасидаги функциялар: IP-протокол сарлавҳаларини сиқиш, мобилликни таъминлаган ҳолда пакетларни маршрутлаш ҳамда қайта жўнатиш, АУ нинг жорий статусини сақлаб қолиш, “пастга” йўналишдаги уланишларни амалга ошириш ва маълумотларни шифрлаш; бевосита ММЕ модули бошқарув сатҳидаги функциялари: eNB тугунларига чақирув хабарларини жўнатиш (ингл. *paging*), АУ ларга ID белгилаш, тармоқ хавфсизлигини таъминлаш, абонентлар хабарлари ҳақиқийлигини текшириш ва «роуминг» ни бошқариш кабилардир.

S-GW - хизмат кўрсатувчи шлюз

Хизмат кўрсатувчи S-GW шлюзи LTE тизимлари доирасида мобиллик учун таянч нуқтаси ҳисобланади. У абонентнинг маълумотлар пакетларини йўналтириш (маршрутлаш) функциясини бажаради, шунингдек, соталар орасидаги “хэндовер”да абонент сатҳида мобиллик учун таянч нуқтаси сифатида ишлатилади ва LTE тармоқлари ҳамда бошқа 3GPP технологиялар орасида боғлиқликни таъминлаш (шу билан 2G/3G тизимлари ва маълумотлар узатиш тармоқ шлюзи – P-GW орасида трафик алмашувини таъминлаш) вазифасини бажаради. S-GW шлюзи АУ га тегишли маълумотларни сақлаш ва бошқаришни таъминлайди, яъни IP-канал параметрлари ҳақидаги маълумотлар, маршрутлаш бўйича ички тармоқ маълумотлари ва ҳ.к. Шунингдек, S-GW қонуний ушлаб қолишда (COPM) абонент трафиғи пакетларини такроран узатишни амалга оширади.

P-GW - пакетли маълумотлар тармоғи шлюзи

Пакетли маълумотлар тармоғи шлюзи бир ёки бир нечта уланиш технологиялари доирасида барча абонентлар учун (уларни мобиллигидан қатъий назар) барқарор IP-нуқтани таъминлаган ҳолда барча уланиш технологиялари учун таянч нуқтаси бўлиб хизмат қилади. P-GW шлюзи АУ учун трафик қабул қилиш ва жўнатиш нуқтаси ҳисобланиб, АУ ва ташқи пакетли маълумотлар тармоқлари ўртасида алоқани таъминлайди. Ҳар бир АУ бир вақтнинг ўзида бир нечта P-GW шлюзлари билан боғлана олади ва шу билан бирга, бир нечта пакетли маълумотлар тармоқларига уланиши мумкин. Шунингдек, шлюз ҳар бир абонент учун ўрнатилган сервислар назоратини ва пакетлар фильтрациясини амалга оширади, тарификация хизматларини қўллаб қувватлайди ва пакетли маълумотларни қонуний ушлаб олиш функциясини ҳамда пакетли маълумотларни “скрининг” (текшириш)ни амалга оширади. P-GW шлюзининг бошқа бир муҳим функцияси бу 3GPP технологиялари ва но-3GPP (WiMAX каби), ёки CDMA-2000 1X, EV-DO каби 3GPP-2 технологиялари тармоқлари орасида мобилликни таъминлаш учун уланишларни ташкил қилишдир.

ЕРС тармоғининг ёрдамчи ташкил этувчилари қуйидагилардир:

- HSS (ингл. *Home Subscriber Server*) - Уй (меzbон) абонентлари сервери;
- PCRF (ингл. *Policy and Charging Rules Function*) - Тарификация қоидалари ва сиёсатларни қўллаш сервери;
- SGSN (ингл. *Serving GPRS Support Node*) - GPRS ни қўллаб-қувватловчи хизмат тугуни;
- ePDG (ингл. *Evolved Packet Data Gateway*) - Такмиллашган пакетли маълумотлар шлюзи.

HSS - Уй абонентлари сервери

HSS сервери абонентлар маълумотлари базаси бўлиб, абонентларга хизмат билан боғлиқ бўлган шахсий маълумотларига уланиш имконини беради. HSS серверида, шунингдек, MME модули сўровига жавоб бера оладиган, абонент ҳақидаги аниқ маълумотлардан ташкил топган маълумот базасидаги ҳолатини аниқлаб берадиган SLF (ингл. *Subscription Locator Function*) функцияси амалга оширилади. HSS сервери ўз ичига 2G тармоқлари архитектурасидан бизга маълум бўлган HLR ва AuC модуллари функцияларини қамраб олади. HSS сервери пакетли таянч тармоғига SS7 (УКС-7) асосида эмас, балки Diameter²⁵ протоколи асосидаги интерфейс ёрдамида уланади. Бу эса IP-тармоғининг бошқарув сатҳи учун унификацияланган ва соддароқ ечимни яратиш имконини беради, чунки тармоқ сигнализацияси учун сиёсатлар бошқаруви ва тарификация қоидалари Diameter протокоliga асосланган.

PCRF – тарификация қоидаларини ва сиёсатларни қўллаш сервери

LTE тизимида PCRF сервери абонентларга талаб қилинадиган QoS даражасига мос келадиган ва «биллинг» тизимидан олинган қоидаларга асосланган тарификация хизматларини тақдим этишни бошқарув функцияларини бажаради. Бундай функцияларга: абонентнинг маълумот пакетлари оқимини аниқлаш ва рўйхатга олиш (рўйхатга олишда маълумот пакетлари оқими абонентнинг IP-протоколи идентификатори асосида талаб қилинган хизмат кўрсатиш сифати ва қабул қилувчи ва узатувчининг портлари ва IP-манзиллари билан таққослаштирилади); маълумотлар пакетини узатиш ҳажми ва параметрларини ўлчаш (тезлик ва жавоб кечикиш вақти); маълумот узатиш сифатини бошқариш ва уни ҳисобга олган ҳолда, реал вақт давомида тарификация қоидаларининг қўлланилиши ва бошқалар киради. Батафсилроқ 3.3.6. параграфда берилган.

²⁵ Diameter - сеанс протоколи бўлиб, турли хизматлар ҳисоби, аутентификация, авторизация - AAA ни амалга ошириш мақсадида абонентлар орасида ўзаро ҳамкорликни таъминлайдиган IMS архитектурасининг асосий протоколи ҳисобланади. Diameter нинг асосида яратиладиган янги уланиш технологияларининг пайдо бўлишида AAA хизматларини тақдим этиш учун таянч протоколни қуриш, кейинчалик уни кенгайтириш имкониятлари билан яратиш концепцияси ётади.

GPRS ни қўллаб-қувватловчи хизмат тугуни – SGSN

SGSN шлюзи S-GW шлюзи билан биргаликда LTE ҳамда GSM/GPRS ва UMTS тармоқлари орасида ўзаро ҳамкорликни таъминлайди. Бунда, SGSN абонентни идентификация қилиш ва мобилликни бошқариш, IP-тармоқ протоколларини GPRS ва UMTS тармоқларида қўлланиладиган протоколларга ўзгартириш, абонент тўлови ҳамда абонент трафиғи ҳақидаги маълумотларни йиғиш ҳамда бошқа ташқи тармоқларга уланганда маълумотларни маршрутлаш каби масалаларни ҳал қилади.

Тақомиллаштирилган пакетли маълумотлар шлюзи – ePDG
ePDG шлюзи “ишонсиз” уланиш тармоқлари (масалан WLAN) билан ўзаро боғланганда қуйидаги вазифаларни бажаришга мўлжалланган:

- турли хил уланиш тармоқлари абонентлари учун локал IP-манзиллар белгилаш;
- маълумот пакетларини P-GW шлюзидан(га), шунингдек S-GW шлюзидан(га) маршрутлаш (S-GW шлюзи но-3GPP тармоқлар билан ишлаганда локал шлюзи вазифасини бажарганда);
- маълумот пакетларини PMIPv6, IPSec тунелларига инкапсуляция ва деинкапсуляция қилиш;
- аутентификация ва авторизация маълумотларини узатиш учун IKEv2 (ингл. *Internet Key Exchange Protocol version 2*) протоколи асосида хавфсиз тунеллар ҳосил қилиш.

3.3.2.3. Тизим ичида ҳамда тизимлараро ўзаро ҳамкорликни ташкил қилиш

LTE тизимида тизим ичида ҳамда тизимлараро боғланиш тегишли интерфейслар асосида амалга оширилади. LTE нинг таянч станциялари (eNB) таянч тармоғи билан RAN-CN (S1) интерфейси орқали уланади. MME модули бошқарув сигналларини S1c интерфейси орқали юборади (масалан, мобилликни бошқаруви бўйича). TC тугунлари ва шлюзлар орасида абонентлар маълумотлари IP-протоколи асосидаги транспорт каналлар орқали S1u интерфейси ёрдамида узатилади. AU нинг фаол режимда юқори тезликда мобиллигини таъминлаш учун LTE нинг ҳар бир таянч станцияси атрофдаги TC ларга X2 интерфейси орқали мантиқий уланади.

GSM ва W-CDMA/HSPA тармоқлари LTE/SAE тармоғига SGSN ва EPC тугунларини бирлаштирувчи стандартлаштирилган интерфейслар орқали ўзаро уланади. Булар таркибига MME ва P-GW орасида контекстни узатиш учун ҳамда абонент бир жойдан бошқа жойга кўчганда ҳар хил радиоуланиш технологиялари орасида каналлар ҳосил қилиш учун ишлатиладиган S5a, шунингдек, AU билан IP-уланишни ташкил қилиш учун S-GW ва P-GW шлюзлари орасидаги S5b каби интерфейслар киради. Шу билан, GSM ва W-CDMA/HSPA терминаллари учун P-GW шлюзи GGSN (GSM тармоқларидаги GPRS ни қўллаб-қувватловчи шлюз тугуни) вазифасини бажаради. (2.4.3.1 бўлимга қаранг). Бундай архитектура SGSN ва MME ни битта тугунда улаш йўли билан GSM, W-CDMA/HSPA ва LTE

тизимлари учун умумий пакетли таянч тармоғини яратиш имконини беради.

LTE/SAE тармоғининг асосий интерфейслари қисқача таърифи 3.2-жадвалда келтирилган.

3.2-жадвал

LTE/SAE тармоғининг асосий интерфейслари

Интерфейс	Интерфейс вазифаси
S1	Абонент ва бошқарув сатхлари протоколлари маълумотларини узатиш учун E-UTRAN тармоғига улаишни тақдим этади. MME ва UPE элементларининг алоҳида ва бирлашган қурилма тарзида ишлатиш имконини беради.
S2a	IASA тугуни ва но-3GPP стандартларга мансуб тургун IP-тармоқлар орасидаги интерфейс ҳисобланади. Абонент сатхидаги протоколларнинг маълумотларини узатишни таъминлайди ҳамда мобиллик ва бошқарув функцияларини қўллаб қувватлайди. S2a, S2b ва S2c интерфейсларини ўз ичига олади.
S3	MME/UPE элементлари ва SGSN тугуни орасидаги интерфейс. E-UTRAN ва UTRAN тармоқлари АУ лари орасида тармоқлараро “хэндовер”ни бошқарувини таъминлайди.
S4	P-GW ва SGSN тугунлари орасидаги интерфейс. Абонент сатхидаги протоколларнинг маълумотларини узатишни таъминлайди ҳамда мобиллик ва бошқарув функцияларини қўллаб қувватлайди. UMTS тармоғидаги SGSN ва GGSN тугунлари орасида ишлатиладиган <i>Gn</i> интерфейсига асосланган.
S5a	MME/UPE модуллари ва P-GW тугуни орасидаги интерфейс. Абонент сатхидаги протоколларнинг маълумотларини узатишни таъминлайди ҳамда мобиллик ва бошқарув функцияларини қўллаб қувватлайди.
S5b	P-GW ва S-GW тугунлари орасидаги интерфейс. Абонент сатхидаги протоколларнинг маълумотларини узатишни таъминлайди ҳамда мобиллик ва бошқарув функцияларини қўллаб қувватлайди.
S6	Абонентларни аутентификация ва авторизация қилиш учун уй абонентлари маълумот базаси (HSS) га улаишни таъминлаб берувчи интерфейс (AAA интерфейс).
S7	Тармоқ сиёсатлари ва тарификация қондалари (PCRF) асосидаги QoS нинг белгиланган параметрларига мувофиқ алоқа ўрнатишни бошқарувини таъминлайдиган интерфейс.
SGi	IASA тугуни ва маълумотларни пакетли равишда узатувчи ташқи тармоқлар орасидаги интерфейс. Бундай тармоқлар IMS нимтизими хизматларини тақдим этади ва турли ёки битта сотали алоқа операторига тегишли бўлиши мумкин. Бу интерфейс GGSN тугунлари ва ташқи IP-тармоқлар орасидаги <i>Gi</i> интерфейсига асосланган.

3.3.2.4. EPS нимтизими характеристикалари

EPS нимтизимининг асосий вазифаси бу бошқарув сатҳи функцияларини бажарадиган тармоқ тугунлари (MME модули) ни коммутация сатҳи функцияларини бажарадиган тугунлар (S-GW шлюзлар) дан яққол ажратадиган ораликдаги очиқ интерфейс - *S11* ни таъминлашдир. Бинобарин, E-UTRAN радиоулаиш тармоғи янги хизмат турларини таъминлаш ҳамда мавжудларини такомиллаштириш учун етарли даражада кенг ўтказиш полосасини қўллаб қувватлайди. Бунда MME ни S-GW дан ажратилади ва бундан маъно, S-GW юқори тезликли пакетларни қайта ишлаш учун оптималлаштирилган платформага асосланса, MME эса бошқарувчи сигналларни маршрутлаш учун оптималлаштирилган платформага асосланиши мумкин. Бу эса тармоқни мустақил конфигурациялаш ҳамда ҳар бир элементлар учун иқтисодий самаралироқ платформани танлаш имкониятини беради. Шунингдек, тармоқ топологиясининг чегараларида операторлар ўтказиш полосасидан максимал фойдаланиш, жавобнинг кечикиш вақтини қисқартириш ҳамда кўплаб раддиялардан (рус. *кучные отказы*) қочиш мақсадида S-GW шлюзларини MME модулларидан мустақил равишда жойлаштиришлари мумкин.

S1-flex механизми

S1-flex механизми MME ва S-GW таянч тармоғи элементлари орасидаги трафик юкласини тенг тақсимлаш ҳамда тармоқни захиралашни таъминлаш учун хизмат қилади. Бунга эришиш учун, ҳар бир eNB тугунлари бир нечта гуруҳлаштирилган MME ва S-GW тугунлари билан ўзаро боғлана олиши учун MME ва S-GW тугунларини гуруҳларини ҳосил қилиш эвазига амалга ошади.

Шундай қилиб, LTE/SAE архитектураси E-UTRAN радиоулаиш тармоғидан фойдаланган ҳолда таянч тармоғининг алоҳида элементларини (MME, S-GW, P-GW) ишлатиш имконияти билан операторларга ўз тармоқларини қуришда капитал ва эксплуатацион харажатларни қисқартириш имконини беради. Бу ҳар бир eNB тугунини таянч тармоғининг бир неча элементлари билан ўзаро улаш имконини берадиган S1-flex механизмини қўлланилиши туфайли амалга ошади. Абонент ускунаси тармоққа уланганида, у тегишли провайдер белгиланган ўз ID сига асосланиб, таянч тармоғининг мос тугунларига уланади.

3.3.3. LTE тизимининг асосий функциялари, протоколлар структураси ҳамда канал структураси

Ушбу бўлимда протоколларнинг турли даражаларини функциялари ҳамда уларнинг LTE/SAE тармоғи архитектурасида жойлашуви, шунингдек, «юқорига» ва «пастга» йўналишлардаги алоқа каналлари ёритилган.

Қуйида LTE/SAE тармоғининг асосий функциялари келтирилган:

- **Тармоққа уланишни бошқарув функцияси** (ингл. *Network Access Control*) «уй» ва меҳмон АУ ларга ҳам «уй», ҳам меҳмон тармоғи сифатида уланишни тақдим этишга жавоб беради. Бу функция ўз навбатида, тармоқни танлаш, аутентификация ва авторизация, уланишни назорат қилиш, тармоқ сиёсатлари ва тарификация қондаларининг қўлланилиши - PCRF, хабарларни қонуний ушлаб олиш (ТҚТТ - COPM) каби нимфункцияларни ўз ичига олади.

- **Тармоқ радиоресурслари бошқаруви функцияси** (ингл. *Radio Resource Management*) АУ лар ўртасида тармоқнинг канал ресурсларини тақсимлаш вазифаси билан шуғулланади. Бу функцияни амалга ошириш учун ММЕ модули eNB га “радиотехнология ва частота муҳимлиги (приоритети) бўйича танлаш” - RFSP (ингл. *RAT/Frequency Selection Priority*) деб номланган параметрни узатади. eNB да бу параметрдан радиоресурсларни бошқариш бўйича тармоқ стратегиясини амалга оширишда фойдаланилади. RFSP параметри хар бир АУ учун ягона (шахсий) бўлиб, у E-UTRAN тармоғининг барча маълумотлар алмашиш хизматларида ишлатилади.

- **Маълумот пакетларини маршрутлаш ва элтиш функцияси** (ингл. *Packet Routing and Transfer*) бир ва бир нечта мобил алоқа тармоқлар ичида ва орасида пакетли маълумотларни узатиш йўналишини аниқлаш (маршрутлаш) ҳамда уларни элтиш (транспортлаш) ни амалга оширади. Бунинг учун, IP-сарлавҳаларни сиқиш ҳамда маълумот пакетларини текшириш (сканлаш) функциялари бажарилиши ҳам мумкин.

- **Абонент ускунаси мобиллигини бошқариш функцияси** (ингл. *Mobility Management*) E-UTRAN тармоғида АУ нинг жойлашишини кузатиб боришни таъминлайди. Бу функция ўрганиш учун алоҳида аҳамиятга эга, ва шу сабабли у ҳақида қуйида 3.4-бўлимда атрофлича ёритилади.

- **Хавфсизликни таъминлаш функцияси** (ингл. *Security Management*) қуйидагиларни ўз ичига олади:

- Абонентни аутентификация қилиш ҳамда абонент учун рухсат этилган хизматларга уланишни тасдиқлаш ҳисобига LTE тармоғига санкцияланмаган (рухсат этилмаган) уланишлардан ҳимоя қилиш;

- вақтинчалик идентификаторлар ҳамда шифрлаш калитларидан фойдаланиш ҳисобига абонентни ишончли аутентификация қилиш;

- шифрлаш ёрдамида абонентлар маълумотларини махфийлигини таъминлаш;

- бошқарув ахборотларини ҳимоя қилиш;

- ТС ни АУ томонидан аутентификациялаш;

- АУ ни идентификациялаш.

- **Тармоқ бошқаруви функцияси** (ингл. *Network Management*) тармоқни эксплуатация қилиш, бошқариш, қўллаб-қувватлаш ва таъминлаш - OAM&P (ингл. *Operations, Administration, Maintenance and*

Provisioning) хизматлари орқали бажарилади ва бир неча нимфункцияларни ўз ичига олади:

- *MME* лар орасида юкламани тақсимлаш функцияси тармоқда юклама бир текис тақсимланиши учун *AU* ларни бошқарувини *MME* модуллари орасида тарқатиб туради.

- *MME* лар орасида юкламани қайта тақсимлаш функцияси алоқа сеанси жараёнида *AU* га хизмат кўрсатишни бир *MME* модулидан бошқасига ўтказиши.

- *MME* модулида ўта юкланишларни бошқариш функцияси тармоқдаги ўта юкланишларни вужудга келишини, хусусан, *AU* га канални тақдим этиш учун сўровга рад этишга қаршилиқ кўрсатадиган механизмларни аниқлайди.

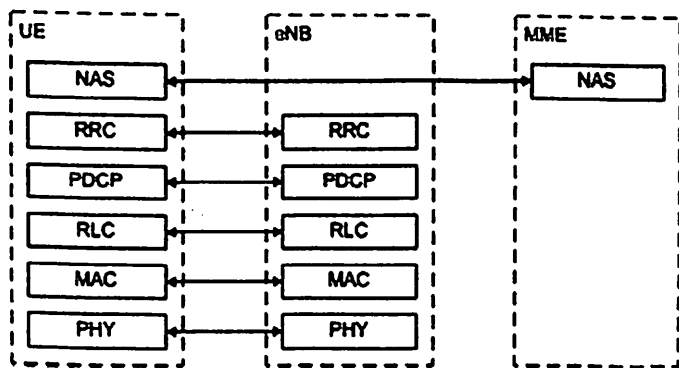
• Тармоқнинг функционал элементларини танлаш функцияси *P-GW* ва *S-GW* шлюзлари, *MME* модули, *SGSN* тармоқ тугуни ва *PCRF* функционал элементларини танлаш каби функцияларни ўз ичига олади.

• Тармоқда *IP*-протоколдан фойдаланиш билан боғлиқ функциялар ўз навбатида *P-GW* шлюзнинг мантиқий номи ва унинг *IP*-манзили орасида мосликни ўрнатишни амалга оширувчи домен номлари тизими - *DNS* (ингл. *Domain Name System*) нимфункциясини, ҳамда *AU*ларга динамик *IP*-манзилларни тақдим этувчи хостларнинг динамик конфигурацияси - *DHCP* (ингл. *Dynamic Host Configuration Function*) нимфункциясини ўз ичига олади.

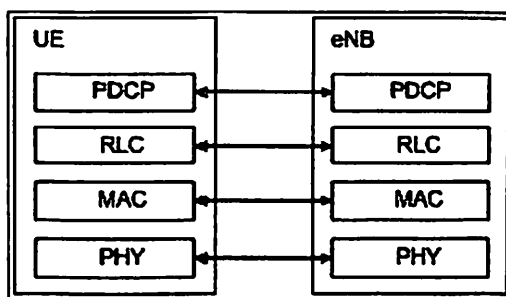
LTE/SAE тизимининг юқорида санаб ўтилган функцияларнинг ҳар бири *OTU* нинг турли даражаларида турли протоколлардан фойдаланган ҳолда амалга оширилади. 3.4 ва 3.5 расмларда таълуқли равишда бошқарув ва абонент сатхларининг протоколлар стеклари келтирилган.

Бошқарув сатхида уланишни тақдим этиш билан боғлиқ бўлмаган, *MME* ва *AU* орасида жойлашган *NAS* протоколи ишлатилади. Ушбу протокол тармоққа боғланиш, аутентификация, алоқа каналларини ташкил қилиш ва мобилликни бошқариш каби бошқарув функцияларини бажаришда ишлатилади. Барча *NAS* хабарлари кодланган, уларнинг бутунлиги эса, *AU* ва *MME* модули орқали ҳимояланган бўлади.

Радиоресурсларни бошқариш даражаси - *RRC* *eNB* тугунида *AU*дан олинган қўшни соталар параметрларига асосланиб “хэндовер”ни амалга ошириш бўйича қарор қабул қилиш; *AU* га қисқа хабарлар (пейжинг) ва тармоқ ҳақида кенг қамровли ахборотларни жўнатиш; ҳамда даврий “канал сифатининг кўрсаткичи” - *CQI* (ингл. *Channel Quality Index*) каби тармоқ параметрлари бўйича *AU* нинг хабарларини бошқаруви ва сота қамровида фаол режимдаги *AU* ларнинг вақтинчалик идентификаторларини тақсимлаш каби функцияларни бажаради. Шунингдек, *RRC* даражаси “хэндовер” жараёнида узатувчи *eNB* дан қабул қилувчи *eNB* га *AU* учун контекстни узатиш вазифасини бажаради ҳамда *RRC* хабарларини бутунлигини ҳимоялайди. *RRC* даражаси радиоканалларни ташкил қилиш ва бошқаришга ҳам маъсул ҳисобланади.



3.4-расм. Бошқарув сатхидаги протоколлар стеки



3.5-расм. Абонент сатхидаги протоколлар стеки

Абонент сатхида **PDCP** даражаси интерфейсининг ўтказиш қобилиятидан самарали фойдаланишга эришиш учун “Сарлавҳаларни мустаҳкам сиқиш” - RoHC (ингл. *Robust Header Compression*) услубидан фойдаланиш ҳисобига абонент IP-пакетлари сарлавҳаларини сиқиш/ёйиш (рус. *компрессия/декомпрессия*) функциялари учун маъсул ҳисобланади. Бу даража шунингдек, бошқарув ва абонент сатхладрида маълумотларни кодлаш функциялари бажарилади. Шу боис, NAS хабарлари RRC сатхида узатилгани ҳисобига, маълумотлар икки марта кодланган (яъни янада ишончли) бўлади ва MME модулида ҳам, eNB тугунида жойлашганда ҳам бутунлик жиҳатидан ҳимояланади.

RLC - радиоканалларни бошқариш даражаси AU ҳамда eNB орасида трафикни форматлаш ва узатиш учун ишлатилади. RLC маълумотларни узатиш учун қуйидаги учта ишончли режимда ишлашни таъминлайди: тасдиқланган - AM (ингл. *Approved Mode*), тасдиқланмаган - UM (ингл. *Unapproved Mode*) ва очик - TM (ингл. *Transparent Mode*) режимлар. UM режими кечикишларга сезгир ва такрорий узатишларни қабул қилмайдиган трафикни реал вақт масштабида (PBM) узатиш учун ишлатилади. AM режими эса, аксинча, PBM ни талаб қилмайдиган трафик учун, масалан,

файлларни юклар олиш учун қўлланилади. ТМ режими эса, маълумот пакетлари ўлчамлари олдиндан маълум бўлганда масалан, тизим ахборотларини кенг қамровли узатишда ишлатилади. Шунингдек, RLC даражаси хизмат маълумотлари блоклари - SDU (ингл. *Service Data Unit*) ни янада юқорироқ даражаларга навбатма - навбат узатилишини таъминлайди ва бу даражаларни SDUларни такрорий узатилишларидан ҳимоя қилади. RLC даражасида шунингдек, радиомухит шароитларига боғлиқ равишда SDU блокларини сегментлаш ҳам амалга оширилади.

Ишончлилиқни таъминлаш учун пакетларни қайта узатишнинг икки механизми, айнан, MAC даражасида такрорий узатишни гибрид автоматик сўрови (HARQ) ва RLC даражасида ташқи такрорий узатишни автоматик сўрови (ARQ) механизмлари ишлатилади. ARQ ташқи механизми атоийн оддий ҳолда сақланган ва у бир битли хатоликларга жавоб механизмини ишлатган ҳолда, HARQ даражасида тузатилмаган қолдиқ хатоликлар билан ишлашга мўлжалланган. Бу ерда “тўхташ ва кутиш” (ингл. *Stop and Wait - SAW*) принципи асосида ишлайдиган ҳамда «пастга» йўналишда асинхрон қайта узатишлар, «юқорига» йўналишда синхрон қайта узатишлар бажарадиган HARQ нинг кўп каналли ишлов бериш жараёни (ингл. *N-process*) қўлланган. Синхрон режимда HARQ блокларини қайта узатиш жараёни қатъий маълум вақт ораликларида амалга ошади. Бунда такрорий узатишлар вақтлари ҳақида қабул қилгичга кўшимча хабар беришга эҳтиёж қолмайди. Асинхрон режимда эса, HARQ механизми радиоинтерфейс шароитларига асосланган ҳолда мослашган режа асосида қайта узатишларни амалга оширади.

3.6 ва 3.7 расмларда мос равишда «пастга» ва «юқорига» йўналишларда алоқа учун 2-даража²⁶ нинг тузилмалари келтирилган.

LTE стандартида мантиқий ва транспорт каналларини тақсимлаш схемаларини соддалаштириш ва сонини қисқартириш бўйича сезиларли ҳаракатлар амалга оширилган. LTE тизимининг мантиқий ҳамда транспорт каналларининг турли хил кўринишлари мос равишда 3.8 ва 3.9 расмларда келтирилган.

Мантиқий каналлар улар орқали узатиладиган ахборотлар асосида белгиланади (Масалан, бошқарув каналлари ёки трафик каналлари).

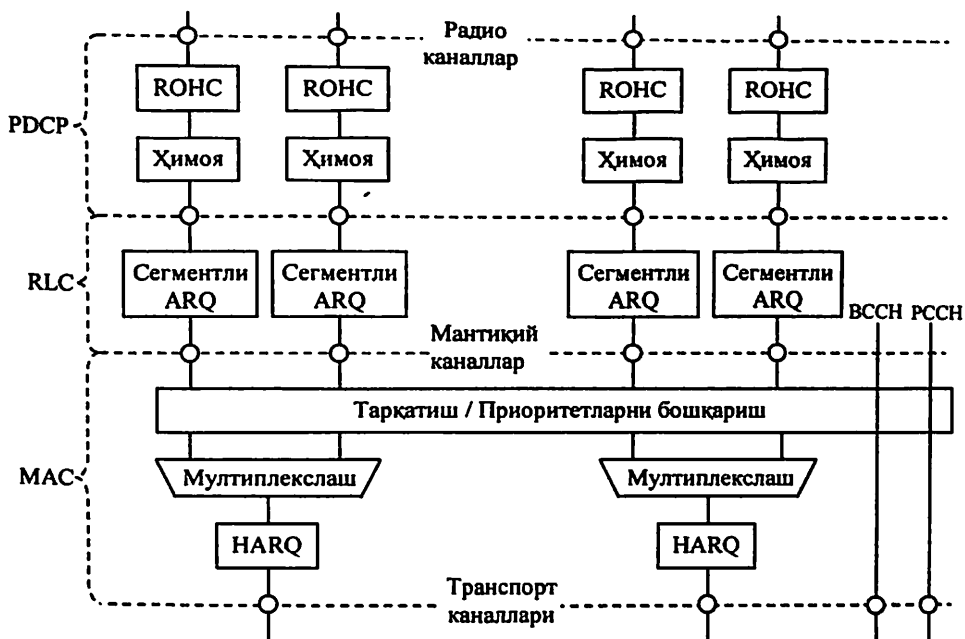
Транспорт каналлари эса радиоинтерфейс бўйича узатиладиган маълумотлар характеристикаларига қараб фарқланади.

MAC сатҳи мантиқий ва транспорт каналларни бириктиришни амалга оширади ва турли АУ лар ва уларга ҳар икки йўналишда («пастга» ва «юқорига») нисбий приоритетлар асосида бириктирилган сервислар орасида каналларни тақсимлашни амалга оширади ва мос келадиган транспорт форматини танлайди.

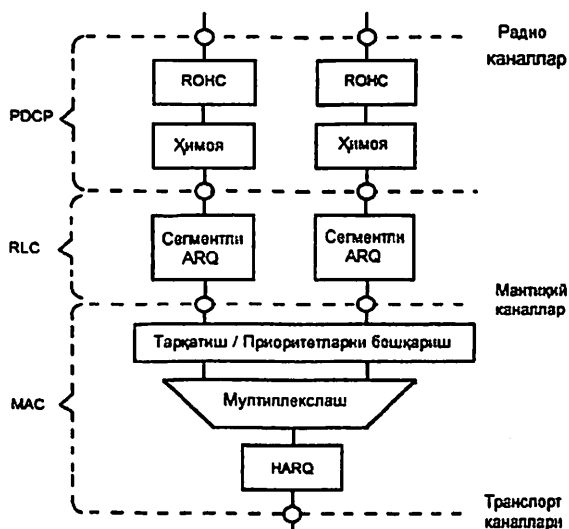
«Юқорига» ва «пастга» йўналишларда мантиқий каналларни транспорт каналларга тақсимлаш 3.10-расмда келтирилганидек амалга

²⁶ 2- даража PDCP, RLC ва MAC даражаларидан ташкил топган.

оширилади (пунктир чизик билан ажратилган тақсимлашлар 3GPP лойихаси доирасида ўрганилмоқда).

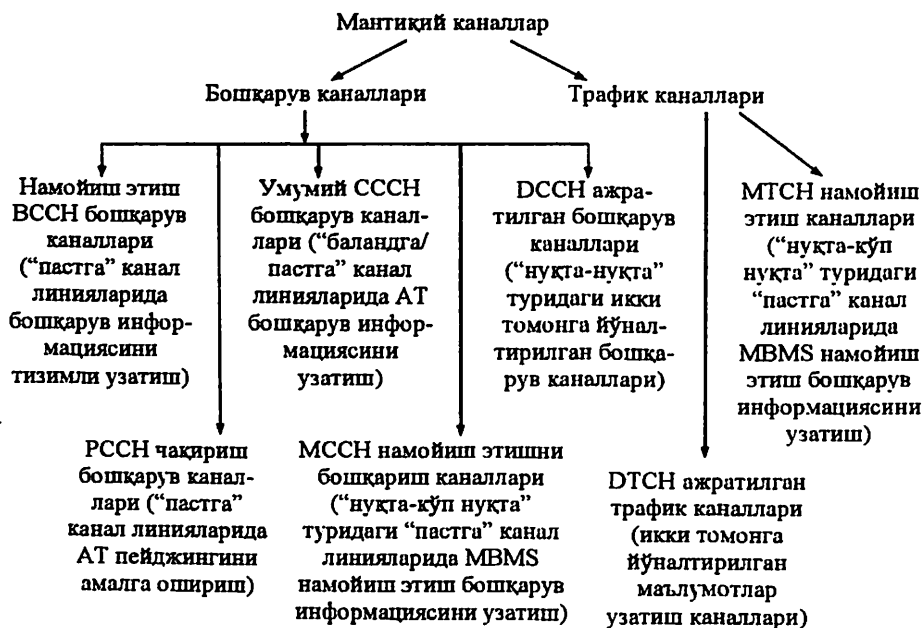


3.6-расм. «Пастга» йўналишда 2-даражанинг тузилмаси



3.7-расм. «Юқорига» йўналишда 2-даражанинг тузилмаси

eNB тугунининг РНУ - физик даражаси каналлар ҳолатини ҳисобга олган ҳолда кодлаш ва адаптив модуляция – АМС схемаларидан фойдаланиш ҳисобига маълумотларни алоқа канали хатоликларидан ҳимоя қилишга жавоб беради. Бу даражанинг ўзида частотали ва вақтли синхронлаш, шунингдек, модуляция ва демодуляция жараёнларини ўз ичига олган ҳолда радиочастота каналларига ишлов бериш амалга оширилади. Бундан ташқари бу даражада, АУ ҳолати бўйича ҳисоботлар (CQI каби) ҳосил қилинади ва юқорироқ даражаларга узатилади. Физик канални режалаштиришни энг кичик модули - бу частота-вақтли блок ҳисобланиб у бир слот (0,5ms) ва 12 та нимэлтувчига (15kGs дан) мос келади. Ягона нимэлтувчи даражасида бошқарув сигналларининг ҳажмини чеклаш учун режалаштириш амалга оширилмайди.



3.8-расм. LTE тизимидаги мантқиқий каналлар

АУ да ажратилган (рус. *разнесенные*): 2 та қабул қилувчи ва 1 та узатувчи (яъни МISO даражасига мос келадиган) антенналар схемаси қўлланилган, ва бу мажбурий талаб ҳисобланади. eNB тарафида 2 та қабул қилувчи ва 2 та узатувчи антеннадан иборат ММО схемаси ишлатилган, ва бу ҳам стандартнинг асосий талаби ҳисобланади.

LTE тизимида физик даражанинг ташкил этилиши (радиоинтерфейс) ва ММО технологиясининг қўлланилиши ҳақида кейинроқ батафсил тўхталиб ўтилади.

Транспорт каналлари

“Пастга” линия каналлари

“Юқорига” линия каналлари

ВСН намоиш этиш каналлари (Ўзгармас сигнал параметрларига эга)

Пейджинг каналлари РСН (намоиш этиш режими қўлланилган)

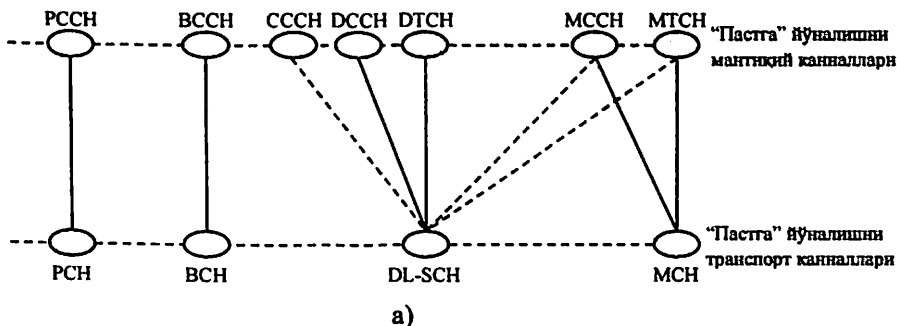
Тасодифий рухсат этиш каналлари РАСН (Коллизия эҳтимоллиги мавжуд)

Бирлаштирилган “пастга” линия каналлари DL-SCH (каналларнинг динамик мослашувини таъминлайди, HARQ қўлланилган, DTX режими мавжуд, ресурсларни динамик тақсимлайди)

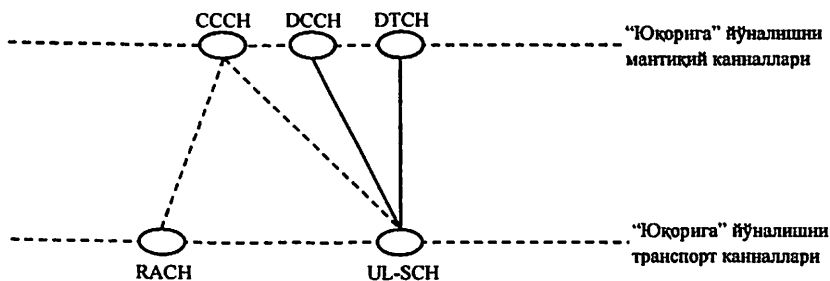
Намоиш этиш каналлари МСН (“нуқта-кўп нуқта” тури; SFN режимида намоиш этиш имконини беради)

Бирлаштирилган “юқорига” линия каналлари UL-SCH (каналларнинг динамик мослашувини таъминлайди, HARQ қўлланилган, DTX режими мавжуд, ресурсларни динамик тақсимлайди)

3.9-расм. LTE тизимидаги транспорт каналлари



а)



б)

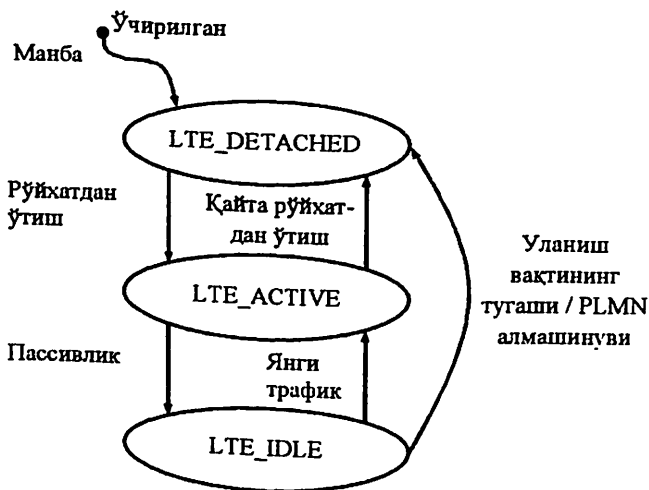
3.10-расм. LTE тизимида «пастга» (а) ва «юқорига» (б) йўналишларда мантиқий каналларни транспорт каналларига тақсимланиши

3.3.4. Абонент ускуналарининг мобиллигини бошқарув функцияси

АУ ларининг мобиллигини бошқаруви «уй» ва мехмон соталарда ишлатиладиган радиотехнологияларга, АУ ни мобил ҳолатига ва ахборот жўнатиладиган ОҲҲ даражасига асосланган ҳолда классификация қилинади.

LTE тармоқларида соддалаштирилган кўринишда АУ, мобиллик нуқтаи назаридан, 3.11-расмда кўрсатилганидек, уч ҳолатдан бирида бўлиши мумкин: «Уланмаган LTE» (ингл. *LTE Detached*), «Ноактив LTE» (ингл. *LTE Idle*), ва «Актив LTE» (ингл. *LTE Active*) ҳолатлари.

Бунда «Уланмаган LTE», одатда, ўткинчи ҳолат бўлиб, у АУ ни энди ёқилиб тармоқни қидириш ва унга уланиш жараёнида бўлишига тўғри келади. «Актив LTE» ҳолатида АУ тармоққа уланган ва RRC даражасида eNB тугунида рўйхатдан ўтган бўлади. Бу ҳолатда АУ қайси сотага боғлангани маълум бўлиб, у билан маълумот айрибошлаш мумкин бўлади. «Ноактив LTE» АУ қувватини тежаш ҳолатига мос бўлиб, бу ҳолатда АУ маълумот пакетларини узатмайди ҳам, қабул ҳам қилмайди. Бу ҳолатда АУга тегишли контекстлар eNB тугунида сақлаб қолинмайди, чунки АУ нинг территориал жойлашуви фақатгина MME модулига маълум, у ҳам бўлса бир неча eNB тугунидан иборат бўлган «кузатув зонасида» – TA (ингл. *Tracking Area*). MME модулига АУ ни охириги марта уланган TA зонаси маълум бўлади ва АУ нинг жойлашувини аниқлаш учун қисқа хабар – пэйджинг юборилади.

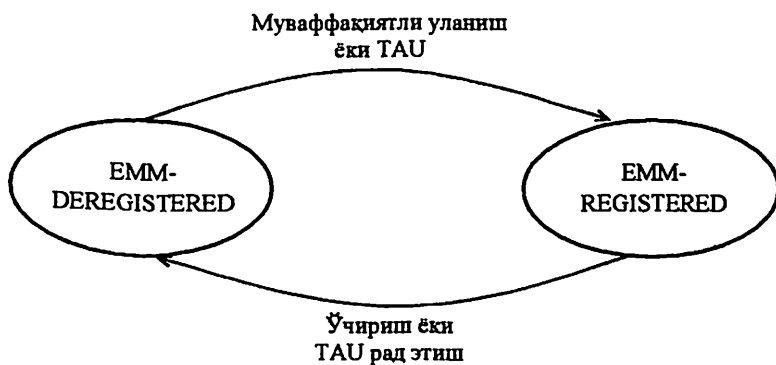


3.11-расм. LTE тизимида АУ нинг мобиллик ҳолатлари

Батафсилроқ равишда АУ ларининг мобиллик ҳолатини MME модулида сақланувчи ахборотга қараб икки даражага ажратиш мумкин:

- EPS нимтизимида мобилликни бошқариш ҳолати – EMM (ингл. *EPS Mobility Management*);
- EPS нимтизимида уланишларни бошқариш ҳолати - ECM (ингл. *EPS Connection Management*).

EMM ҳолатида АУ «Рўйхатдан ўтмаган EMM» (ингл. *EMM-DEREGISTERED*) ва «Рўйхатдан ўтган EMM» (ингл. *EMM-REGISTERED*) нимҳолатларига бўлинади. «Рўйхатдан ўтмаган EMM» ҳолатида MME модулида АУ нинг айна дамдаги жойлашуви бўйича ахборот бўлмайди, лекин унда АУ нинг ушбу ҳолатидалиги ҳақида контекст ахборот сақланади ва бу АУ нинг «рўйхатдан ўтган» ҳолатига ўтишида қайта аутентификациялашдан озод қилади. АУ нинг «рўйхатдан ўтган EMM» ҳолатига ўтиши ҳар сафар ёки АУнинг тармоқ билан уланишида, ё кузатув зонасини янгилаш - TAU (ингл. *Tracking Area Update*) жараёнида содир бўлади. Бу ҳолатда MME модули АУ нинг жойлашувини фақат кузатув зонаси - TA миқёсидагина билади, АУ эса бу ҳолатда TAU жараёнини амалга ошириши, пэйджингга жавоб қайтариши ва чикувчи маълумот бор бўлса канал ресурси ажратилиши талаб қилиши мумкин (3.12-расм).

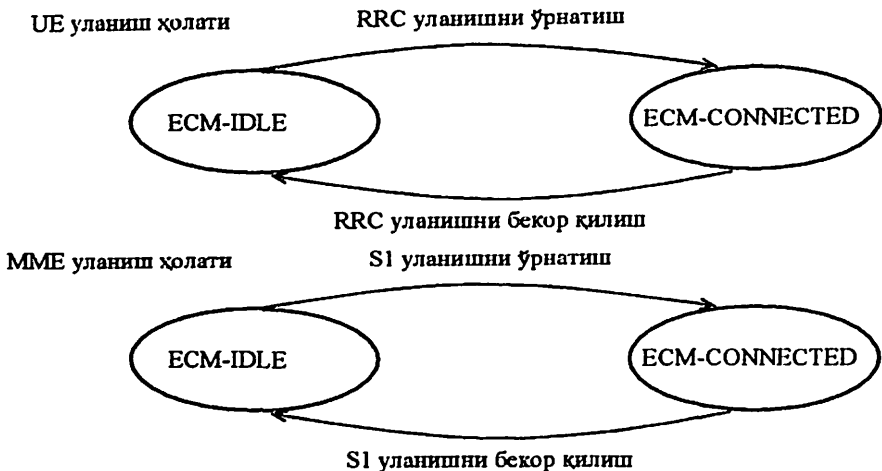


3.12-расм. EMM даражасида АУ нинг мобиллик ҳолатлари

ECM даражасида ҳам икки ҳолат ажратилади – «ноактив ECM» (ингл. *ECM-IDLE*) ва «уланган ECM» (ингл. *ECM-CONNECTED*).

«Ноактив ECM» ҳолатида АУ ва MME орасида NAS даражасида хизмат ахбороти билан алмашинмайди, ва АУ учун мўлжалланган контекст eNB тугунида сақланмайди. АУ нинг жойлашуви TA аниқлиги даражасида маълум, АУнинг жой ўзгартиришларини аниқлаш эса TAU жараёнлари ҳисобига амалга оширилади.

«Уланган ECM» ҳолатида АУ ва MME орасидаги хизмат ахбороти алмасуви RRC протоколи, eNB ва MME орасида эса S1 интерфейси орқали олиб борилади. АУнинг жойлашуви сота аниқлиги даражасида маълум ва АУнинг сота ўзгартиришлари «хэндовер» жараёнлари билан бирга ўтади (3.13 расм).



3.13-расм. ECM даражасида АУ нинг мобиллик ҳолатлари

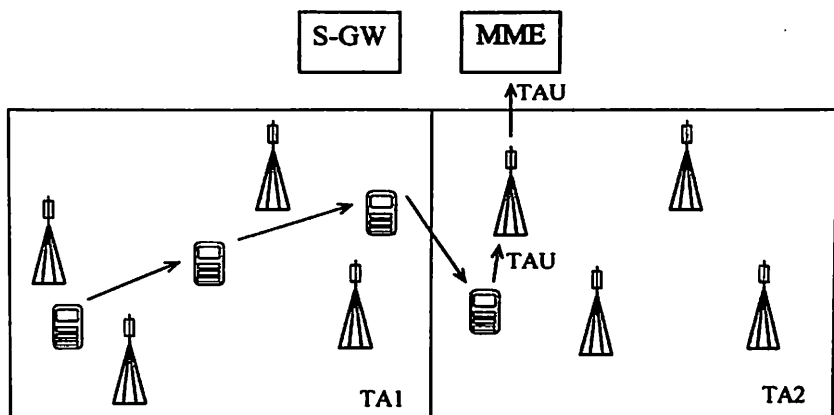
3.3.4.1. Ноактив ҳолатдаги мобиллик

«Ноактив LTE» ҳолатида АУ қувватни тежаш режимида бўлади ва тармоққа (ММЕ га) соталар аро харакити ҳақида хабар бермайди. Тармоқ АУ нинг жойлашувини бир ёки бир нечта ТА лар аниқлигида билади. ТАУ жараёни АУ нинг эски ТА (ёки ТА гуруҳлари) зонасига кирмаган янги сотани (ТА ни) зонасига ўтишида ишлаб кетади (3.14-расм).

Яна муҳим жойи шуки, ТАУ жараёни доимий даврий равишда АУ да ўрнатилган вақт интервали асосида бажаралиб туради.

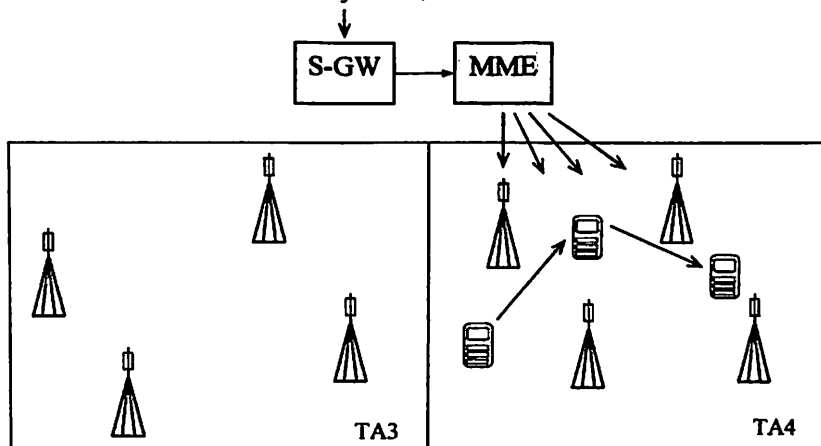
Айни бир АУ учун чақиров келганда, ушбу АУ охириги марта рўйхатдан ўтган ТА зонасидаги барча сайтларга активация пэйджинги юборилади. АУ нинг бир неча ТА лар орасида харакат қилганида қайта-қайта ТАУ жараёнини бажаравермаслик учун, LTE тизимида АУ нинг бир вақтнинг ўзида бир нечта ТА зоналарида рўйхатдан ўтиши кўзда тутилган.

3GPP доирасида шу масала билан боғлиқ LTE тизимларида «афзал кузатув зонаси» механизмини ишлатиш бўйича қизгин мунозаралар олиб борилган. Илгариги технологияларда (мисол учун GSM да), одатда, турғун кузатув зоналари ишлатилган. Лекин, ҳозирги кунда ТАУ трафигини соталар орасида бир текис тақсимлайдиган ва ҳар бир АУ нинг «мобиллик» хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда ТАУ жараёнига сарфланадиган умумий юклатишни камайтириш ҳисобига (яъни, «пинг-понг» эффекидан ҳалос қиладиган) янада мукамаллаштирилган услублар мавжуд.



“Ноактив LTE” ҳолатида АУ фақатгина бошқа ТА майдонига кирганда ТАУ жараёнини амалга оширади.

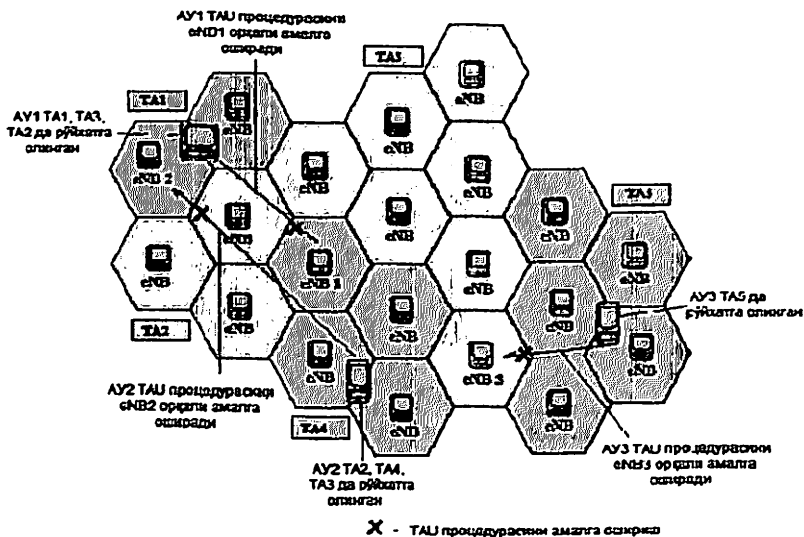
“Пастга” йўналишдаги пакет



S-GW шлюзига “пастга” йўналишда пакет келганида АУ сўнги марта рўйхатга олинган ТА майдонидаги барча eNB ларга MMB модули хабар - “пейджинг” жўнатади.

3.14-расм. «Ноактив LTE» ҳолатида ТАУ жараёни ва “пастга” йўналишда трафикни ўтказиш жараёни

Хусусан, 3GPP лойиҳасида стандартга қўшиш учун бир неча қуйидаги номзод механизмлар таклиф қилинган эди: бир бирини қопловчи ТА лар, кўп сонли ТА лар ва масофа асосидаги ТА лар схемалари. Натижада, 3GPP доирасидаги мулоҳазаларга асосланиб кўп сонли ТА лар схемаси қабул қилинди ва у ортиқчалик (рус. *дублирование*) га йўл қўймайди деб ҳисобланди. Бундай схемада АУ бир эмас бир нечта ТА лар егиндиси (ингл. *TA set*) да рўйхатдан ўтган бўлиши мумкин (3.15 расм).



3.15-расм. «Ноактив LTE» ҳолатида кўп сонли ТА лар схемасининг ишлаши

Шундай қилиб, бу схемада АУ ўз ҳаракатида рўйхатдан ўтган ТА лар гуруҳи зонасида бўлганида ТAU жараёни бажарилмайди. АУ ўз ТА лар гуруҳи чегарасидан чиқиши билан ТAU жараёни бошланади. Натижада ушбу АУ учун қайд қилинган ТА лар гуруҳи янгиланади ёки уни таркиби ўзгаради. ТА лар гуруҳининг шаклланиши ҳар бир АУ учун «персоналлаштирилган» асосда амалга оширилади ва бундай мослашувчанлик ТAU жараёнлари ҳисобига умумий тармоқ юкланишини анча камайтиришга имкон беради.

Шунингдек, 3GPP томонидан ТА механизмлари LTE тизимлари ва LTE гача бўлган технологиялар учун фарқ қилиши таъкидланган, яъни, LTE даги eNB ва UMTS даги NB тугунлари ТА зоналарининг турли схемаларига тегишли бўлади, ва бу турли радиоуланиш технологияли тармоқлари орасида АУ ни ҳаракатланишида унинг мобиллигини таъминлашни соддалаштиради. Бу эса ўта муҳим масала, чунки операторлар LTE тизимларига босқичма-босқич ўтишни кўзда тутишмоқда ва мавжуд бўлган 3GPP технологиялари - HSPA, UMTS, EDGE ва GPRS кабилар, яна бир қанча вақт эксплуатацияда бўлишлари кутилмоқда. Бу технологиялар орасидаги «хэндоверга» нисбатан 3GPP лойиҳаси АУ нинг турли технологиялар соталари орасида «ноактив LTE» ҳолатида бўлиб ҳаракатланишида ички тизим сигнализациясини камайтириш усулларини таклиф этди. Масала шунда эдики, АУ ўз ҳаракатланишида бошқа технология сотасига ўтганида ҳам ўзининг жорий ҳолатини (статусини) сақлаши керак эди. Мисол учун, LTE тармоғидаги «ноактив LTE» ҳолати UMTS/GPRS тармоғидаги «ноактив PMM» (ингл. *Packet Mobility*)

Management-idle) ҳолатига ўтиши керак. Ҳамда АУ нинг турли радиоулаиш технологиялари орасида ҳаракатланиши жараёнида ТAU жараёни (LTE тармоқларида) ёки UMTS/GPRS тармоқларидаги маршрут зоналарини янгилаш - RAU (ингл. *Routing Area Update*) жараёни бажарилмаслиги лозим. Бу талабларнинг барчасига мос келиш учун LTE тизимларида АУ ҳам ТА зонасига, ҳам RA зонасига боғланган бўлишлиги белгиланган. Шу йўсинда АУ ўзининг ТА ёки RA зоналарига мос соталар қамровида бўлганида (бу сота томонидан тармоққа зона идентификаторлари юборилиши асосида аниқланади) ТAU ёки RAU жараёнларида ҳожат бўлмайди. АУ га йўналтирилган янги трафик келиб тушганда, унга (АУ га) иккала технологияда ҳам пейджинг юборилади ва унинг жавоби қайси радиоулаиш технологияси асосида қайтишига қараб, трафик маълумотлари шу технологияда юборилади.

Таъкидлаб ўтиш лозимки, турли технологиялар асосидаги тармоқларда пейджингни бир вақтнинг ўзида юбориш механизми бошқа ишлаб чиқарувчилар томонидан стандартлаштирилган радиоулаиш технологияларида (3GPP-2 ва IEEE каби) ишламайди. Шунинг учун АУ мобиллигини таъминлаш мақсадида унинг LTE тармоқлари ва 3GPP оиласига мансуб бўлмаган технологиялар орасида ҳаракатланишида тизим радиоулаиш технологиясининг ўзгаргани ҳақида хабар олади.

«Ноактив LTE» ҳолатида ISR (ингл. *Idle-mode Signaling Reduction*) номини олган сигнализация трафигини қисқартириш механизми АУ га бир вақтнинг ўзида ҳам UTRAN/GERAN тармоқларининг RA зонасида, ҳам E-UTRAN тармоғининг ТА (ТА лар гуруҳи) зонасида рўйхатланган ўтишга имкон беради. Бу АУга E-UTRAN ва UTRAN/GERAN тармоқлари соталарида АУ RA ва ТА гуруҳлари кўламида бўлгунга қадар ТAU ёки RAU жараёнларини амалга оширмасдан қолишга имкон беради. Шу йўсинда ISR механизми АУ аккумуляторларининг зарядини сақлашда, ва мобиллигини бошқаришда ёрдам беради.

3.3.4.2. Актив ҳолатидаги мобиллик

LTE тизимида АУ нинг «актив LTE» ҳолатида уни икки сота орасида ҳаракатланишида «тескари (ёки башорат қилинган) хэндовер» жараёни амалга ошади. «хэндовернинг» бу турида «уй» сота АУ нинг статус маълумотларига асосланган ҳолда меҳмон сотани аниқлаб унга АУ учун канал ажратишини сўраб хабар беради. Бундай хабарни олган меҳмон сота керакли канал ресурсини ажратади ва шундан сўнг «уй» сота АУ га «хэндовер» жараёнини бошлашга буйруқ беради.

LTE тизимида RLC протоколининг таъсири eNB тугунигача бўлгани сабабли «пастга» йўналишдаги маълумотларни буферизация қилиш (хотирада сақлаш) eNB да амалга оширилади. Шунинг учун LTE тизимларида eNB тугунлари орасидаги «хэндовер» вақтида маълумотларни йўқолишига қарши механизмларнинг ишлатилиши UMTS тизимларидагига нисбатан каттароқ аҳамиятга эга (чунки UMTS да маълумотларнинг буферизацияси радиотармоқнинг марказий контроллери - RNC да амалга

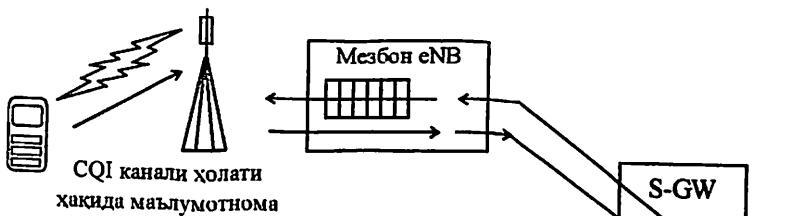
ошади, улар орасида эса «хэндовер» камроқ амалга оширилади). Шу сабаб «хэндовер» жараёнида маълумотлар йўқолишини минималлаш мақсадида LTE тармоқларида икки механизм таклиф қилинган: маълумотлар буферини қайта йўналтириш (рус. *переадресация*) ва маълумотларни икки марта юбориш (ингл. *bi-casting*) механизмлари.

Маълумотлар буферини қайта йўналтиришда, «хэндовер» ҳақида қарор қабул қилингандан сўнг «уй» eNB АУ учун мўлжалланган ва буферда сақланган барча маълумотларни меҳмон eNB га Х2 интерфейси ёрдамида жўнатади. Агарда eNB тутунлари орасида Х2 интерфейси ташқил қилинмаган бўлса, у холда АУ га барча маълумотлар ММЕ орқали S1 интерфейси ёрдамида йўналтирилади.

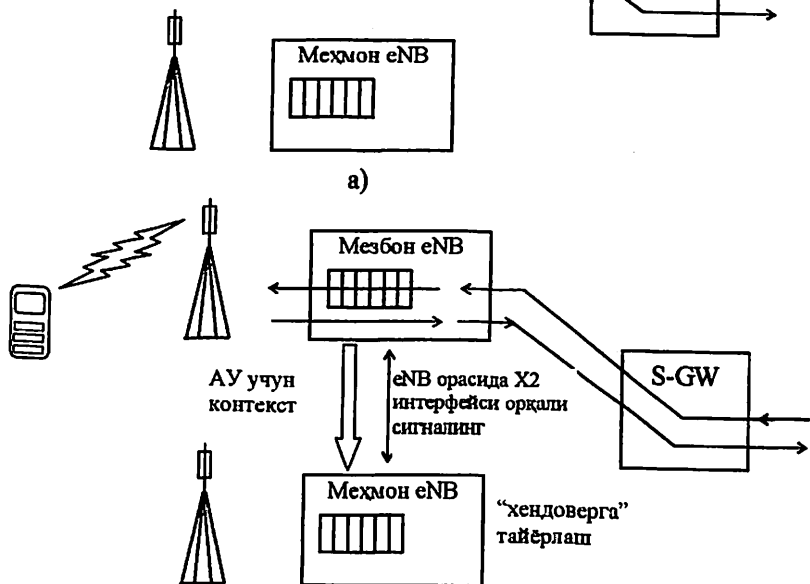
Икки марта юбориш механизмида S-GW шлюзи маълумотларни АУ нинг жойлашиш тасодифи энг юқори бўлган eNB лар гуруҳига («уй» eNB ни ҳам қўшган холда икки ёки кўпроқ eNB ларга) юборади. Айтиб ўтиш жоизки, маълумотларни икки марта юбориш механизми магистрал линияларни анча катта ўтказувчанлигини талаб қилади, лекин маълумотларнинг йўқолишидан тўлиқ қафолатламайди. Катта муаммо маълумотларни юбориш вақтини аниқлашдадир: агар юбориш вақтдан илгари амалга ошса, бу магистрал линияларда юкланишни ошишига, агар кечиктирилса - маълумотлар пакетини йўқолишига олиб келиши мумкин.

Шуларни ҳисобга олган ҳолда, 3GPP лойиҳаси LTE тармоқлари ичидаги «хэндовер» жараёнларида маълумотлар буферини қайта йўналтириш механизмини ишлатишга қарор қилди. Бунда «уй» eNB трафикнинг турига қараб уни қайта йўналтириш бўйича ўзи қарор қабул қилиши мумкин. Мисол учун, агар трафик реал вақт масштабида бўлмаса, қайта йўналтиришда маъно бор, акс ҳолда – бундан маъно йўқ (3.16 - расм).

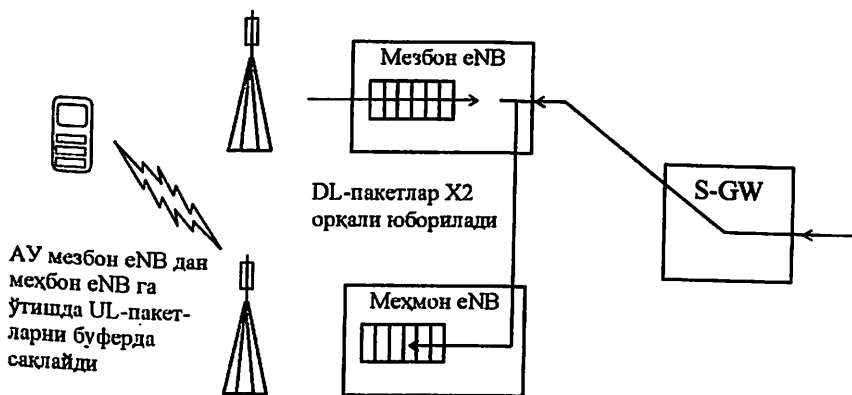
Шу билан бирга 3GPP лойиҳаси доирасида RLC контекстини тўлиқ ўтказиш керакми ёки ҳар бир «хэндовер» жараёнидан сўнг уни янгилаш керакми, деган мунозаралар ўтган. Кўпчиликни фикрича, «хэндовер» пайтида RLC контексти янгиланиши керак, чунки контекстни ўтказиш ўзига яраша қийинчиликлар билан боғлиқ. Лекин RLC контексти янгиланганида АУга тўлиқ узатилмаган хизмат маълумотлар блоклари - SDU (инг. *Service Data Units*) қайта юборилиши керак бўлади, бу эса радиоинтерфейс ресурсларини самарасиз ишлатилишига олиб келади. Шунингдек, RLC контексти ҳар бир «хэндовер»да янгиланиши билан боғлиқ бошқа бир муаммо ҳам вужудга келади: меҳмон eNB га буфернинг биринчи тасдиқланмаган SDU блокдан бошлаб барча маълумотлари узатилиши керакми, ёки фақат тасдиқланмаган SDU блокларни ўзлари холосми.



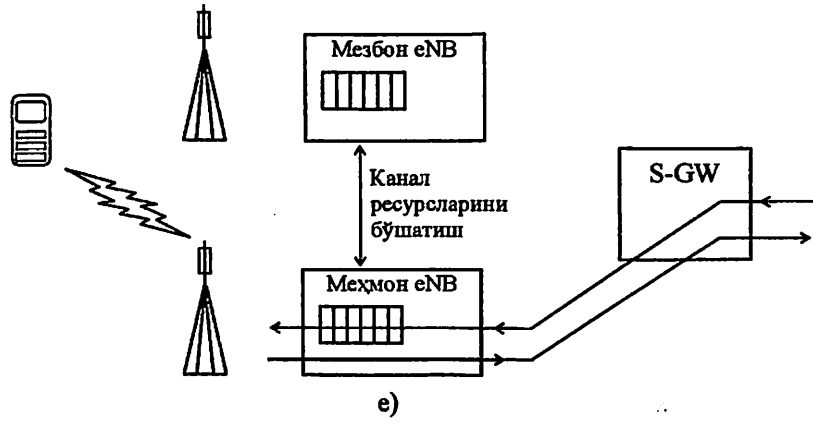
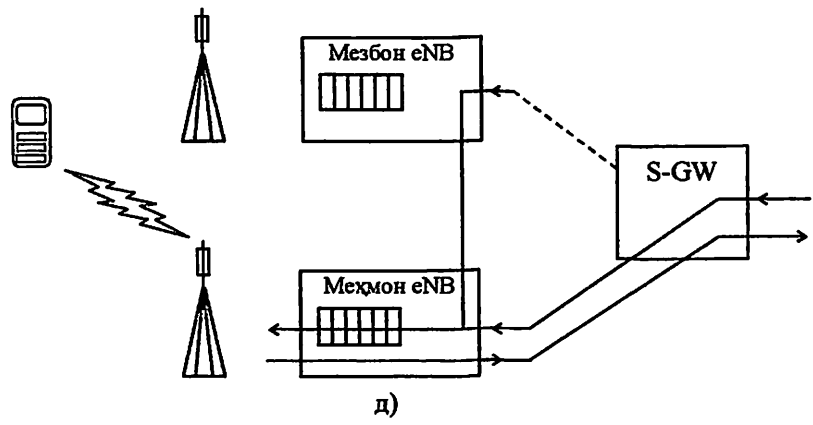
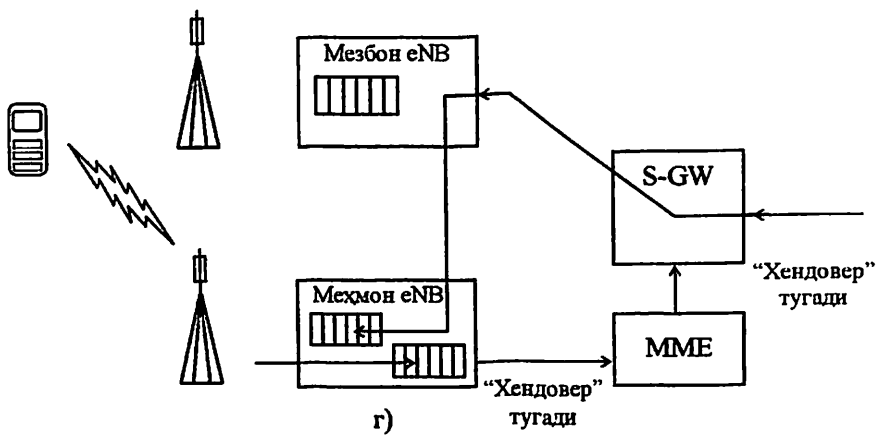
а)



б)



в)



3.16-расм. LTE тармоғида «хендовер» жараёни

3GPP лойихаси «хэндовер» пайтида фақатгина тасдиқланмаган “пастга” йўналтирилган SDU блоклари меҳмон eNB га узатилишини қарор қилди. АУ да пакетларни тартибга келтириш ва уларни юқорироқ даражаларга узатилишида тартибни сақлаш учун PDCP протоколидаги пакетларнинг тартиб нумерацияси меҳмон eNB да ҳам давом этиши белгиланган. АУ га йўналтирилган буфер ва контекст маълумотлар eNB тугунлари орасида бевосита янги X2 интерфейси орқали S-GW шлюзининг иштирокисиз ўтказилади.

Яна бир муҳокама этилган савол - «хэндовер» вақтида АУ контекстини узатишда сарлавхаларни мустахкам сиқиш жараёни – RoHC ни ишлатиш билан боғлиқ бўлди. Маълумот узатиш тезлигини ошириш нуқтаи назаридан RoHC ютуқ беради, лекин бунда инфратузилма мураккаблашади ва тармоқнинг нархи ошади, чунки LTE тизимларида бу жараён eNB даражасида амалга ошгани сабабли RoHC нинг янгиланиш тез-тезлиги кўпроқ бўлади ва бу UMTS тармоқларида RNC даражасида тугайдиган PDCP протоколида амалга ошадиган RoHC жараёнидан фарқланади. Бу масалада якуний қарор қабул қилмниши керак.

LTE тармоқлари ва 3GPP бошқа тармоқлари орасидаги «хэндовер» учун SGSN тугуни ва S-GW шлюзи орасидаги абонент сатҳида интерфейс ташкиллаштириш қарор қилинган. Бундай интерфейс сифатида GPRS тармоқларини абонент сатҳида ишлатиладиган тунеллаштириш протоколи (GTP-U) танланган. Гарчи «хэндовер» нинг бундай тури бевосита LTE тармоқларини ичидадагидан кўра камроқ амалга ошсада, 3GPP лойихаси бу турдаги «хэндовер» да пакетларни йўқолишини камайтириш усулларини белгилаб берди ва қарорни ёки бевосита eNB дан RNC гача, ёки S-GW ва SGSN тугунлари воситасида ишлайдиган буфер юбориш схемаси фойдасига қабул қилди.

LTE тармоқлари ва бошқа «но-3GPP» тармоқлар орасидаги «хэндовер» учун турли коммутация протоколлари ишлатилади. Шундай қилиб, S2a интерфейси орқали ҳам тармоқ муҳити протоколи - NBM (ингл. *Network Based Mobility*) ишлатилади, ҳам хост-машиналарга боғлиқ протоколнинг абонент режими - НВМ (ингл. *Host Based Mobility*) ҳам ишлатилади. Биринчи гуруҳга, масалан, PMIPv6 протоколи (ингл. *Proxy Mobile IP version 6*) кирса, иккинчисига MIPv4 FA (ингл. *Mobile IP version 4 Foreign Agent*) протоколи киради. S2b интерфейси орқали фақат PMIPv6 протоколи ишлатилади, S2c интерфейсида ишлаш учун эса афзаллик DS-MIPv6 (ингл. *Dual-Stack Mobile IP version 6*) протокоliga берилган. 3GPP ва «но-3GPP» тармоқлар орасидаги «хэндовер» нинг мобиллик схемаси АУ нинг «хэндовер» пайтида кириб қоладиган меҳмон тармоғида АУ «хэндовер» га киргунга қадар у учун ажратилган ресурслар бўлиши (яъни «башорат қилинган хэндовер» режими амалга ошиши) кўзда тутилмаган. Лекин узлуксиз мобилликни ташкиллаштириш бўйича меҳмон тармоқларда ресурслар ажратиш бўйича таклифлар кўриб чиқилган эди.

3.3.5. LTE тармоқларида «роуминг» хизматини ташкил этиш

3.3.5.1. “Роуминг” хизматларига таъриф

Википедияда ““Роуминг” (ингл. *Roaming, Roam* – айланиб юрмоқ, шаҳар кезмоқ, кўчиб юрмоқ) – бу хизмат кўрсатиш доирасидан ташқарида “уй” тармоқларига “меҳмон” тармоғи ресурсларидан фойдаланган ҳолда абонентларга мобил алоқа хизматларини кўрсатиш” деб тариф берилган.

Техник нуқтаи назардан, «роуминг» деб мобил абонент бошқа коммутаторга рўйхатга олинган таянч станция хизмат доирасига ўтиши (ҳатто бир тармоқ ичида бўлса ҳам) ҳисобланади (масалан, Wi-Fi тармоқларида шундай тушинилади). Лекин, кўпинча, «роуминг» деганда бошқа оператор тармоғига ўтиш тушунилади. «Роуминг» хизматини кўрсатиш операторлар ўртасида олдиндан ўзаро имзоланган шартномага асосан амалга оширилади. Бунда абонент билан қабул қилувчи оператор ўртасида шартнома тузилиши талаб этилмайди, ва кўрсатилган хизмат учун абонентнинг маҳаллий оператор тармоғидаги ҳисобидан маблағ олинади. «Роуминг» жараёнида, қоидага асосан, абонентнинг телефон рақами сақланиб қолади.

GSM операторларининг халқаро ассоциациясининг (ингл. *GSMA*) сайтида абонент “уй” тармоғи географик қамров ҳудудидан ташқарида “меҳмон” мобил алоқа тармоғидан фойдаланган ҳолда автомат тарзда қандай «роуминг» амалга оширилиши ва овоз кўнғирокларини қандай қабул қилиши, маълумотларни узатиш ва қабул қилиш ёки бошқа хизматларга қандай уланиши ҳақида батафсил ёритилган.

Шундай қилиб, мобил алоқа тармоғида «роуминг» абонент қурилмасининг мобиллигини таъминлаш ҳамда қўшимча тарзда, узлуксиз мобилликни (“хэндовер”) таъминлаш имконини беради.

«Роуминг» хизматининг бир неча хиллари (автоматик ёки “қўл бола”) ҳамда турлари (тармоқ ичидаги, тармоқлараро, халқаро ва стандартлараро) мавжуд.

“Қўл бола роуминг” сотали алоқа тармоқларининг олдинги авлодларида, шунингдек, пейжинг тармоқларида қўлланилган. “Меҳмон” тармоқларда вақтинчалик хизмат кўрсатиш учун олдиндан «роуминг»га абонентдан ариза билан мурожаат қилиш талаб этилган, ҳамда уни керак бўлган муддатга “қўл бола” равишда рўйхатга олиниб, амалга оширилган.

“Автоматик роуминг” да абонентга “меҳмон” тармоқда хизмат кўрсатилиши юзасидан ариза билан мурожаат қилиш талаб этилмайди, рўйхатга олиш учун зарур бўлган барча жараёнлар автоматик тарзда амалга оширилади, ҳатто абонентга ушбу жараёнлар сезилмайдихам. «Роуминг»ни бундай хили бугунги кунда асосий ҳисобланади.

“Тармоқ ичидаги роуминг” (шунингдек, ҳудудий (регионал) «роуминг») абонентга бир оператор тармоғининг қамров ҳудуди доирасида бир ҳудуддан бошқасига ўтиб юриш имконини беради (оператор турли ҳудудлар учун турли тарифларни таклиф қилган ҳолларда). «Роуминг»ни

бундай тури бугунги кунда фақат кенг ҳудудга эга мамлакатларда ишлатилмоқда (АҚШ, Россия, Хитой ва бошқалар).

“Тармоқлараро роуминг” (шунингдек, миллий «роуминг») бир мамлакат ичида бошқа мобил алоқа оператори тармоғи хизматидан фойдаланиш имконини беради.

Одатда бундай «роуминг», қачонки янги компания мобил алоқа хизматларини кўрсатиш учун лицензия олиб, хали ўзининг кенг қамровли тармоғига эга бўлмаган даврида бошқа операторлар билан «роуминг» бўйича ўзаро шартнома асосида амалга оширилади.

“Халқаро роуминг” чет эл мобил алоқа тармоқлари хизматларидан фойдаланиш имконини беради. «Роуминг»ни бу тури GSM стандартида жуда ривож топган бўлиб, ундан 80 фоиз халқаро мобил алоқа операторлари фойдаланади. Абонентнинг мобил телефони бошқа мамлакатда ишлай олиши учун, у ёки халқаро тармоқ билан бир частотада ишлаши керак, ёки ушбу мамлакатда ишлатиладиган барча частоталарда ишлашни қўллаб қувватлаши керак (шунингдек, кўп диапазонли бўлиши керак).

“Стандартлараро роуминг” турли стандартларда ишловчи тармоқлар орасида бемалол кўчиб юриш имконини беради. Мобил алоқа технологиялари турли қитъаларда бир-бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда ривожланганлиги сабабли, бу каби «роуминг»ни амалга оширишда анча қийинчиликлар мавжуд. Шундай бўлсада мобил абонент, ҳатто ўзи ишлаётган стандартида тармоқ бўлмаган мамлакатларда ҳам, бошқа стандарт тармоғидан фойдалана олиши мумкин. Мисол учун, GSM абоненти CDMA тармоғи хизматларидан ёки сунъий йўлдош алоқаси (масалан, Thugaуа) хизматларидан фойдаланиши мумкин. Бунинг учун унга турли стандартларда ишлай оладиган (кўп-режимли) аппарат керак бўлади, ёки у маҳаллий стандартда ишлайдиган телефонга ўз SIM-картасини ўрнатиб ишлайди.

3.3.5.2. *LTE тармоқларида «роуминг» асослари*

LTE тармоқларида «роуминг»ни ташкил этишнинг асосий омиллари шундан иборатки, ушбу тармоқлар 3GPP нинг илгари ишлаб чиқарилган бошқа барча технологиялари (яъни, GSM, UMTS ва LTE) билан, шунингдек бошқа стандарт алоқа тармоқлари (масалан, 3GPP-2) ва кенг полосали симсиз уланиш тармоқлари (WiMAX и Wi-Fi) билан «роуминг»ни таъминлаши зарур.

«Роуминг» билан боғлиқ масалаларни ўрганиб чиқишда икки аспектга эътибор берилади: тижорат ҳамда технологик. Бугунги кунда ишлаб турган LTE тармоқлари сони камлиги туфайли тижорат нуқтаи назардан «роуминг» хизмати бўйича амалий тажриба оз бўлиб, бу ҳақда сўз юритиш бироз эрта.

Технологик нуқтаи назардан эса «роуминг»ни стандартлаштириш; уни ташкил қилиш учун фойдаланиладиган интерфейслар тузилмаси; 3GPP ҳамда «но-3GPP» (яъни, 3GPP станадартларига қарашли бўлмаган)

тармоқларда «роуминг»нинг асослари каби масалалар кўриб чиқилади. Ҳусусан, LTE тармоқларида «роуминг»ни ташкил этиш технологик тарафдан қуйидаги жараёнларни ўз ичига олади:

- LTE тармоқлари бўйича 3GPP техник спецификация талабларига асосан радиоулашиш тармоқлари даражасида тармоқлараро ҳамкорликни таъминлаш;

- маҳаллий тармоқнинг радиоқамров ҳудудидан ташқарида LTE тармоқлари қўллаб-қувватлайдиган частота диапазонларини “сканинг” қилиш (излаш), соталарни танлаш, “меҳмон” тармоғида аутентификация ҳамда авторизация жараёнларини бажариш;

- “меҳмон” тармоғида аутентификация амалга оширилганидан сўнг абонент ускунаси учун IP-манзил ажратиш ҳамда “маҳаллий” ва/ёки “меҳмон” тармоқлари хизматларига уланишни таъминлаш;

- «роуминг» шароитида сигнализация трафигини маршрутлаш ҳамда тармоқлараро “биллинг” ни таъминлаш.

LTE тармоқларида «роуминг»ни техник аспектида 3GPP нинг бир нечта спецификацияси асосида тартибга солинади. Уларнинг асосийси 23-серия (TS 23.401 ва TS 23.402), деб номланган, спецификациялар туркумига бирлашган.

TS 23.401 ҳамда TS 23.402 спецификацияларида мос равишда 3GPP ҳамда “но-3GPP” уланиш тармоқлари билан «роуминг»ни амалга ошириш масалалари келтирилган. TS 23.003 спецификациясида овоз хизматларида мобил «роуминг» рақами шакллантирилиши, мобил ёки кенг полосали симсиз уланиш IP-тармоқлари учун идентификаторлар аниқланиши бўйича маълумот келтирилган. TS 36.410 ҳамда TS 29.215 спецификациялари TS 23.401 ва TS 23.402 лар билан биргаликда «роуминг» жараёнида LTE тармоғи интерфейсларининг вазифаларини аниқлайди.

Юқорида айтиб ўтилганидек, LTE тармоқлари “узлуксиз” мобиллик концепциясига асосланади, яъни бугунги кунда мавжуд бўлган барча мобил кенг полосали алоқа тармоқлари билан “хэндовер” ва «роуминг» жараёнларини қўллаб-қувватлайди. Шунинг учун технологияда қуйидаги IP-тармоқларда мобилликни бошқариш протоколларини ишлатиш кўзда тутилган: хост асосида қурилган мобил IP-протоколлар (MIPv4, MIPv6 версиялари), шунингдек тармоқлар асосида қурилган протоколлар - PMIPv6 (мобил прокси-протоколлар). Хост асосидаги мобилликни бошқариш протоколлари - NBM бевосита АУ да ишлайди. Тармоқ асосидаги протоколлар - NBM эса мобилликни бошқариш вазифаларидан АУ ни имкон қадар озод қилишга йўналтирилган.

MIPv4 протоколи IPv4 протоколининг мобилликни таъминлашга қаратилган такомиллаштирилган тури ҳисобланади. Унга кўра АУ уланиш тармоғидан қатъий назар ҳар доим ўзининг «уй» IP-манзили бўйича идентификация қилинади, гарчи “меҳмон” тармоғида у бошқа IP-манзил олса ҳам (мазкур номли «care-of»-манзил). IP-манзилларни белгилаш динамик конфигурация протоколи - DHCP (англ. *Dynamic Host Configuration Protocol*) томонидан бажарилади. MIPv4 протоколининг иши

HA - “уй” тармоқлари агенти, FA - “меҳмон” тармоқлари агенти ҳамда CN (ингл. *Correspondent Node*) - корреспондент тугуни каби тармоқ элементларининг ўзаро ҳамкорлиги ёрдамида ташкил этилган.

HA-агент FA-агент ёрдамида “меҳмон” тармоқда рўйхатга олинган АУ нинг IP-манзили (“care-of”- манзили) ҳақидаги маълумотга эга. IP-сессияни аниқлаб, HA-агент АУ учун белгиланган маълумотларни махсус IP-туннелдан фойдаланган ҳолда унинг янги “care-of”-манзилига жўнатади.

“Care-of”-манзил АУ га руйхатдан ўтиш жараёнида ажратилади ва икки турда бўлиши мумкин, яъни: “foreign agent care-of address” (FACoA) - “меҳмон” агентининг “care-of”-манзили ҳамда “co-located care-of address” (CLCoA) – бирга жойлашган “care-of”-манзил.

FACoA типидagi манзил IP-туннелларнинг охириги нуқталаридан бири бўлган FA-агентнинг IP-манзили деб ҳисобланади (IP-туннелнинг бошқа охириги нуқтаси эса HA-агентдир). FA-агент туннелдан маълумотларни олгач, пакетларни декапсуляция (ажратиб чиқариш) қилиб, АУ га узатади.

CLCoA типидagi манзил IP-туннелнинг охириги нуқтаси бўлган бевосита АУ нинг IP-манзили ҳисобланади. Бундай ҳолатда АУ мустақил равишда IP-туннел маълумотларини декапсуляция қила олади.

FA ҳамда HA агентларининг ўзаро ҳамкорлиги АУ ни рўйхатга олиш жараёнида “Agent Advertisement” хизмат хабари ёрдамида амалга оширилади. Бундан ташқари аутентификация жараёнида MAC-манзил асосида ARP (ингл. *Address Resolution Protocol*) манзилни аниқловчи протокол ишлатилиши ҳам мумкин. ARP-протоколи терминални MAC-манзилини унинг IP-манзили бўйича аниқлаш учун мўлжалланган канал сатхи протоколи ҳисобланади.

Абонент ускунасининг FA-агент билан ўзаро ҳамкорлиги “Agent Solicitation” хизмат хабари ёрдамида амалга оширилади. Ушбу хабар асосида АУ ўзининг жойлашган манзилини аниқлайди (“уй” ёки “меҳмон” тармоқда), ва FA ўрнатилиши бўйича исталган ўзгаришлар бўйича ахборот олади. АУ “меҳмон” тармоғидан ўз “уй” тармоғига қайтганида, “Registration Request” ҳамда “Registration Reply” жуфтлик хизмат хабарлари ёрдамида HA агентидagi ўзининг ташқи рўйхатдан ўтганлиги тўғрисидаги маълумотларини бекор қилади.

АУ “меҳмон” тармоқда рўйхатдан ўтган пайтида, CN-корреспондент тугунидан абонент ускунаси учун мўлжалланган маълумотлар пакети HA агенти ёрдамида “меҳмон” тармоққа йўналтирилади. Йўналтириш ёки аввал FA агентига кейин АУ га ёки “Care-of”-манзил турига боғлиқ ҳолда бевосита тўғридан-тўғри АУ га ўтказиш йўли билан амалга оширилади. АУ дан CN - корреспондент тугунига маълумотлар пакетини узатиш FA агенти орқали ёки тўғридан-тўғри амалга оширилади.

MIPv4 протоколи камчилиги - унинг тармоқ ресурсларидан самарасиз фойдаланиши эди. Ушбу камчиликни бартараф этиш учун MIPv6 протоколида функционали кенгайтирилган IPv6 протоколи ташкил қилинган. Тармоқ ресурсларидан самарали фойдаланиш оптимал

маршрутизация - RO (ингл. *Route Optimization*) механизмни жорий қилиш ҳисобига амалга ошади. Оптимал маршрутизация жараёнида маълумотлар пакети CN корреспондент тугунидан бевосита АУ га жўнатилади. АУ нинг IP-манзили алмашгани тўғрисида CN тугунини огоҳ қилиш учун махсус бошқарувчи хабар ишлатилади.

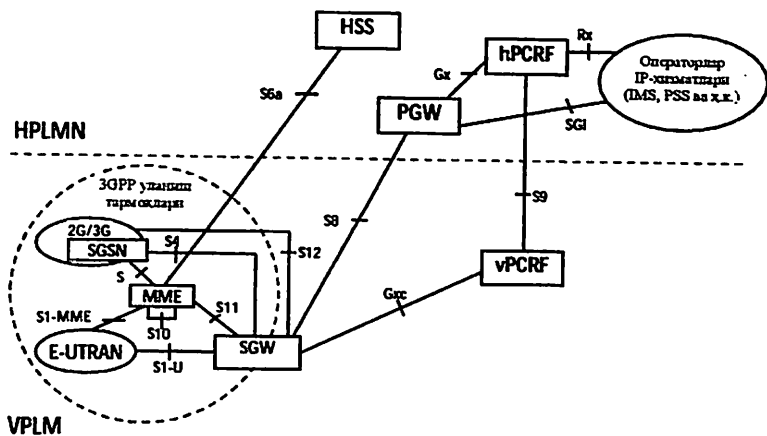
MIPv6 ни жорий қилиш кетма-кетлиги шундай ҳолатга олиб келадики, тармоқ қурилмасининг бир қисми MIPv4 манзилларидан, бошқаси эса, MIPv6 манзилларидан фойдаланади. Бундай ҳолатда мобилликни бошқариш учун ҳам MIPv4, ҳам MIPv6 протоколидан фойдаланган ҳолда туннел ҳосил қилувчи DSMIPv6 – иккиланган (дуал) протоколи ишлатилади.

PMIPv6 тармоғи негиздаги мобилликни бошқариш протоколи ўзининг функционаллиги бўйича кўпроқ MIPv6 га ўхшайди. Ушбу протоколларнинг асосий фарқи шундаки PMIPv6 протоколи, асосан, тармоқ сегментида ташкил этилган. Ушбу протоколнинг асосий ютуғи АУ ни мобилликни бошқариш вазифасидан анча озод қилганидир, ва шуни ҳисобига уланиш тармоғи ҳамда абонент ускунасининг ресурслари иқтисод қилинганидир. Бу каби ютуқлар радиоуланиш тармоқлари учун ниҳоятда долзарб ҳисобланади. 3GPP нинг TS 23.402 8 Релиз спецификациясига кўра PMIPv6 LTE тармоқларида нафақат “но-3GPP” тармоқлари билан, балки 3GPP тармоқлари билан ҳам уланишда GTP протоколига альтернатива сифатида мобилликни бошқарувчи асосий протоколлардан бири деб ҳисобланади.

Шундай қилиб, LTE тармоқлари бошқа стандарт тармоқлари билан ўзаро ҳамкорлиги жараёнида турли хил мобилликни бошқариш протоколларидан фойдаланиши мумкин. Айни бир протоколни танлаш АУ ҳамда уланиш тармоғига, аниқроғи, улар қўллаб-қувватлайдиган протоколларга боғлиқ. Бундай танлов механизми IPMS (ингл. *IP-Mobility Management Selection*) тармоқ жараёни кўринишида ташкил этилган.

IPMS жараёни фақатгина АУ “но-3GPP” уланиш тармоғида рўйхатдан ўтганида, ёки АУ “но-3GPP” уланиш тармоғига “хэндовер” бажарганида амалга ошади. АУ 3GPP уланиш тармоғи воситасида ЕРС таянч тармоғига уланганида IPMS жараёни ишлатилмайди.

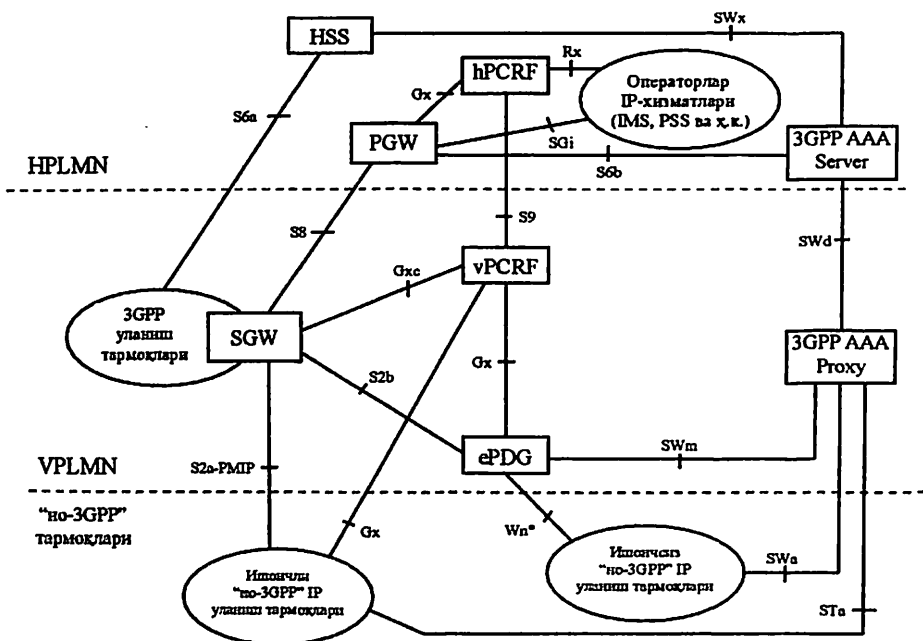
«Роуминг»ни қўллаб-қувватловчи бир нечта таянч интерфейслар мавжуд. S1 интерфейси eNB - таянч станциянинг бошқарув сатҳида MME (S1-MME) – мантиқий тугуни билан, абонент сатҳида эса, S-GW (S1-U) шлюзи билан ўзаро ҳамкорлигини таъминлайди. S8 интерфейси “меҳмон” тармоғидан “уй” тармоғи йўналишида S-GW ҳамда P-GW шлюзларининг ўзаро ҳамкорлигини таъминлайди ва “уй” тармоғининг трафигини маршрутизациясини амалга оширади. S9 интерфейси QoS ни бошқариш учун “меҳмон” тармоғидан “уй” тармоғи йўналишида уланиш сиёсати ва тарификацияни бошқарувчи PCRF - мантиқий модуллар орасида ўзаро алоқани таъминлайди (3.17-расм).



3.17-расм. «Роуминг» жараёнида LTE тармоқларининг 3GPP тармоқлари билан PMIPv6 протоколи асосида ўзаро ҳамкорлиги

“Но-3GPP” тармоқлар билан «роуминг»ни амалга оширишнинг асослари шундан иборатки, бундай тармоқлар ишончли (яъни хавфсизликни таъминлаш чоралари кўрилган) ҳамда ишончсиз тармоқларга бўлинади. Ишончсиз тармоқларни ишончли тармоқ тоифасига ўтказиш учун махсус хавфсизлик протоколларидан фойдаланилади ва мос равишда “меҳмон” тармоғидан “уй” тармоғи йўналишида трафикни ўтказиш учун туннеллар ҳосил қилинади. AAA-серверлари орасида ўзаро алоқани ташкил қилишда Diameter протоколдан фойдаланилади. (3.18-расм).

Бугунги кунда мавжуд LTE тармоқларида «роуминг» хизматидан хали етарлича фаол фойдаланилмаяпти. Бунинг асосий сабаблари - турли мамлакатларда турлича частота диапазоналаридан фойдаланилаётганлиги ҳамда кўп режимли ва кўп частотали абонент қурилмаларининг етишмаслигидир [28]. Лекин, шунга қарамасдан, LTE тармоқлари орасида «роуминг»ни таъминлаш бўйича кўплаб ишлар амалга оширилмоқда. Мисол учун, Ericsson ҳамда Qualcomm компаниялари SRVCC (ингл. *Standardized Single Radio Voice Call Continuity*) хизмати ёрдамида абонентнинг LTE тармоғидан WCDMA ёки GSM тармоқлари хизмат худудига ўтишда узлуксиз «роуминг»ни амалга ошириш имкониятини намойиш этишди. Ушбу технологиянинг афзаллиги шундаки, у нафақат маълумот узатишни, балки, овоз трафигини узатишни, SMS ҳамда мультимедиа хизматларини ҳам таъминлайди.



3.18-расм. «Роуминг» жараёнида LTE тармоқларининг «но-3GPP» тармоқлари билан PMIPv6 протоколи асосида ўзаро ҳамкорлиги

LTE тармоқларида «роуминг»ни жорий қилиш бўйича ишлар Ўзбекистонда ҳам жадал равишда олиб борилди. Масалан, 2010 йилда МТС компанияси (Россия) “МТС Ўзбекистон” ҳамда “ВиваСелл-МТС” (Арманистон) компаниялари орасида 2,6GGs диапазонида халқаро «роуминг»ни ташкил қилди. Синов жараёнида Samsung GT B3710 ҳамда Huawei E398 русумли модемлардан фойдаланилди. «Роуминг» хизматларини синовдан ўтказиш муваффақиятли амалга ошди ҳамда ўзаро «LTE-роуминг» ни қўллаб қувватлаш учун зарурий жараёнларни ташкил этиш мақсадида компаниялар ўзаро ҳамкорликни бошлашди [30].

3.3.6. LTE тармоқларида «биллинг» хизматини ташкил этиш

3.3.6.1. Телекоммуникация тармоқларида «биллинг» хизмати

Тўртинчи авлод кенг полосали мобил технологияларнинг ривожланиб бориши операторлар олдида mijozларга сифатли хизмат кўрсатиш ҳамда тармоқни самарали бошқаришни муҳим асосларидан бўлмиш «биллинг» хизматини ташкил этишда қатор мураккаб вазифаларни қўймоқда.

Мобил алоқа тармоқларида «биллинг» ни ташкил этишни ифодалаш учун замонавий мобил алоқа тармоқларининг умумий бошқарув тизимида

ушбу хизматнинг ўрни ва вазифалари тўғрисида айрим тушунчаларни бериб ўтиш лозим топилди.

«Биллинг» хизматини эксплуатацияни қўллаб-қувватлаш тизими (ингл. *Operations Support Systems, OSS*) ҳамда бизнесни қўллаб-қувватлаш тизими (ингл. *Business Support System, BSS*) таркибида кўриш одатга кирган. Ушбу тизимлар алоқа операторлари тармоқларида бошқарув ҳамда бизнес жараёнларини автоматлаштириш учун ишлатилади ва кўп ҳолларда биргаликда OSS/BSS деб номланади (баъзида, BOSS, BSS/OSS, B/OSS).

OSS нинг асосий функционал имкониятларига қуйидагилар киради: ҳисоб-китоб ҳамда телекоммуникация ресурсларини режалаштириш (мисол учун, рақам сифимларини, трафикни); хизматлар кўрсатилишини бошқариш (ингл. *Service delivery software*); QoS - хизмат кўрсатиш сифати даражасини ҳамда унинг кўрсаткичларини бошқариш кабилар киради. Шунингдек, OSS нинг функционал вазифаларига қуйидагилар ҳам киритилади: телекоммуникацион маълумотлар даражасида эҳтимол қаллобликларни назорат қилиш (ингл. *Fraud control software*); хизматларга бўлган талабни таъминлаш ҳамда уни башорат қилиш (ингл. *Service provisioning software*); шунингдек, операторнинг дастурий инфратузилмасини телекоммуникацион муҳит билан ўзаро боғлаш - «медиация тизими» деб аталади (ингл. *Mediation software*).

BSS нинг вазифаларига мобил алоқа операторининг бизнес-жараёнларини қўллаб-қувватловчи воситалари, юқорида таъкидлаб ўтилгандек - «биллинг» (абонентлар билан ўзаро ҳисоб-китобларни амалга ошириш, ҳисоб варақаларини яратиш, тўловларга ишлов бериш, тарификация), CRM (абонентлар ҳақидаги маълумотларни бошқариш, улар билан ўзаро ҳамкорликни қўллаб-қувватлаш, хизматларни сотиш, маркетинг таҳлилларини ўтказиш) ҳамда ERP-тизимлари (молиявий менежмент жараёнларини таъминлаш, бухгалтерия ҳисоби, персонални, лойиҳани ва асосий жамғармаларни бошқариш) киради.

Шундай қилиб, «биллинг» мобил алоқа тармоғининг бошқарув тизимида умумий OSS/BSS ларининг муҳим ташкил этувчиси ҳисобланади ва телекоммуникация хизматларидан фойдаланиш тўғрисидаги ахборотларни тўплаш, уларни тарификациялаш, абонентлар ҳисобларини яратиш, тўловларга ишлов бериш ва шу каби қатор вазифаларга масъул қарорлар қабул қилади ва комплекс жараёнларни амалга оширади. Амалда «биллинг» жараёнларини қўллаб-қувватлаш учун «биллинг тизими» деб номланувчи махсус амалий дастурий таъминот қўлланилади. Таъкидлаш жоизки, «биллинг тизимларини» яратиш юқори даромад келтирадиган бизнес²⁷ деб ҳисобланади.

Одатда «биллинг» хизмати уч асосий блокларга бўлинади: ҳисоб-китоб операциялари, ахборот хизматларини кўрсатиш ва иқтисодий хизматлар кўрсатиш.

²⁷ «Биллинг тизимларининг» жаҳон бозоридаги йиллик ҳажми 2007 йилда \$6 млрд. АҚШ доллари миқдориди баҳоланган ва унинг ўсиш ҳажми 2012 йилда \$7,2 млрд. АҚШ долларини ташкил этган [30].

Кенгроқ миқёсда, «биллинг» хизмати даромадларни бошқариш хизмати (ингл. *Billing and revenue management*) билан биргаликда кўрилганда кўшимча қуйидаги вазифаларга ҳам масъул: даромад олишни кафолатлаш (ингл. *Revenue assurance*), абонент фойдалилигини бошқариш (ингл. *Profitability management*) ҳамда тармоқда қаллобликни назорат қилиш (ингл. *Fraud management*).

Ҳисоб-китоб операциялари

Ҳисоб-китоб операциялари блокади: истеъмолни аниқлаш (мисол учун, коммутатордан кўнғироқлар ҳақидаги батафсил маълумотларни олиш, коммутацион қурилмадан сарф қилинган трафик тўғрисида маълумотларни олиш ва уларга ишлов бериш, медиация тизимидан маълумотлар олиш); истеъмолни баҳолаш (истеъмол ҳақидаги маълумотларнинг ҳисоб-китоб кўрсаткичларини аниқлаш); баҳоларни бирлаштириш (агрегация) ва абонентларга ишлатилган хизматлари учун ҳисоб ёзишни ташкил қилиш, солиқлар, чегирмалар ва кўшимчаларни ҳисоблаш, хатоларни тўғрилаш, тўлов учун ҳисоб варақалар яратиш, тўлов ҳисоб-китобларини абонентларга етказиш ёки маълум қилишни таъминлаш, абонентларнинг шахсий ҳисоб рақамларини бошқариш ва шу каби бошқа қатор функциялар амалга оширилади.

Ҳисоб-китоб операциялари блоки телекоммуникация хизматларини турига ҳамда абонентлар билан ўзаро муносабатлар моделига қараб турлича ташкил этилиши мумкин. Хусусан, «олдиндан тўлаш» (ингл. *Prepaid*) ёки «факт асосида тўлаш» (ингл. *Postpaid*) моделлари ажратилади.

Олдиндан тўлаш (Prepaid) – абонентлар билан ҳисоб-китобни амалга ошириш модели бўлиб, алоқа хизмати оператори абонент ҳисоб рақамига олдиндан тўловни амалга оширишни кўзда тутати. Бу каби тизимларда ҳисоб-китоб реал вақт асосида амалга оширилади. Бунда абонентга оператор томонидан ўрнатилган энг кам миқдор мавжуд бўлиб, абонент ҳисобида қолган пул унғача камайса, хизмат кўрсатиш режими ўзгариши (ёки тўлиқ тўхтатилиши) мумкин. Абонент ҳисобидаги маблағ миқдори, ижобий баланснинг давомийлиги, тушаятган тўловларнинг миқдори ва доимийлиги - оператор томонидан кўрсатиладиган хизматларнинг сифати, миқдори ва ҳисоби учун тарификация параметрлари бўлиб хизмат қилади. Олдиндан тўлаш модели «иссиғидаги биллинг» деб ҳам аталади.

Факт асосида тўлаш (Postpaid) – ҳисоб-китоб модели бўлиб, бунда оператор абонент билан тузилган шартномага мувофиқ олдин хизмат кўрсатади, сўнг тарификация қилади ва тўлов учун ҳисоб чиқаради. Тарификация ҳамда ҳисоблаш жараёни доимий-режали бўлиб, одатда шартномада келтирилган календар вақт оралиғида (кўпинча ойлик, камдан-кам ҳолларда ҳафталик, чораклик, йиллик) амалга оширилади. Абонент ҳисоб варақада кўрсатилган маблағни шартномада келтирилган вақт оралиғида тўлаши шарт. Тўлов ўз вақтида амалга оширилмаса, абонентга дебитор қарздорлиги учун шартномада келтирилган тартибда чоралар кўрилади.

Ахборот хизматларини кўрсатиш

Ахборот хизмати тарифлар, чеклашлар, эҳтимолий комбинациялар тўғрисидаги тезкор маълумотларни ҳисобга олган ҳолда абонентлар, маҳсулотлар ва хизматларни қўллаб қувватлаш функцияларини ўз ичига олади. Шунингдек, «биллинг» тизимининг тўлиқ конфигурацион маълумотлари, ҳисоб-китоблар жадвали, ҳисоблар чиқариш, абонентларни хабардор қилиш, аудитни ҳамда маълумотларнинг эскиришини созлаш, абонентларнинг белгиланган характеристикаларини бошқариш каби функциялар ҳам кирди.

Молиявий хизмат кўрсатиш

Молиявий хизмат кўрсатиш тўловларга ишлов бериш, уларни ҳисобланган миқдорини кўрсатилган хизматлар миқдори билан солиштириш («квитовка»), абонентларнинг дебитор қарзларини назорат қилиш ва ундириш ҳамда солиқ солиш бўйича маълумотларни бошқариш каби функцияларни амалга оширади.

3.3.6.2. LTE тармоқларида «биллинг» ни таъминлаш этиши асослари

LTE тармоқларида овозли алоқа ва маълумотлар узатишда тарификация ҳамда абонентларга хизмат кўрсатиш сиёсатини бошқариш масалалари юқори аҳамият касб этади. Бу эса фойдаланилаётган мобил трафик ҳажмининг кескин ортиши ҳамда турли хилдаги кенг полосали хизматларнинг конвергенцияси билан боғлиқ. Интернетга ва бошқа ахборот ресурсларига исталган канал ёрдамида юқори тезликда ва сифатли уланиш имконияти абонентларнинг асосий талабларидан бири бўлиб қолмоқда. Бугунги кунда истемол қилинаётган трафик даражаси операторлар томонидан тезлик ҳамда трафик ҳажмига чекловлар киритиш ҳисобига бошқариб турилибди, лекин бу каби услублардан узоқ вақт фойдаланиб бўлмайди, ва бу мобил кенг полосали хизматларнинг умумий ривожланишига тўсқинлик қилади.

Турли хил алоқа хизматларининг конвергенцияси натижасида ҳозирги кунда операторларга универсал ҳисоблаш тизимлари янада долзарб бўлади. Бундай ҳисоблаш тизимлари алмашилган трафик асосида ҳисоб-китоб қилувчи анъанавий овоз ва маълумот узатиш хизматларини қўллаб-қувватлаши ҳамда янги, асли маълумот узатиш тармоқларида асосланган ва уларнинг узлуксиз қисми бўлган хизматларни қўллаб-қувватлаши лозим бўлади. Мультисервис (кўп сонли хизматлар) шароитида ва турли хил ҳисоблаш моделлари асосида абонентлар сўзлашувларини ҳамда трафикларини ҳисоблашга мўлжалланган ягона «биллинг» хизмати «конвергент биллинг»²⁸ номини олди. Оддий мисол – “Triple Play” хизматлари, яъни фойдаланувчиларга «бир пакетда» ҳам маълумот узатиш,

²⁸ «Конвергент биллинг» («конвергент биллинг тизими») абонентларга кўрсатилаётган хизматлар тўпламидан (турғун телефония хизмати, мобил алоқа, маълумотлар узатиш, телевидение, контент-хизматлар) ҳамда тўлов моделидан (prepaid, postpaid ёки бошқалар) ҳолис ҳолда ҳар бир абонент учун ягона ҳисоб рақами ва тўлов учун ягона ҳисоб варақасини таъминловчи кенг спектрда кўрсатиладиган хизматлар тўғрисидаги маълумотларга универсал равишда ишлов беради.

ҳам телефония, ҳам телевидение хизматларини кўрситиш. Мураккаброк мисоллар – бу «булутли хизматлар» (IaaS, SaaS), ўзаро жойлашуви узокроқ бўлган йирик корпоратив миқозлар учун VPN тармоқларини ташкил қилиш ва бошқалар.

Бу каби масалаларни ҳал этишда юқорида таъкидлаб ўтилганидек (3.3.3-бобга қаранг), 3GPP лойиҳасида LTE/SAE архитектурага хизмат кўрсатиш сифатини мослашувчан бошқара оладиган ҳамда тўртинчи авлод янги хизматларини кўрсата оладиган янги функционал элементлар қўшимча равишда киритилди. Хусусан, бу функционал элементлар LTE тармоғида қуйидаги вазифаларни бажаради:

- абонентларнинг молиявий имконияти ҳамда эҳтиёжларини ҳисобга олган ҳолда қулай тарифларни қўллаш;
- фойдаланилган иловаларга боғлиқ ҳолда тарификацияни таъминлаш;
- фақатгина алоқа операторига маълум бўлган абонентларнинг жойлашган манзили билан боғлиқ хизматлар (масалан, сифатли контекстли рекламалар учун);
- оператор томонида трафик мазмунини филтрлаш, шунингдек, фойдаланилаётган хизматларга вақт бўйича ҳамда давомийлик бўйича чекловлар ўрнатиш (ушбу масаланинг долзарблиги шундаки, бугунги кунда Интернет фойдаланувчиларининг аксарият қисмини ёш болалар ташкил этмоқда);
- алоқа хавфсизлигига таҳдид қилувчи, ҳалақит берувчи сайтлар ҳамда дастурлардан ҳимояланиш.

Ўз навбатида, LTE тармоқ архитектураси доирасида ушбу вазифалар кўрсатилаётган хизматларнинг тарификациясини ҳамда абонентларга хизмат кўрсатиш сиёсатини (қоидаларини) бошқариш функциясига тааллуқлидир (қисқача «тарификация ва сиёсатни бошқариш» функцияси).

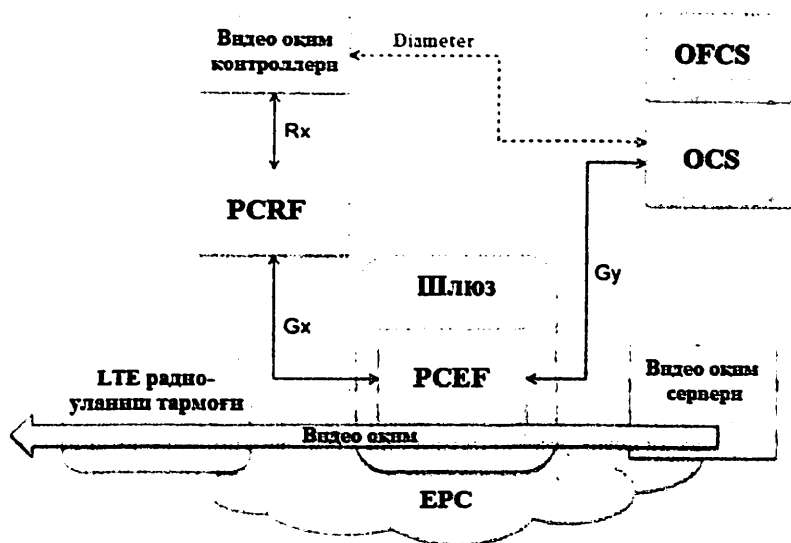
3.3.6.3. LTE тармоғида тарификация ва сиёсатни бошқариш

Тарификация ва сиёсатни бошқариш – РСС (ингл. *Policy and Charging Control*) функцияси LTE тармоғида (3GPP 8-релизи), 3.19-расмда кўрсатилганидек, илова серверлари ёрдамида хизматлар сифати - QoS ни, тарификацияни ва сиёсатни динамик тарзда бошқарувини таъминлайдиган, амалда ишлатилган платформа асосида курилади.

Расмдан кўринганидек, РСС функцияси тақсимланган архитектурага эга ва спецификацияланган ўзига хос вазифаларни бажарувчи қуйидаги бир нечта функционал элементлардан ташкил топган:

- PCRF (ингл. *Policy and Charging Rules Function*) – сиёсатни ва тарификация қоидаларини бошқариш ҳамда маълумот оқимлари асосида қарорлар қабул қилиш вазифаси;
- PCEF (ингл. *Policy and Charging Enforcement Function*) –SGW-хизмат кўрсатиш шлюзида ташкил этилган тарификация ҳамда сиёсатни қўллаш вазифаси ва PCRF бошқаруви остида мустақил IP-оқимлар учун

шлюзлаш ҳамда QoS ни бошқариш функцияларини бажаради. PCEF вазифаси, шунингдек, тарификация мақсадида трафикни баҳолашда ҳам қатнашади;



3.19-расм. LTE тармоғида PCC функциясини ишлаш принципи (видеоконтент узатиш мисолида)

- OCS (ингл. *Online Charging System*) – фойдаланувчиларга PCEF воситасида, уланиш вақти, узатилган/қабул қилинган трафик ҳажми ёки бошқа турдаги пуллик хизмат кўринишидаги хизматларни кўрсатишга масъул бўлган “онлайн” (реал вақт асосида) тарификация вазифаси;

- OFCS (ингл. *Off-line Charging System*) – “офф-лайн” (нореал вақт асосида) тарификация вазифаси, PCEF дан абонент хизматдан фойдаланганлиги тўғрисида маълумот олади ва фойдаланилган хизматларнинг тарификацияси бўйича кейинчалик «биллинг» тизимида фойдаланиш учун CDR (ингл. *Charging Data Records*) ёзувларини яратади.

Бу ерда шуни таъкидлаш жоизки, PCC функцияси тарификацияни динамик равишда бошқаради ҳамда ҳар бир абонент учун мустақил равишда ёки ҳатто алоҳида маълумотлар оқими бўйича ҳам алоҳида QoS даражаларини бошқаради.

LTE тизимларида «биллинг» хизмати ташкил этилишини кўриб чиқишда LTE тармоқларини жорий этиш босқичма-босқич (қуйидаги фазалар асосида) амалга оширилиши режалаштирилганлигига алоҳида этибор қаратиш лозим, хусусан:

- 1-фаза: фақат маълумотлар узатиш ташкил қилинган LTE тармоғи;

- 2-фаза: маълумотлар узатишга қўшимча равишда IP бўйича овоз узатиш ташкил қилинган LTE тармоғи (VoIP ёки VoLTE);

- 3-фаза: тўлиқ IP-архитектура асосида қурилган ва IMS муҳитида ишлайдиган LTE тармоғи.

Тарификация ва сиёсатни бошқариш функциясининг иши ҳам шунга мос равишда фазадан-фазага ривожланиб бориши лозим. Масалан, PCC функциясининг 1-фаза учун вазифалари қуйидагилардан иборат:

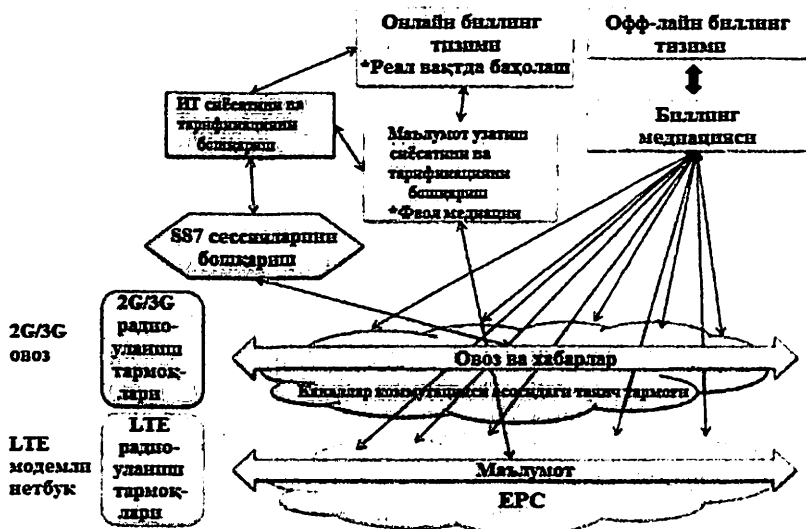
- PCC нинг барча функциялари трафикнинг мазмуни ҳамда ҳажми илгаригига нисбатан сезиларли даражада ўсишини ҳисобга олган ҳолда такомиллаштирилган бўлиши лозим;

- Медиация тизими ҳамда “онлайн” тарификация вазифалари (4G) пакетли коммутация тармоқлари билан (2G ва 3G) каналли коммутация тармоқларининг биргаликда ишлаштини қўллаб-қувватлаши лозим;

- Мавжуд медиация тизими EPC-янги таянч тармоғи элементларини қўллаб-қувватлаши учун кенгайтирилиши лозим;

- Фойдаланаётган хизматларга боғлиқ ҳолда абонентлар исталган тўлов моделларини танлай олиш имкониятига эга бўлишлари лозим (prepaid, postpaid, ёки аралаш (гибрид) моделлар).

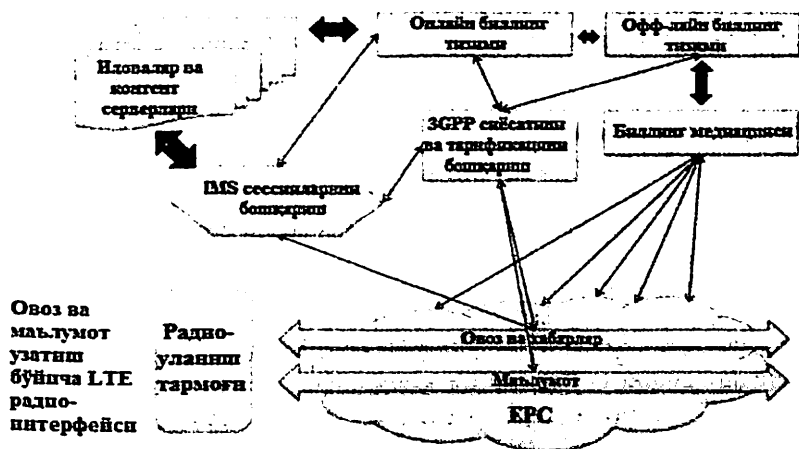
Ушбу вазифалар LTE тармоғини бошланғич эволюцион жорий қилишда ҳамда уни даромад келтириши учун жуда муҳим ҳисобланади (3.20-расм).



3.20-расм. LTE тармоғида PCC функциясининг 1-фаза босқичидаги ишлаш схемаси

2-фаза босқичида каналли коммутация тармоқлари билан ўзаро трафик алмашуви кескин қисқаради, аммо пакетли коммутация ҳажми ортади, ва РСС функциясига ҳам ўзгартириш киритилади. VoLTE хизматларига ўтиш трафик турига боғлиқ ҳолда QoS ни динамик бошқаришни тўлиқ киритишни талаб этади.

3-фаза босқичида радиоуланиш сатҳидаги каби коммутация сатҳида ҳам тўлиқ IP-протоколга ўтиш амалга оширилади (3.21-расм).



3.21-расм. LTE тармоғида РСС функциясининг 3-фаза босқичидаги ишлаш схемаси

Ушбу босқичда «биллинг» ва QoS ни бошқариш жараёнида иштирок этувчи контент ва иловалар серверлари кенг тадбиқ этилади, ва бу, ўз навбатида, тарификация ва сиёсатни бошқариш функциясида юклама янада ошишига олиб келади. Ва бу масалалар операторлар томонидан ўзларининг LTE тармоқларини, хусусан РСС функциясини, режалаштиришда 1-фазадан бошлаб алоҳида эътиборда бўлиши жуда муҳимдир.

Ягона IP-платформага ўтиш тармоқнинг мослашувчан ишлаши, кам харажатлилиги ва хизматларнинг оммабоплиги (универсаллиги) каби қатор афзалликларни киритиш билан бир вақтда, тарификация ва сиёсатни бошқариш, алоқа хавфсизлигини таъминлаш ва янги иловаларни қўллаб-қувватлашда қатор қўшимча вазибаларни ҳам яратади. Ўзгаришлар бошқарув сигналлар (сигналинг) сатҳида ҳам амалга ошади, хусусан: SIP-протоколга қўшимча LTE тармоғида 2G, 3G ва кенг поласали симсиз тизимларда фойдаланиладиган SS7, RADIUS ҳамда CAMEL²⁹

²⁹CAMEL (ингл. Customised Applications for Mobile networks Enhanced Logic) - GSM ва UMTS тармоқларида интеллектуал хизматларни ташкил этиш учун ETSI (TS 123 078) томонидан ишлаб чиқилган стандартлар гўплами. Протоколнинг асосий афзаллиги - ускунанинг ишлаб чиқарувчисига

протоколларини ўрнига, бошқарув сигналларини ҳам тармоқ ичида, ҳам тармоқлараро алмашувини таъминлай оладиган янги Diameter протоколи ишлатилади. Кенг маънода, тарификация ва абонентларга хизмат кўрсатиш сиёсатини бошқариш функцияси аутентификация, мобилликни бошқариш, QoS-хизматлар сифатини таъминлаш, «биллинг» ҳамда “роуминг” каби функцияларни ўз ичига олади. Демак, ягона IP-платформа Diameter протоколида сигнал муҳитини бошқаруви, хавфсизлиги ва конфигурацияси қандай ташкил қилинганини аниқлаб беради. Diameter протоколи асосида янги уланиш технологиялари яратилганда аутентификация, авторизация ва турли сервисларни ҳисобга олиш (AAA) хизматларини тақдим этиш учун кейинчалик кенгайтириш имкониятига эга таянч протокол яратиш концепцияси ётади. Хусусан, Diameter протоколи қуйидаги характеристикаларга эга:

- кафолатланган етказишни таъминловчи транспорт протоколларини қўллаб-қувватлаш (UDP ўрнига TCP ёки SCTP);
- транспорт ва тармоқ сатҳларида маълумотларни ҳимоя қилиш (IPSec ёки TLS);
- RADIUS протоколдан босқичли ўтиш (Diameter протоколи RADIUS протоколи билан тўлиқ мослашмаслигига қарамасдан);
- “атрибут-қиймат” жуфтлиги (AVP) ҳамда идентификаторлар учун (8 бит ўрнига 32 бит) манзил хажмининг етарлилиги;
- “клиент-сервер” моделини қўллаб-қувватлаш;
- тугунларни (DNS-сервердан фойдаланган ҳолда) динамик тарзда аниқлаш;
- тармоқ тугунларининг функционал имкониятларини мослаштириш;
- иловалар сатҳида ишончли етказиш механизминини қўллаб-қувватлаш;
- юқори сифатли мобилликни қўллаб-қувватлаш;
- такомиллашган масштабланиш;
- фойдаланувчи буйруқлари ва атрибутларидан фойдаланиш.

Шундай қилиб, LTE тармоқларини жорий қилиш операторлар олдига кенг миқёсда, хусусан, фойдаланиладиган хизматлар тарификациясини ҳамда абонентларга хизмат кўрсатиш сиёсатини бошқарувини ташкил этиш соҳаларида маълум бир вазифалар қўяди. Бунда, бир тарафдан, юқори тезликли 4G хизматларини жадал равишда жорий этиш эҳТИЁжи ва, иккинчи тарафдан, ускуналарни, жумладан OSS/BSS тизимларини алмаштириш ва янгилаш учун бўладиган сарф-ҳаражатлар ўртасидаги

боғлиқ эмаслиги, ва натижада абонент меҳмон тармоғида бўлганда ҳам хизматлардан фойдаланиш имконияти мавжудлиги (роуминг). Интеллектуал тармоқларнинг асосий принципи – бу чақирувга ишлов бериш мангигина коммутатордан (у энди фақат чақирувни коммутациясига жавоб беради ва Service Switching Point (SSP), деб аталади) ташқи назорат қилувчи тугун Service Control Point (SCP) га ўтказишдир. Бундай ажратиш туфайли коммутаторларнинг дастурий таъминотида узоқ вақтли ва қиммат ўзгартиришларсиз янги хизматларни киритиш (ҳамда мавжуд хизматларни такомиллаштириш) имконияти пайдо бўлади.

балансни топа билиш ўта мухим вазифага айланади. Шу маънода мохирона ташкил этилган тарификация тизими ҳамда даромадларни ва фойдаланувчиларнинг содиклигини оширишга қаратилган «биллинг» тизимининг мавжудлиги ҳал қилувчи омиллардан бўлиши мумкин.

3.4. LTE тизимининг радиоинтерфейсини ташкил этилиши

Юқорида таъкидланганидек, LTE тизимининг (шунингдек барча замонавий юқори тезликли технологияларнинг ҳам) “инқилобий” ютуқлари асосан икки технология: OFDM ва ММО ларнинг қўлланилиши туфайли мумкин бўлди.

LTE тизими радиоинтерфейсини ташкил этилишини баён этишдан олдин бу технологияларнинг қисқача тавсифини бериш лозим деб топилди.

3.4.1. OFDM технологиясининг тавсифи

OFDM (ингл. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), ортогонал³⁰ частотавий мультимплекслаш технологияси - яқин жойлашган кўп сонли ортогонал нимэлтувчилардан фойдаланадиган модуляция ва каналларни ажратишнинг рақамли схемаси ҳисобланади. Ҳар бир нимэлтувчи оддий модуляция схемаси бўйича (масалан QAM – квадратура-амплитудавий модуляция) паст символ тезлигида модуляцияланади, лекин умуман олганда худди шундай ўтказиш полосасида бир нимэлтувчи асосидаги оддий модуляция схемаларига қараганда юқорироқ маълумот узатиш тезлигини таъминлайди. Яъни бу шуни билдирадики, маълумотлар канални ташкил этувчи кўплаб нимэлтувчи частоталар бўйича бир вақтни ўзида узатилади. OFDM сигналлари “Фурье тезкор ўзгартириш” (ФТЎ)³¹ (ингл *Fast Fourier Transform*) математик механизмини ишлатиш йўли билан олинади.

Бир нимэлтувчили схемаларга қараганда OFDM нинг асосий афзаллиги бу унинг каналдаги мураккаб вазиятларга бардош бериш қобилиятидир. Масалан юқори частоталардаги сўнишлар, радиосигналнинг кўп нурли тарқалиши туфайли келиб чиқувчи тор полосали ҳалақитлар ва айрим-частотавий сўнишлар билан мураккаб фильтр-эквалайзерлардан

³⁰ Ортогоналлик (грек. *orthogonios* - тўғри бурчакли, *orthos* – тўғри ва *gonia* - бурчак) бу перпендикулярлик тушунчасининг умумлаштирилиши, кўпинча агар иккита вектор уч ўлчамли фазода перпендикуляр бўлса, у ҳолда уларнинг скаляр кўпайтмаси (бу векторларнинг узунликлари ва улар орасидаги бурчакнинг косинуси кўпайтмаси) нолга тенг бўлади.

³¹ “Фурье Тез Ўзгартириш” (ФТЎ, FFT) схемаси бу “Фурье Дискрет Ўзгартириш” (ФДЎ) ни тез ҳисоблаш алгоритמידир. Баъзан ФТЎ деганда частота/вақт асосида янгалаш алгоритми ёки $O(N \log(N))$ мураккабликка эга 2 га асос бўйича тезкор алгоритмлардан бири тушунилади. Умумий ҳолда ФДЎ алгоритми $S(n)$ ($n = 0.1 \dots N-1$, N) га комплекс сигнал саногига $S(k)$ ($k = 0 \dots N-1$, N) га комплекс спектр саногини мослаштиради.

фойдаланмаган холда кураша олиши ҳисобланади. Сигнални қайта ишлаш соддалашади, чунки энди битта тез модуляцияланадиган кенг полосали сигнал билан эмас, балки кўплаб секин модуляцияланадиган тор полосали сигналлар билан ишланади. Паст тезликли символлар орасида ҳимоя интервали (циклик префикс - CP, англ. *Cyclic Prefix*) дан фойдаланиш имкониятини беради, бу вақтли тарқалишларни тўғрилашга ва символлар аро интерференцияни (СаИ) йўқотишга имкон беради.

OFDM сигналларининг ўзига хос хусусиятлари қуйидагилардир:

- Танланган усул асосида (QPSK, 16-QAM, 64-QAM) ахборот символлари билан модуляцияланган нимэлтувчи частоталарни мультиплекслаш;

- Нимэлтувчилар ортогонал (ўзаро корреляцион функцияси 0 га тенг) ёки ақалли квазиортогонал (амалда) асосда ажратилади;

- Ҳар бир OFDM-символ СаИ ни йўқотиш учун ҳимоя вақт интервалига эга. Бу ҳимоя интервалининг вақти алоқа линиясининг (радиосигналнинг физик тарқалиш муҳити) импульсли характеристикасини ҳисобга олиб танланади.

Бундан ташқари, OFDM нинг афзаллиги ҳимоя интервалларининг сонини камайтиришдадир. Кетма-кет сигналда ҳимоя интерваллари ҳар бир символлар орасига бўлиши керак, кўп частотали сигналда эса у фақат символлар гуруҳлари (OFDM символлари) орасида бўлгани кифоя.

OFDM нинг камчиликларига доплер³² бузилишларига сезгирлик, “пси -фактор”³³ деб аталадиган эффе́ктни́нг мавжудлиги, шунингдек электрон компонентлар сифатига юқори талаблар қўйилишини киритиш мумкин.

OFDM технологияси кўплаб нимэлтувчи частоталардан иборат бўлган $S_k(t) = a_k \cdot \sin[2\pi(f_0 + k\Delta f)t]$ (бу ерда f_0 – диапазоннинг пастки частотаси, k – нимэлтувчининг тартиб рақами) кўринишга эга бўлган кўп-частотали сигнални шакллантиришга асосланган. Бу нимэлтувчилар бир биридан ортогоналлик асосида ажратилган бўлиб

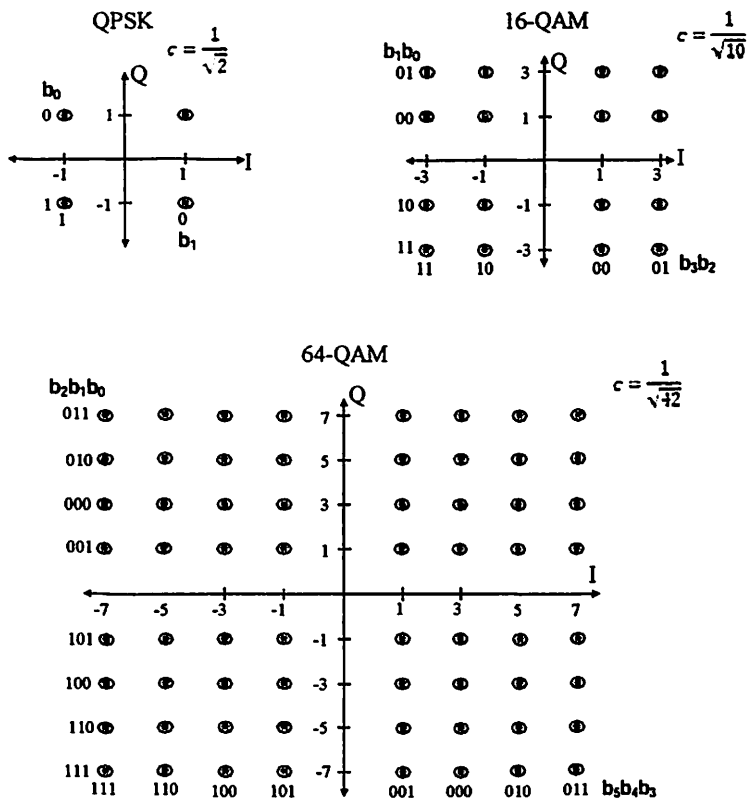
³² Доплер эффе́кти - бу узаткич ёки қабул қилгичнинг (ёки иккисини ҳам) ҳаракатига боғлиқ радиотўлқин тебранишининг частотасини ўзгариши. Мобил алоқа тизимларида таянч станцияга нисбатан абонент тез ҳаракатланганида сигналнинг бузилишларига олиб келиши мумкин.

³³ Пси-фактор – бу сигналнинг оний максимал амплитудасини унинг ўртача қийматига нисбати. OFDM модуляторини чиқишдан кучайтиргичга бир неча частотавий нимканаллар келади. Ҳар бир нимканалнинг сигнали фаза ва амплитуда бўйича модуляцияланган. Мос равишда йиғинди OFDM сигнали юқори-чизикли кучайтиргичда кучайтирилиши керак ва умумий сигналнинг максимал ва чўққи қийматлари бузилишларсиз узатилиши керак. OFDM сигналнинг чўққи қиймати сигналнинг ўртача қиймати сатҳидан ўнлаб мартагача юқори. Чиқиш сигнали бузилса барча каналлар сигналлари у ёки бу даражада бузилади. Бундай бузилган сигнал демодуляцияланганда 16-QAM ёки 64-QAM канал детектори сигналнинг амплитуда-фазавий оний ҳолатини аниқлай олмайди, бу чиқиш рақамли оқимда хатоликларни келтириб чиқаради.

$$\Delta f = \frac{|\omega_n - \omega_{n-1}|}{2\pi} \quad (\omega_n - \text{бу } n\text{-чи нимэлтүвчининг радиал частотаси})$$

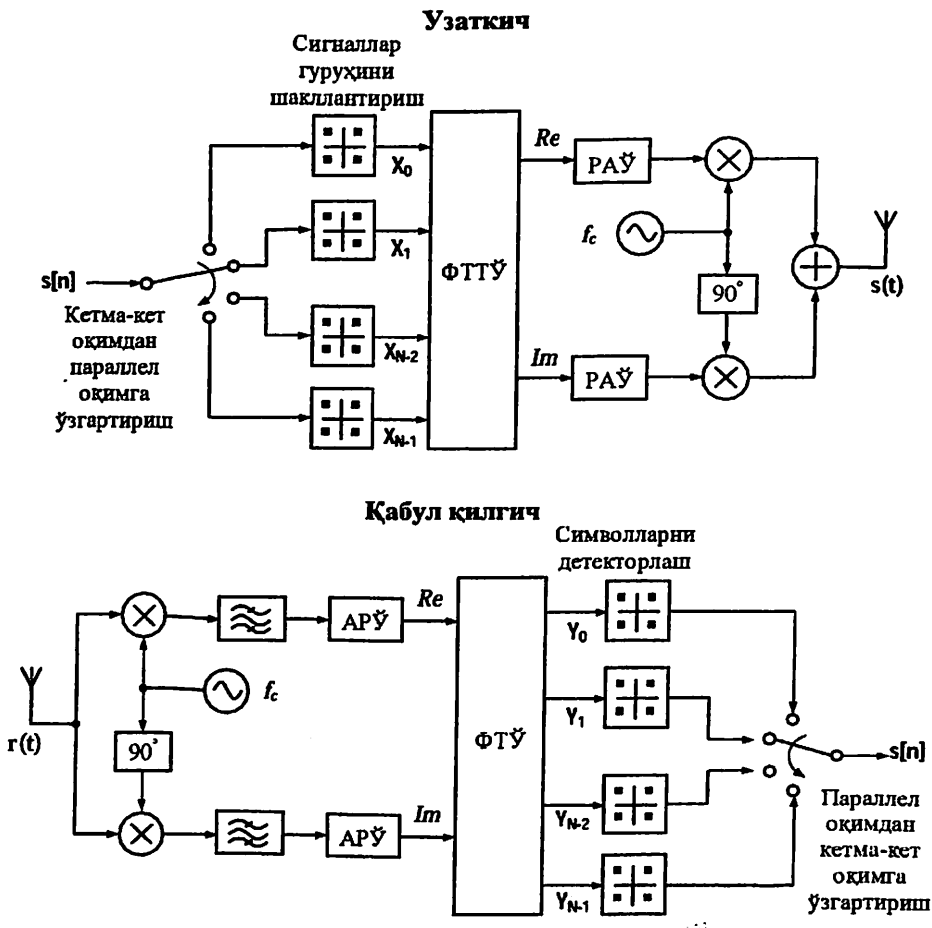
кенгликдаги частотага фарк қилади.

Ортогонал элтувчилар орқали маълумотлар модуляцияланганида частота каналида N нимэлтүвчилар $f_k = f_c + k\Delta f$ тенглама асосида ажратилади (бу ерда $k \in [-N/2, N/2]$ диапазонидаги бутун сон). Ҳар бир нимэлтүвчи мустақил равишда квадратура-фазавий ёки квадратура-амплитудавий модуляция орқали ишланади. Танланган модуляция схемасидан (BPSK/QPSK/16-QAM/64-QAM) келиб чиққан ҳолда, блок модуляцион символларга мос битлар гуруҳлари кетма-кетлиги (1, 2, 4, 6 бит) кўринишида тақдим этилади. Ҳар бир гуруҳга кейинчалик элтувчи тўғридан-тўғри модуляцияланганда ишлатиладиган Грей вектор диаграммасининг Q ва I қийматлари мос равишда қўйилади (3.22-расм).



3.22-расм. QPSK, 16-QAM ва 64-QAM учун Грей вектор диаграммалари (модуляцион символларни тақдим этиш)

Квадратурали символлар амплитудаларини ўртачалаштириш учун меъёрлаштирилган (яъни c коэффицентларга кўпайтирилган Q ва I қийматларидан фойдаланилади (масалан, QPSK учун $c = 1/\sqrt{2}$, 16-QAM учун $c = 1/\sqrt{10}$, 64-QAM учун $c = 1/\sqrt{42}$). Умумий сигнал “Тескари Фурье тезкор ўзгартириш” (ТФТЎ) усули (ингл. *Inverse Fast Fourier Transform, IFFT*) ёрдамида ҳисобланади. ТФТЎ орқали модуляцион символлар аниқланганидан кейин радиосигналнинг ўзи ҳисобланади ва узаткичга узатилади. Қабул қилишда барча жараёнлар тескари тартибда, фақат тўғри “Фурье тезкор ўзгартириш” (ФТЎ) усули ишлатилиб амалга оширилади (3.23-расм).



3.23-расм. OFDM сигналнинг узаткичда ва қабул қилгичда шаклланиш принципи

Ортогонал элтувчилар орасидаги сурилиш Δf символдаги маълумотларни узатиш давомийлиги (узунлиги) T_b қиймати билан боғлиқ: $\Delta f = 1/T_b$. Вақт сатҳида OFDM символидан олдин T_g ҳимоя интервали қўшилади, демак бир OFDM кетма-кетлигининг умумий вақти $T_s = T_b + T_g$ га тенг бўлади. Ҳимоя интервали олдинги символни охириги фрагментининг нусхаси ҳисобланади ва унинг вақти T_b нинг 1/4, 1/8, 1/16 ва 1/32 ни ташкил этиши мумкин.

ФТЎ/ТФТЎ алгоритмларининг ишлаши учун нуқталар сони 2^m га мос келиши мақсадга мувофиқ бўлади. Шунинг учун у элтувчилар сони N дан ортиқ минимал $N_{FFT} = 2^m$ сонига тенг танланади. OFDM символининг вақти $-T_b$ канал полосаси кенглиги - BW (ингл. *bandwidth*) ва тизимнинг такт частотаси (дискретлаш частотаси) - F_s билан боғлиқ: $F_s = N_{FFT} / T_b$. Бунда n муносабати ($F_s / BW = n$) меъёрлаштирилади ва канал полосасининг кенглигига қараб у 86/75 (1,5 MGs га қаррали полоса), 144/125 (1,25 MGs га қаррали полоса), 316/275 (2,75 MGs га қаррали полоса), 57/50 (2 MGs га қаррали полоса) ва 8/7 (1,75 MGs га қаррали полоса ва барча бошқа ҳолларда) қийматларини қабул қилади.

OFDM технологияси деярли барча замонавий мобил алоқа стандартларида, кенг полосали уланиш ва телерадиоэшиттириш тизимларида 3.3-жадвалда кўрсатилганидек қўлланилади.

3.4.2. Адаптив ва куп-элементли антенна тизимлари

Симсиз технологияларни жадал равишда ривожланиши сабабли тармоқларнинг юқорироқ сиғими ва функционаллигига бўлган талаблар янада долзарблашмоқда. Симсиз тармоқларнинг спектрал самарадорлигини ошириш муаммоси янада муҳимлашмоқда. Ҳозирги кунда алоқа индустрияси ўтказиш полосасини кенгайтириш, модуляция механизмларини такомиллаштириш ва кодли мультимплекслаш ҳисобига спектрал самарадорликни оширувчи маълум усуллар имкониятларини деярли тўлиқ ишлатиб бўлди. Бундай шароитда ММО ва йўналтириш диаграммаларни адаптив шакллантириш каби антенна технологиялари симсиз тизимларни янада такомиллаштиришда янги омилар деб ҳисобланмоқда.

3.3-жадвал

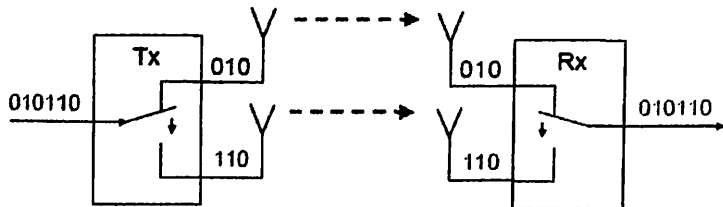
Замонавий мобил алоқа, кенг полосали уланиш, теле- ва радиоузатиш тизимларида мультимплекслаш технологиялари

Стандартлар	Мультимплекслаш
Wi-Fi (IEEE802.11a.g.n)	OFDM
WiMAX (IEEE802.16d)	OFDM/OFDMA
WiMAX(IEEE802.16e)	OFDMA
3GPP 7-Релиз (HSPA)	W-CDMA

3GPP 8,9,10-Релизлар (LTE, LTE Advanced)	OFDMA
DVB (Рақамли телеузатиш)	OFDM
Eureka-147, DRM, IBOC (Рақамли радиоузатиш)	OFDM
IEEE802.20 (КСУ тизими: тезлик 800 Mbit/sek дан юкори, диапазон 3.5 GGs дан паст, мобиллик 250 km/soat)	OFDM
IEEE802.22 (КСУ, регионал масштабдаги корпоратив радио WRAN тизими, диапазонни - телеузатиш каналлари)	OFDM

3.4.2.1. MIMO технологиясининг тавсифи

MIMO (ингл. *Multiple Input Multiple Output* – кўп сонли қабул қилиш –кўп сонли узатиш) – янги маълумот узатиш технологияси бўлиб, унга кўра дастлабки маълумотлар оқими демультимплексорда алоҳида узатиш трактлари бўйича ишлов бериш ва узатиш учун N сонли оқимларга ажратилади. Қабул қилиш томонида эса M сонли қабул трактлари бўлиб, уларда маълумотлар мультимплексордан ўтади ва қабул қилишдаги хатоликларнинг сонини камайтирувчи махсус алгоритмлар бўйича яна қайтиб бир оқимга йиғилади. Бу хатоликлар узатиш каналидаги бузилишлар ва сигналларнинг фазовий корреляцияси натижасида вужудга келиши мумкин (3.24-расмга қаранг).



3.24-расм. MIMO нинг соддалаштирилган кўриниши

Шундай қилиб, MIMO технологияси битта радиоканалда бир неча узатувчи ва қабул қилувчи трактларни ишлатади. Амалда MIMO ни ишлаш тартибида икки хил режим ажратилади: Фазовий ажратиш (ФА) ва Фазовий мультимплекслаш (ФМ) режимлари³⁴.

ФА режимида сигнал нусхаларини бир неча узатувчи ва мос равишда бир неча қабул қилувчи антенналарга ажратиш амалга оширилади (яъни, бир хил ахборот бир неча қабул қилиш/узатиш трактлари бўйича юбориб қабул қилинади).

³⁴ Амалиётда MIMO режимларини “А” ва “В” харфлари билан номланишини ҳам учратиш мумкин. Бунда MIMO “А” ҳудудий ажратиш ва MIMO “В” ҳудудий мультимплекслаш режигарига тўғри келади.

ФМ режимда кетма-кет маълумотлар оқими бир неча параллел оқимларга бўлинади ва бир неча қабул қилиш/узатиш трактлари бўйича узатилади ва қабул қилинади (яъни маълумотлар оқимини узатиш тезлиги бир неча мартагача ошади). Шундай қилиб, ФМ режими каналнинг юқори сифимини (ўтказувчанлик қобилиятини) таъминлаши мумкин, лекин сигнал сифатини яхшиламайди, аксинча уни хатто ёмонлаштириши ҳам мумкин. Бунинг аксига, ФА режими сигнал сифатини сезиларли тарзда яхшилади ва қабул қилгич томонида юқори “сигнал-шовқин” нисбатини таъминлайди, лекин каналнинг ўтказувчанлик қобилиятини деярли ўзгартирмайди. Хусусан, кенг қамровли соталарда ФМ ўз имкониятлари чегарасида ишлайди, чунки алоқа масофаси қанча узоқ бўлса, шунчалик сигнал кучли бўлиши керак. Амалиётда ММО нинг иккала режимининг комбинациясини ҳам қўллаш мумкин (масалан, 4*4 схемали ММО да фазовий ажратилган икки жуфт мультиплексловчи антенналарни қўллаш мумкин).

ММО технологиясининг афзалликларига қуйидагилар киради:

- “Пастга” йўналишдаги каналларнинг ишини яхшилаш, бу радиотўлқинлар кучли тарқалиши шароитида сигналнинг турғун ва ишончлироқ узатилишида намоён бўлади. “Юқорига” йўналишдаги каналлар учун яхшиланишлар сезиларли эмас;

- Бир неча мустақил оқимлар бир вақтда узатилганда юқорирок даражадаги модуляция схемаларини ишлатиш ҳисобига каналнинг ўтказувчанлик қобилиятини ошириш;

- Тизимнинг, айниқса абонентларни юқори мобиллик ҳолатларида, иш характеристикаларини стабиллигини ошириш.

ММО нинг камчиликларига қайта аксланиш бўлмаган ҳолларда, масалан, иншоотлар нозич жойлашган туманларда, автомагистрал ёқаларида, дарё бўйлаб ва шунга ўхшаш ҳолларда сифат характеристикаларини пасайишини киритиш мумкин.

ММО технологиясининг асослари

ММО технологияси қўлланилмаган аъъанавий ҲРТ тизимларида алоқани кўплаб каналлар бўйича амалга ошириш учун бир неча частоталар ишлатилиши керак эди. ММО қўлланиладиган тизимларда эса кўплаб каналлар бир частотани ўзи билан амалга оширилади. Бу технологиянинг маъноси бир оқимнинг бир неча оқимларга бўлиниши ва барча алоқа каналларининг тенглаштирилиши (эквалайзинг) дан иборат. Қабул қилишда сигналнинг самарали ажратиб олинишини таъминлаш учун сигналлар оқимларини фазовий-вақтли кодлаш (ингл. *Space-Time Coding, STC*) дейиладиган усул қўлланилади. Усулнинг ғояси сигналнинг фазо ва вақт бўйича шундай ажратишдан иборатки бунда сигнални хатоларсиз қабул қилиш эҳтимоли (қабул қилгичда муносиб равишда қайта ишладан кейин) сезиларли ортади.

Математик ифодалашда усул қуйидаги тарзда тақдим этилиши мумкин. Канал модели каналнинг бевосита ва билвосита компонентларини ичига олган H матрица кўринишида тақдим этилади. Бевосита h_{11}

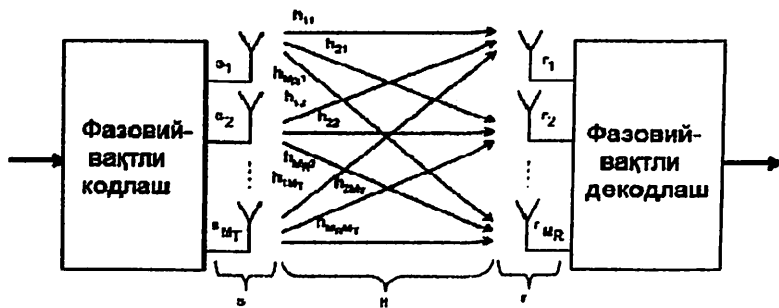
компонентлар канал характеристикаларининг текислигини ифодалайди, билвосита h_{21} компонентлар эса каналлар ажратилишини кўрсатади. Узатиладиган сигнал S орқали, қабул қилинадиган сигнал эса r орқали белгиланади. Бунда қисқа поласали канал вақт бўйича ўзгармас деб қаралади. У ҳолда қабул қилинадиган канални қуйидаги кўринишда келтириш мумкин:

$$r = HS + n,$$

бу ерда n –узатиш каналида сигналга қўшиладиган шовқин.

3.25–расмда ММО физик каналнинг соддалаштирилган чизмаси келтирилган.

Қабул қилгич томонида сигнални декодлаш учун H матричасининг қийматларини билиш зарур ва улар қабул қилгичга маълум бўлган ўргатувчи кетма-кетлик ёрдамида аниқланади. Яна бир муҳим тадбир шундаки қабул қилгич узаткичга канал характеристикаларининг апроксимацияланган қийматларини юборади ва улар узаткич томонидан дастлабки кодлаш учун ишлатилади. Дастлабки кодлаш ММО характеристикаларини янада яхшилайди.



3.25–расм. ММО физик канали

Маълумки, анъанавий якка узаткич/якка қабул қилгичли (ингл. *SISO*) тизимларда каналнинг ўтказиш қобилияти - С Клод Шеннон³⁵ нинг формуласи бўйича ҳисобланади:

³⁵ Клод Элвуд Шеннон (ингл. *Claude Elwood Shannon*; 30.04.1916 – 24.02.2001) – америкалик буюк инженер ва математик, замонавий юқори технологик алоқа тизимларида ўз татбиғини топган ахборот назариясининг асосчиси деб танилган. Клод Шеннон кибернетика ривожига улкан ҳисса қўшган, ахборот, электротехника ва криптография назариялари бўйича фундаментал асарлар муаллифи ва 1940 йил Нобел мукофоти лауреати деб танилган. 1948 йилда у ахборотнинг энг кичик ўлчамини аташ учун «бит» сўзини таълиф қилган. Ҳозирги кунда барча рақамли алоқа тизимлари Шеннон томонидан ишлаб чиқилган ахборот узатишни фундаментал принциплари ва қонунари асосида лойihalаштирилади.

$$C_{SISO} = f_g \log_2(1 + S/N). \quad (3.1)$$

(3.1) формуласи каналнинг f_g кенглигини ва “сигнал-шовқин” нисбати (S/N) ни ҳисобга олади. Каналнинг ўтказиш қобилиятини оширишга қаратилган кўплаб тақомиллаштиришлар ўтказиш полосасини кенгайтириш ёки ҳар хил турдаги модуляциялардан фойдаланишга асосланган. Лекин улар ҳозирги кунга келиб тизим спектрал самарадорлигини етарлича ошира олмаётгилар. Улардан фарқли равишда ММО технологияси кўплаб антенналар воситасида сигналлар оқимлари сонини ошириш ҳисобига қўшимча ютуқ бермоқда. Агар M кўрсаткичи орқали узатгич - M_t ёки қабул қилгич - M_r лар антенналарининг энг кам қийматига тенг фазовий оқимлар сони белгиланса (масалан, 2×3 ёки 2×4 ММО конфигурациясили тизимларда фақат икки ишончли ва тўлақонли фазовий оқим қўллаб-қувватланиши мумкин), у ҳолда Шеннон формуласини ММО тизими учун қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$C_{MIMO} = M f_g \log_2(1 + S/N). \quad (3.2)$$

Бундан кўринадики ММО тизимларида каналнинг ўтказиш қобилияти антенналар сонининг ўсиши билан чизикли боғлиқликда ошади.

Кўп сонли антенналарнинг носимметрик тарзда шаклланганлигини ҳам ҳисобга олиш мумкин. Бундай тўпламларда (масалан 1×2 ёки 2×1) каналнинг ўтказиш қобилияти - $C_{Tx/Rx}$ нинг ўсишини қайд этиш учун логарифмик боғлиқликли формуладан фойдаланилади (фақат бу ҳолда M кўрсаткичи M_t ёки M_r нинг максимумига тенг олинади):

$$C_{Tx/Rx} = f_g \log_2(1 + M(S/N)). \quad (3.3)$$

Қуйида ММО нинг турли иш режимларини кўриб чиқамиз.

Фазовий ажратиш режими

Умуман олганда, ажратиш принципи сигналнинг захираларини (нусхаларини) тақсимланган ҳолда узатишга асосланган. Бундай захиралаш исталган вақт ораллиғида, ёки исталган антенна орқали, ё исталган каналда, ё исталган қўбланиш асосида (буниси ҳозирча ММО технологияларида қўлланилмайди) узатилиши мумкин.

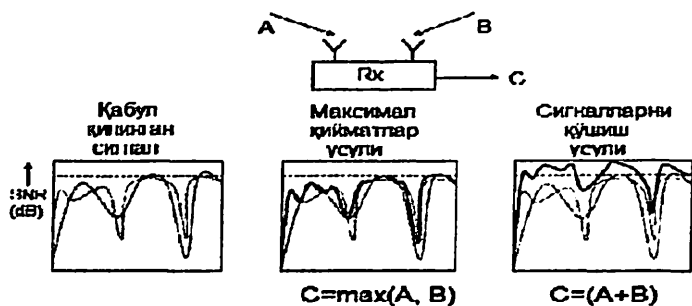
Фазовий ажратишнинг икки тури мавжуд:

- T_x -ажратиш (яъни узатиш бўйича ажратиш) да сигналнинг нусхаси бир неча антенналар бўйича узатилади (масалан, 2×1 схемаси);
- R_x -ажратиш (яъни қабул қилиш бўйича ажратиш) да сигналнинг нусхаси бир неча антенналар томонидан қабул қилинади (масалан, 1×2 схемаси).

Биринчи турдаги ажратишни моно ва стерео товушлар билан таққослаш мумкин. Маълумки, инсон стерео режимидаги товуш тонини

фарклироқ қабул қила олади. Иккинчи турдаги ажратишни эса бир кулоққа қараганда икки кулоқ билан яхшироқ эшитиш ҳолатига ўхшатиш мумкин.

Тх-ажратишнинг қўлланилиши учун STC кодлаш усулидан фойдаланилади (кўпроқ Аламоути кодлари ишлатилади). Бунда тўла фазовий ажратишга эришилади, тизим эса битта қабул қилувчи антенна билан ҳам ишлаши мумкин. Rx-ажратишдан фойдаланиш учун кўп сонли қабул қилиш антенналари (узатиш антенналаридан кўпроқ) ва мос демультимплекслаш алгоритмлари ишлатилади. Бундай алгоритмлар мисоли сифатида канал матрицаси - H маълум бўлган ҳолларда ажратиш туридан қатъий назар ишлай оладиган “максимал қийматлар” ва “сигналларни қўшиш” усуллари келтириш мумкин (3.26-расм).

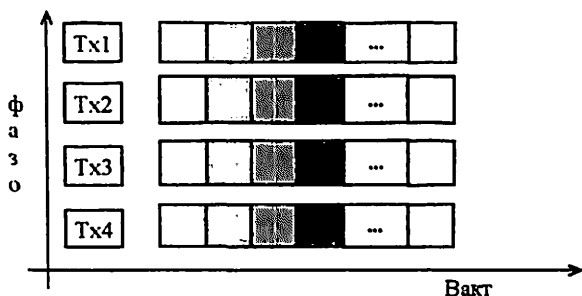


3.26-расм. Фазовий R_x -ажратиш учун қабул қилиш алгоритмлари (бу ерда А ва В сигналлар бир хил)

Фазовий мультимплекслаш режими

Битта антеннадан ортиқ антенналар бўйича бир неча маълумотлар оқимини узатиш фазовий мультимплекслаш дейилади. Фазовий мультимплекслаш икки турга бўлинади. Уларнинг биринчи тури деб АҚШ нинг Bell корпорацияси лабораторияси ишлаб чиққан, V-BLAST (ингл. *Vertical Bell Laboratories Layered Space-Time*) номига эга, вертикал фазовий-вақтли ажратиш ҳисобланади. V-BLAST мультимплекслаш ишлатилганда кодланмаган фазовий маълумотлар оқими қабул қилгичдаги сигнални мувозанатлаштириш (эквалайзинг қилиш) заруратини ҳеч қандай ҳисобга олмаган ҳолда узатилади (3.27-расм).

Иккинчи тур мультимплекслашда фазовий-вақтли кодлаш - STC дан фойдаланилади. V-BLAST туридан фарқли равишда STC ли мультимплекслашда маълумотларнинг ортогонал (яъни ўзаро ҳалақитларсиз) оқимлари узатилади.



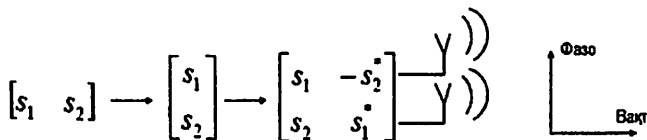
3.27-расм. V-BLAST асосидаги фазовий мультимплекслаш

Маълумки, V-BLAST усули билан узатишда оқимларни бир-биридан ажратишда оқимлараро интерференция (ингл. *Multi-Stream Interferences, MSI*) вужудга келишини олдини олиб бўлмайди. Бу, ўз навбатида, узатишни нобарқарор қилади ва хатто хатоликларни тўғридан-тўғри тузатиш усули ишлатилса ҳам бу муаммо ҳар доим ҳам ечилавермайди. Сигнални STC билан декодлаш усули эса, оддий чирик боғлиқли ўзгартиришга асосланган бўлиб, яхши натижаларни беради. Шундай қилиб, фазовий мультимплекслашнинг афзаллиги бу канал сигимининг фойдаланилган антенналар сони билан чирик боғлиқлиги туфайли алоқа канали сигимини ошириш имкониятидадир.

Фазовий-вақтли кодлаш

Фазовий-вақтли кодлаш тизимнинг функционалигини ошириш ва MIMO ни фазовий ажратиш ва фазовий мультимплекслаш режимларини ишлатиш имкониятларини беради. Бунда сигналнинг нусхалари нафақат кўп сонли антенналар бўйича, балки турли вақтларда ҳам узатилади. Кечиктиришли бундай узатишни вақт бўйича ажратиш дейилади. STC-кодлари 3.28-расмда кўрсатилганидек, ўз ичига сигналнинг фазовий ва вақтли нусхаларини олади.

Бу ерда кетма-кет сигналлар (S_1 ва S_2) икки маълумотлар оқимига бўлинган (мультимплексланган), сўнг уларга Аламоути фазовий-вақтли блокли кодларини ишлаб чиқиш учун сигнал нусхалари ($-S_2^*$ ва S_1^*) қўшилган.



3.28-расм. Икки узатувчи антенналар учун Аламоути фазовий-вақтли блокли кодлари

STC-кодларини икки тури мавжуд:

- фазовий-вақтли блоккли код (ингл. *Space-Time Block Code - STBC*) (иккита узатувчи антенналик ва Аламоути кодларилик мисол 3.28-расмда келтирилган);
- фазовий-вақтли панжарали код (ингл. *Space-Time Trellis Code - STTC*).

Биринчи тур кенг тарқалган ва унинг ёрдамида фазовий ажратиш осон кечади. Иккинчи услуб мураккаброқ ва ҳозирги кунда қимматлиги хисобига камроқ ишлатилади.

Шундай қилиб, тизимнинг оптимал функционаллигини ва ишончли радиоқамровини таъминлаш учун ҳар иккала режимни комбинациясини, яъни, яқин жойлашган ҳудудларда - фазовий мультитплекслашни ва олисдаги ҳудудларда - фазовий ажратишни қўллаш мақсадга мувофиқдир.

ММО технологияси IEEE 802.11n, IEEE 802.16d ва IEEE802.16e стандартларида, шунингдек, 3GPP лойиҳасининг 7, 8 ва 10 релизларида қўлланилади. Ушбу технологияни, шунингдек, IEEE 802.20 ва IEEE 802.22 стандартларида ҳам ишлатилиши кўзда тутилган.

3.4.2.2. Адаптив антенна тизимлари

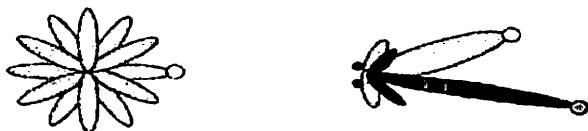
Ҳозирги вақтда антенна технологиялари радиотармоқларнинг сифimini оширувчи “олтин калитга” айланди. Бу жараён 60° ва 120° йўналтириш диаграммаси (ЙД) га эга бўлган ва бир сота сифатида ишлаган секторли антенналардан бошланган эди. Масалан, GSM тармоқларининг сифими учта 120° -градусли секторли антенналар ишлатилиши туфайли уч мартага ошиши мумкин.

Янги панжарали адаптив антенна тизимлари тор ЙД – “нур”лардан фойдаланиб фазовий мультитплекслаш имкониятини кенгайтиради. Панжарали адаптив антенналар тизимларига сигналнинг келиш йўналиши - DoA (ингл. *Direction of Arrival*) ни аниқлаш ва мос равишда ўз ЙД ни созлаш имконияти билан фаркланадиган “ақлли” (интеллектуал) антенналар ҳам киради. Йўналтирилган антенналар, шунингдек, умумий нурлантириладиган қувватни ҳам сезиларли камайтиришга имкон бериб, каналлараро интерференцияни камайтиради. Абонент ускуналари билан тескари алоқа бор-йўқлигидан қатъий назар “ақлли” антенналар мустақил равишда АУ га йўналтирилган нурларни шакллантириши мумкин. Аммо, қўшимча, АУ билан тескари алоқа бўлса, мураккаб антенна панжараларини соддалаштириш имкони пайдо бўлади. Аксинча, ММО тизимлари, одатда, АУ билан тескари алоқа мавжудлигини талаб қилади.

“Нурларни шакллантирилиш” - бу антенна панжарасининг нурсимон ЙД ни яратиш учун фойдаланиладиган усулдир. У барча антенна панжаралари тизимларида қўлланилиши мумкин. Буни ҳисобга олганда “ақлли” антенна тизимлари икки гуруҳга бўлиниши мумкин (3.29-расм):

- Олдиндан аниқланган турғун (рус. *фиксированный*) ЙД ларнинг чекланган сонига эга фазалаштирилган антенна панжаралари тизимлари (ёки, нурларни турғун тарзда шакллантириш);

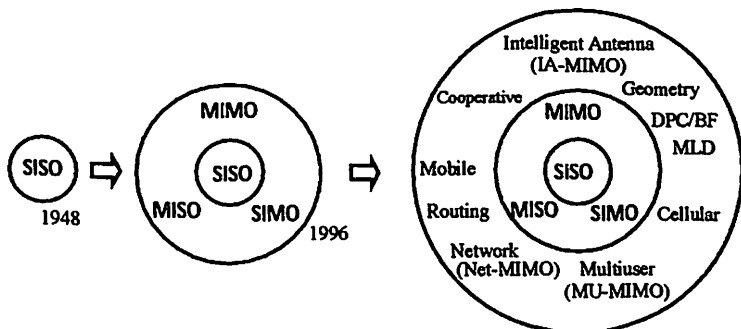
- Реал вақт режимида радиомухитнинг реал шароитларига мослаштирилган ЙД ларнинг чексиз сонига эга адаптив антенна тизимлари (ингл. *Adaptive Antenna System, AAS*) (ёки, нурларни адаптив (мослашувчан) тарзда шакллантириш).



3.29-расм. Нурларни турғун ва адаптив тарзда шакллантирилиши

Нурлар турғун тарзда шакллантирилганда DoA йўналиши ҳисобланади ва кўзгалмас сигнал нури ўрнатилади. Агар АУ бундай турғун нурлар орасида ҳаракатланса у ҳолда сигнал джиттери (фазавий ёки частотавий тасодифий оғишлар) алоқанинг узилишига олиб келиши мумкин. Бошқача қилиб айтганда АУ фақат нурнинг марказида жойлашганида сигналнинг максимал кучига эга бўлади. Нурларни адаптив шакллантиришда эса бундай муаммо вужудга келмайди, чунки бунда нурни антенна АУ нинг реал вақтдаги ҳаракатланишига созлайди. Кўриниб турибдики, бу режим нурларни турғун тарзда шакллантиришга қараганда мураккаброқ ва қимматроқ бўлади.

Бобнинг якунида шуни маълум қиламизки, ҳозирги кунда кўп элементли антенналар тизимлари (ингл. *Multi Antenna System, MAS*) ва AAS тизимлари жуда фаол равишда ривожланмоқда ва мураккабланимоқда. Шунинг учун улар алоҳида чуқур ва батафсил ўрганишга лойиқ (3.30-расм).



3.30-расм. Кўп сонли антенналар тизимларининг ривожланиши

3.4.3. Радиоинтерфейс функционалига талаблар

LTE радиоуланиш технологияси (E-UTRA) га қўйилган талаблар асосан юқори маълумот тезлигига ва қисқа жавоб кечикиш вақтига эга пакетли коммутация асосида ишлайдиган оптималлаштирилган радиоуланиш тизимини яратишдан иборат. Белгиланган хизматларга,

масалан, юқори аниқликдаги телевидение (HDTV), “талаб асосидаги кино” (ингл. *Movie on Demand*) ва IP-тармоқлари бўйича нутқ (VoIP) мисол бўлиши мумкин.

E-UTRA радиоинтерфейси функционалигига асосий талаблар юқорида 3.1-жадвалда келтирилган LTE тизимлар функционалигига қўйилган умумий талаблардан келиб чиқади, шунинг учун бу ерда E-UTRA нинг айрим характеристикаларини (HSPA технологияси билан таққосда) келтириш билан чекланамиз (3.4-жадвал).

3.4-жадвал

E-UTRA технологияси функционалигига айрим талаблар

Талаблар	3GPP 6 релизи (HSPA)	3GPP 8 релизи (LTE)
Маълумот узатишнинг энг юқори тезлиги	14Mbit/sec – «пастга»; 5,76Mbit/sec – «юқорига»	100Mbit/sec – «пастга»; 50Mbit/sec – «юқорига»
Спектрал самарадорлик (бит/сек/Гц/сектор)	0,6 - 0,8 – «пастга»; 0,35 – «юқорига »	3-4 марта кўп – «пастга»; 2-3 марта кўп – «юқорига»
Пакет учун ўртача ўтказиш қобилияти	64kbit/sec – «пастга»; 5kbit/sec – «юқорига »	3-4 марта кўп – «пастга»; 2-3 марта кўп – «юқорига»
Абонент учун ўртача ўтказиш қобилияти	900kbit/sec – «пастга»; 150kbit/sec – «юқорига»	3-4 марта кўп – «пастга»; 2-3 марта кўп – «юқорига»
Жавоб кечикиши вақти	50ms	5ms
Алоқани ўрнатиш вақти	2sek	50ms.
Кенг қамровли узатиш режимида маълумот узатиш тезлиги	384kbit/sec	6-8 марта юқори
Абонент мобиллиги	250km/soat гача	350km/soat гача
Кўп антеннали тизимларни қўллаб-қувватлаш	Йўқ	Бор
Канал кенглиги	5MGs	20MGs гача кенгайди

3.4.3.1. LTE тизимининг радиоинтерфейсини ташкил этилиши

LTE тизимлари функционалигига қўйилган талабларни ҳамда абонентлар харажатларини камайтириш ва уларга мўлжалланган хизматлар таркибини ва сифатини яхшилаш, шунингдек операторларнинг эксплуатацион сарфларини камайтириш бўйича талабларни ҳисобга олган ҳолда LTE тизими радиоинтерфейсини ташкил этишни асосий принциплари қуйидагилардан иборат:

- 1 бит ахборотни узатишга тақсимланган тармоқ эксплуатацияси қийматини тушириш;

- абонентлар талаб қилган хизматлар сонини кўпайтириш;
- мавжуд ва янги частота диапазонларидан фойдаланишни мослашувчанлигини ошириш;
- тармоқ архитектурасини соддалаштириш, тармоқ интерфейсларини унификациялаш ва ортиқча функцияларни қисқартириш;
- абонент ускуналари томондан батарея қувватини тежамлироқ ишлатиш.

Бу принципларни ишлатиш учун LTE тизим интерфейсида қатор истиқболли ечимлар, айнан OFDM ва ММО технологияларининг ишлатилиши, шунингдек, FDD ва TDD дуپлекслаш режимларидан фойдаланиш кўлланилган.

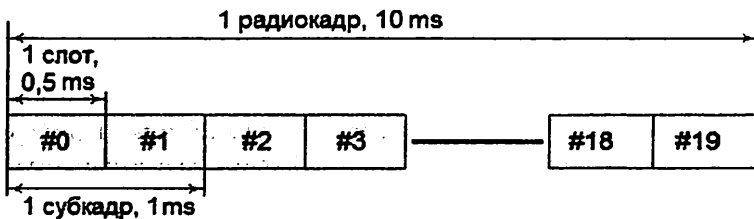
Юқорирок операцион мослашувчанликни таъминлаш учун, урвня E-UTRA физик даражасининг спецификациялари ўтказиш полосаларига мустахкам бириктирилмаган ва 20MGs ли максимал полосада ишлашга мўлжалланган.

LTE тизими радиоинтерфейсининг ташкил этилишини батафсилроқ кўриб чиқамиз.

eNB - таянч станция (ТС) ва абонент ускунаси (АУ) орасида алмашув жараёни даврий равишда такрорланадиган кадрлар (LTE терминологиясида “радиокадрлар”) асосида амалга ошади [31]. Радиокадрларнинг узунлиги 10мс ни ташкил этади. Ўз навбатида, радиокадрлар 0,5ms узунликдаги вақт кесимчалари – слот (ингл. *time slot* - вақт орлиғи, қисқартирилганда - слот) лардан ташкил топган. LTE спецификациясидаги барча вақт параметрлари $T_s = 1/(2048 \cdot \Delta f) = 0,32552\text{ms}$ минимал вақт бирлигига боғланган бўлиб, у Фурье тезкор ўзгартириш усули учун максимал мумкин бўлган нимэлтувчилар сонига (20MGs ли полосада 2048 та бўлади) ва LTE стандартида 15kGs қилиб ўрнатилган нимэлтувчи частоталар кенлиги (Δf) га боғлиқ бўлади. Радиокадрнинг узунлиги $307200T_s$ ни ташкил этишини ҳисоблаш кийин эмас. T_s - вақт бирлиги эса, ўз навбатида, 3G тизимларидаги (W-CDMA тизимларининг 5MGs ли каналарида) стандарт 3,84MGs такт частотасига қаррали бўлган 30,72MGs такт частотасига мос келади ($8 \cdot 3,84\text{MGs} = 30,72\text{MGs}$). Айнан шу такт частоталарининг қарралилиги LTE тармоқларининг UMTS ва GSM тармоқлари билан ўзаро “юмшоқ” ишлаш имконини беради.

LTE стандартида частотавий (FDD) ва вақтли (TDD) дуپлекслаш учун радиокадрларнинг ҳар хил турлари кўзда тутилган.

FDD учун радиокадр ҳам тўлиқ дуплекс, ҳам ярим дуплекс режимлари учун ишлатилиши мумкин. Бундай кадр 0 дан 19 гача рақамланган 20 та слотдан иборат. Иккита ёнма-ён турган слотлар субкадрни ташкил этади (3.31-расм).



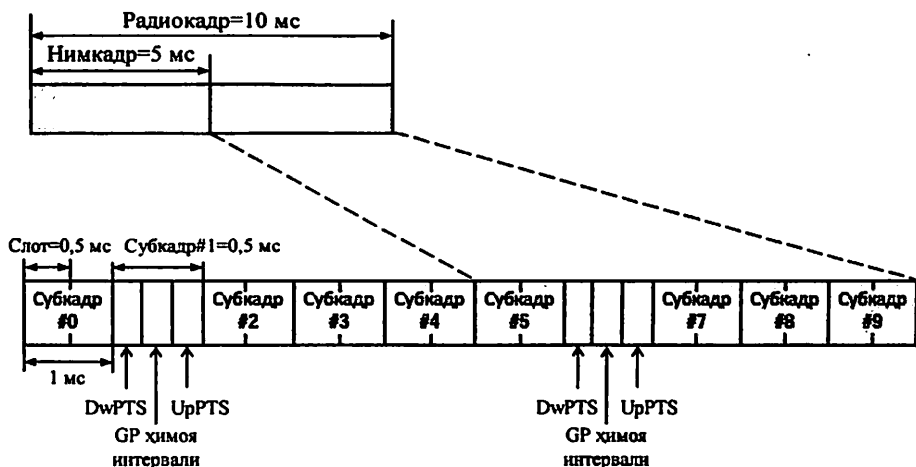
3.31-расм. LTE радиокадрнинг FDD режими учун тузилиши

Тўлиқ дуплексли режимда радиокадрлар “пастга” ва “юқорига” каналларда параллел равишда, лекин стандартда кўрсатилган вақт сурилиши билан узатилади. Бу режим трафик катта бўлган холларда қулайроқ ва самаралироқдир, аммо АУ да юқори сифатли (яъни, қиммат) дуплекс филтрлари бўлишини талаб қилади. Амалиётда АУ хар доим ҳам катта трафик билан ишламайди ва шунинг учун LTE стандартида ярим дуплексли режим ишлатилиши ҳам кўзда тутилган. Бундай режимда АУ бир вақтни ўзида ё узатади, ёки қабул қилади. Шу билан АУ нинг қурилмаси соддалашади (яъни, арзонлашади) ва тармоқнинг канал ресурслари самаралироқ ишлатилади.

TDD режими учун радиокадр 5ms ли иккита яримкадрдан иборат бўлиб, улардан ҳар бири 1ms ли 5 та субкадрларни ўз ичига олади. LTE стандарти вақтли дуплекслашнинг 5 ва 10 ms ли икки циклидан фойдаланишни кўзда тутди.

Биринчи ҳолда 1-чи ва 6-чи субкадрлар бир хил бўлиб, “пастга” ва “юқорига” йўналишларда каналларнинг хизмат майдонлари (мос равишда DwPTS ва UpPTS) дан ҳамда “пастга” йўналишдан “юқорига” йўналишга ўтишда каналлараро интерференцияни олдини олиш учун ишлатиладиган ҳимоя интервали - GP (ингл. *Guard Period*) дан иборат. Қолган субкадрлар трафикни узатиш учун ишлатилади. (3.32-расм).

TDD режимининг 10ms ли циклида радиокадрнинг тузилиши олдингисидан бир оз фарқ қилади. Бу ерда 0-чи ва 5-чи субкадрлар DwPTS майдони билан бирга доим “юқорига” каналга, 2-чи субкадр ва UpPTS майдони эса доим “пастга” каналга тегишли. Олтинчи субкадр “юқорига” каналда трафикни узатиш учун хизмат қилади. Қолган субкадрларни тақсимланиши 3.5-жадвалда келтирилган. DwPTS, UpPTS ва GP майдонларининг узунликларини бир неча вариантлари бўлиши мумкин, лекин уларнинг умумий йиғиндиси хар доим 1ms ли субкадрга тенг бўлади.



3.32-расм. LTE радиокадрнинг TDD режими учун тузилиши

3.5-жадвал

TDD учун радиокадрда субкадрларнинг тақсимланиши

Конфигурация номери	TDD цикли, ms	Субкадр номери									
		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

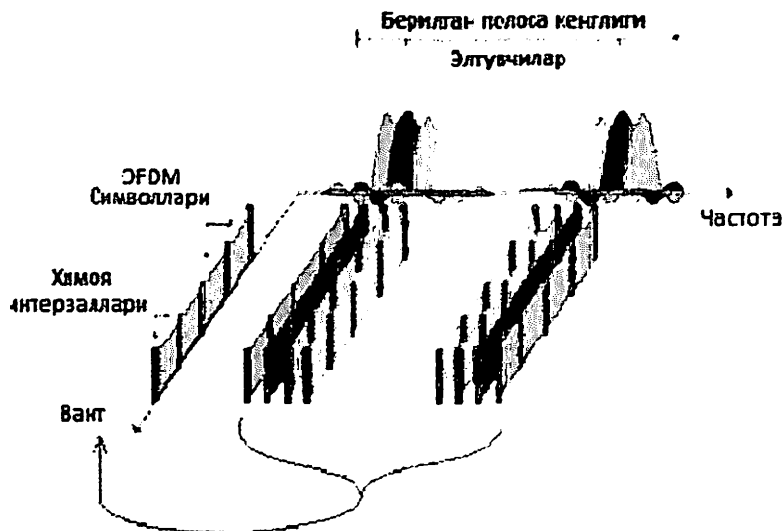
D - «паства» йўналишдаги канал, U - «юқорига» йўналишдаги канал, S - хизмат канали

Аввал айтилганидек, LTE тизимларида бошқа технологиялар (масалан, Wi-Fi ва WiMAX) да ўз афзалликларини кўрсатган OFDM кўплаб уланиш технологияси ишлатилади. OFDM технологияси частота бўйича маълум кенглик Δf да ва бир-бирларига нисбатан ортогонал жойлашган қисқа нимэлтувчиларни мустақил модуляциялаш воситасида кенг полосали сигналларни узатишни бажаради (3.4.1 параграфини кўринг). Кетма-кет маълумотларнинг оқимлари N параллел нимоқимларга бўлинади, сўнг уларнинг ҳар бирининг элтувчилари маълум бир QPSK, 16-QAM ёки 64-QAM модуляция усуллари билан кичик тезликларда модуляцияланади. Бунда бир OFDM-символ бир неча нимэлтувчилар воситасида узатилиши мумкин.

Вақт сатҳида OFDM-символлар маълумотлар майдони (фойдали ахборот) ни ташкил этади ва улар орасида олдинги символни охириги

фрагменти такрорий узатилиши тарзида циклик префикс - CP номини олган химоя интервали ишлатилади (3.33-расм).

CP нинг қўлланилиши сигналнинг кўп нурли тарқалиши натижасида қабул қилишда символлараро интерференцияга қарши курашишга қаратилган. Бу шундай бўлиб ўтадики, асосий сигнал (биринчи сигнал) га ушланиб келадиган аксланган сигнал циклик префикс майдонига тушади ва кейин асосий сигналга қўшилмайди.



3.33-расм. OFDM усулининг частотавий-вақтли кўриниши

Эслатиб ўтамизки, LTE да қабул қилинган нимэлтувчи $\Delta f = 15\text{ kGs}$ кенлиги $66,67\text{ mks}$ ли OFDM-символнинг узунлигига мос келади, бунда стандарт CP нинг минимал узунлиги $4,69\text{ mks}$ ни ташкил этади ва тўғри нур бўйича келган сигналдан $1,4\text{ km}$ гача ортиқ йўлни босиб ўтган ушланиб келган аксланган сигналларга қарши кураша олади (3.6-жадвал).

Шаҳар шароитида сотали алоқа тизимлари учун бу одатда, етарли бўлади. Аммо, агар оддий (стандарт) префикс етарли бўлмаса, у ҳолда 120 km радиусгача бўлган соталарда символлараро интерференцияни сўндира оладиган кенгайтирилган (узунлиги $16,67\text{ mks}$) циклик префикс ишлатилади. Бундай улкан соталар ҳар хил турдаги кўп сонли ва кенг қамровли мультимедиа сервислари - MBMS (ингл. *Multicast and Broadcast Multimedia Service*) каби узатишлар учун фойдали ҳисобланади. Хусусан, MBMS хизматлари учун (тушунарлики, фақат «пастга» йўналишда) нимэлтувчилар кенлиги $7,5\text{ kGs}$ (яъни, стандарт кенликдан икки марта кичик) ва циклик префикс узунлиги $33,34\text{ mks}$ бўлган ўзига хос слот тузилмаси кўзда тутилган. Бундай тузилмада слот таркибида фақат учта OFDM-символ қўлланади. Кенг қамровли узатиш сервисининг ўзига хос

ҳолати сифатида “бир частотали тармоқ асосида кўп сонли ва кенг қамровли узатиш - MBSFN (ингл. *Multicast and Broadcast Single Frequency Network*) режими ҳисобланади. Бу режимда бир неча таянч станциялар маълум бир территориял ҳудудда бир вақтни ўзида синхрон равишда барча АУ ларга умумий кенг қамровли сигнални узатади.

3.6-жадвал

LTE тизимидаги циклик префиксларнинг турлари

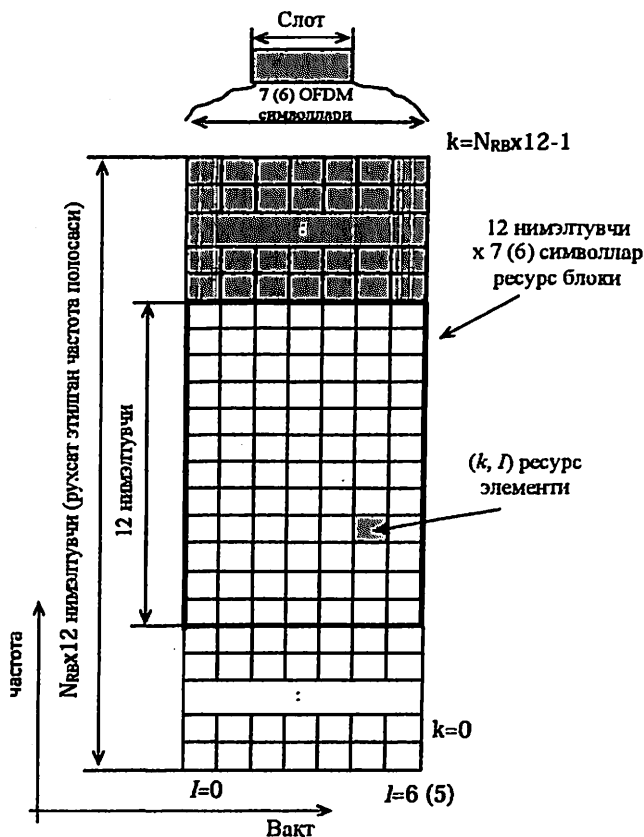
Префикснинг тури	Префикснинг узунлиги		OFDM-символининг узунлиги		Слотдаги OFDM-символлар сони
	T_s сони	mks	T_s сони	mks	
Стандарт (оддий) префикс:					7
Слотнинг биринчи символида	160	5,21	2048	66,67	
Слотнинг қолган олти символларида	144	4,69	2048	66,67	
Кенгайтирилган префикс	512	16,67	2048	66,67	6

Абонентлар орасида канал ресурсларини тақсимлаш частотавий-вақтли ажратиш асосида амалга оширилади. Ҳар бир АУ га ҳар бир слотда частотавий-вақтли сатҳда канал ресурсларининг маълум бир бўлаги тайинланади (3.34-расм).

Ресурс тўрининг элементар (энг кичик) бўлинмаси – бу частота сатҳида бир нимэлтувчи (15kGs) га ва вақт сатҳида бир OFDM–символ ва CP префиксни ўз ичига олувчи *ресурс элементидир*. Ресурс элементларидан иборат тўплам *физик ресурс блоки - PRB* (ингл. *Physical Resource Blok*) ни ташкил этади ва бу блок каналда минимал бўлинмайдиган ахборот бирлиги ҳисобланади. Яъни каналларнинг бўлиниши ресурс блоклари асосида бўлиб ўтади. PRB блоки частота сатҳида 12 та нимэлтувчилар (қўшилганда 180kGs) дан ва вақт сатҳида CP нинг узунлигига қараб бир слот чегарасида етти ёки олтига OFDM–символдан иборат бўлади (3.6-жадвал). Лекин иккала ҳолда ҳам слотнинг умумий узунлиги 0,5mks ни ташкил этиши керак. Ресурс тўридаги ресурс блокларининг сони канал полосасининг кенглигига боғлиқ ва 6 тадан (1,4MGs лик полосада) 100 тагачани (20MGs лик полосада) ташкил этиши мумкин.

Ҳар бир нимэлтувчи 4-, 16- ёки 64- позициялик квадратура-фазавий ёки квадратура-амплитудавий модуляция (QPSK, 16-QAM, ёки 64-QAM) усуллари орқали модуляцияланади. Мос равишда бир нимэлтувчидаги бир

символ 2, 4 ёки 6 бит лик ахборотларни модуляциялаши мумкин. Стандарт (оддий) СР ишлатилганда символ тезлиги 14000 символ/сек. ни ташкил этади, бу бир нимэлтувчига 28 дан 84 kbit/sek. гача тезликга эришиш имконини беради. Мисол учун, 20MGs лик полосада 100 ресурс блоклари ёки 1200 нимэлтувчи ишлатилади, бу каналда 33,6 дан 100,8 Mbit/sek гача умумий тезликни таъминлайди.



3.34-расм. LTE тизимидаги ресурс тўри

Аввал таъкидланганидек, E-UTRA тармоғида «пастрга» ва «юқорига» каналларнинг кенглиги учун бир неча турғун қийматлар ишлатилиши кўзда тутилган (3.7-жадвал). OFDM технологиясидан фойдаланиш учун тўғри ва тескари Фурье тезкор ўзгартиришларининг яхши ўрганилган алгоритмлари (ФТЎ ва ТФТЎ) ишлатилади. Бу алгоритмлар нимэлтувчилар сони иккиннинг даражасига кўррали бўлганида (яъни, $N=2^m$) самаралироқ ҳисобланади.

LTE тизимидаги физик каналлар параметрлари

Канал кенглиги, MGs	1,4	3	5	10	15	20
Ресурс блоклар сони	6	15	25	50	75	100
Нимэлтувчилар сони	72	180	300	600	900	1200
ФТЎ учун номинал элтувчилар сони	128	256	512	1024	1536	2048
ФТЎ учун такт частотаси, MGs	1,92	3,84	7,68	15,36	23,04	30,72

3.4.3.2. «Юқорига» алоқа каналини ташкил этиши

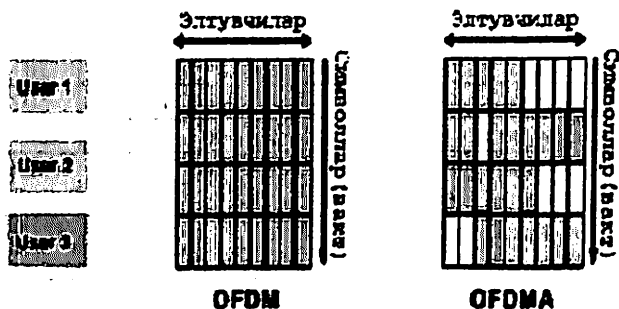
Юқорида қайд қилинганидек, E-UTRA тармоқлари «пастга» алоқа каналларида OFDM технологиясини танланди. У мураккаб бўлмаган қабул қилгичлардан фойдаланган ҳолда, бир неча нимэлтувчиларга эга бўлган комплекс радиоканаллар билан самарали ишлашга имкон беради. Ўзининг частоталарни ажратиш табиати туфайли OFDM технологияси тармоқ инфратузилмасини мураккаблаштирмаган ҳолда турли ўтказиш полосаларида ишлашга имкон беради. OFDM мультиплекслашидан фойдаланиб, MIMO антенна технологияларини ҳам қулай ишлатиш мумкин: маълумотларнинг тузилмавий оқимини антенна оқимларига осон бўлиш мумкин. OFDM технологияси частотавий режалаштиришни ҳам частоталарни танлаш, ҳам частоталарни тарқатиш асосида амалга оширишни имконини беради ва бу сота даражасида мавжуд ўтказиш полосасини қайта ишлатишга имкон беради. Бундан ташқари, OFDM технологияси бир частотали синхронлаштирилган тармоқ механизми - MBSFN дан фойдаланган ҳолда, мос узунликдаги CP лар билан кенг қамровли узатиш хизматларини амалга ошириш имконини ҳам беради.

Бундай механизм турли соталарнинг кенг қамровли узатиш сигналларини радиоэфирда бирлаштириш орқали қабулдаги сигнал қувватини ва кенг қамровли узатиш хизматларига мос бўлган маълумот узатиш тезлигини сезиларли ошириш имконини беради.

CP нинг икки хил узунлигидан калтасини индивидиуал узатишлар учун ва узунини катта соталарда ишлатиш учун ёки MBSFN кенг қамровли узатишлар учун фойдаланган ҳолда нимэлтувчилар вақт бўйича мультиплексланиши мумкин. Бунда бутун ўтказиш полосасида символнинг фойдали узунлиги ўзгармас қолади, нимэлтувчининг 15kGs кенглиги 64-QAM модуляцияси ишлатилганда (2,6GGs лик полосада ҳаракат тезлиги 250km/soat бўлганда) фазалар шовқини ва Доплер эффекти туфайли йўқотишлардан қочиш учун етарлича кенг бўлади.

«Пастга» ва «юқорига» каналларда OFDM технологиясининг қўлланилиши турлича. «Пастга» каналда бу технология фақат сигнални узатиш, яъни ахборот оқимларини мультиплекслаш (бевосита OFDM) учун

эмас, балки кўп сонли уланиш, яъни абонент каналларини мультитплекслаш (OFDMA) учун ҳам ишлатилади. (3.35-расм).



3.35-расм. OFDM ва OFDMA принциплари

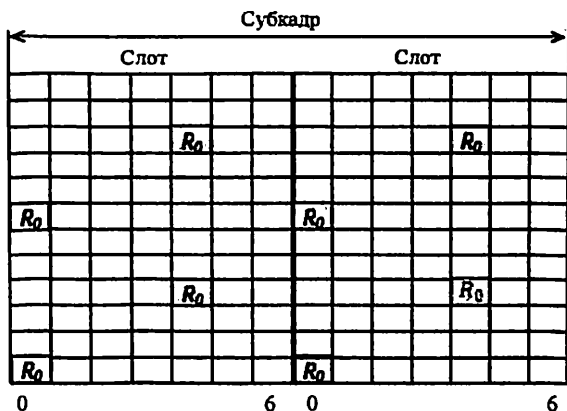
Бунда юқорида баён этилган PRB блокидан ташқари, *манتيқий ресурс блоку* – LRB (ингл. *Logical Resource Block*) тушунчаси киритилади. Ресурс элементларининг сони бўйича PRB ва LRB блоклари баробар бўлади, лекин физик ресурс блокнинг элементларини манتيқий блокка тақсимланиши икки вариантда: яъни бирга-бир ёки тақсимланган тарзда бўлиши мумкин. Иккинчи ҳолда манتيқий ресурс блоку элементлари бутун рухсат этилган ресурс тўри бўйлаб тақсимланиши мумкин.

Бошқа пакетли тармоқлардан фарқли равишда LTE тизимида физик даражада каналларни синхронлаштириш ва элтувчининг силжишини баҳолаш учун ишлатиладиган преамбулалар йўқ. Бунинг ўрнига ҳар бир ресурс блокига махсус таянч ва синхронлаштириш белгилари қўшилади. Таянч белгилари - RS (ингл. *Referense symbol*) уч турга бўлиниши мумкин:

- сотани ифодалайдиган RS (ингл. *Cell spesific*);
- аниқ бир АУга боғланган RS ва
- MBSFN кенг қамровли узатиш хизматиға мўлжалланган RS.

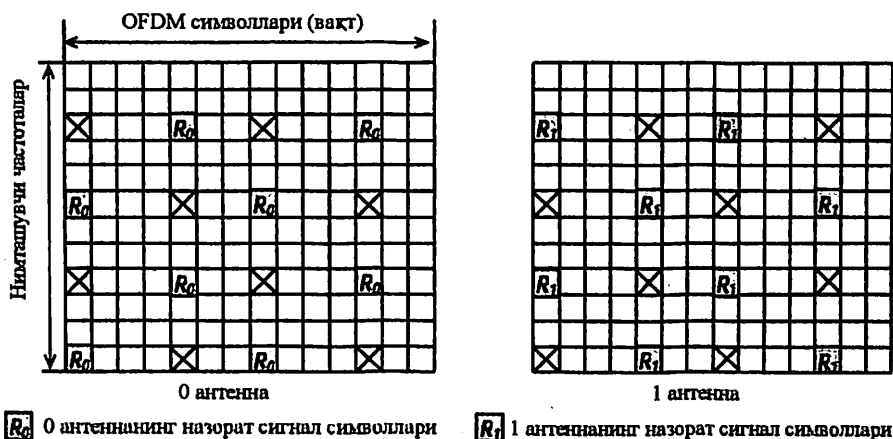
Таянч белгилари узатиш каналидаги шароит - CQI ни бевосита аниқлаш учун хизмат қилади. Бу ўлчамлар асосида қолган нимэлтувчилар учун каналнинг жавобини аниқлаш ва интерполяция ёрдамида уларнинг дастлабки шаклини қайта тиклаш мумкин. 3.36-расмда «пастга» йўналишда таянч белги (R_0) лик ва стандарт префикслик сигналнинг тузилмаси келтирилган.

Таянч белгилари ҳар бир субкадрнинг 0-чи (1-чи RS) ва 4-чи (2-чи RS) OFDM-символида жойлашади. Лекин 2-чи RS ни ишлатмаган ҳолда ҳам алоқа тақшил қилиш мумкин ва шунинг учун OFDM-символлар орасида микро кутиш вақти киритилган. Масалан FDD режимида паст ва ўртача алоқа тезликларида 2-чи RS ни узатмаслик ҳисобига трафик юкласини камайтириш мумкин. Кенгайтирилган CP да RS таянч белгилари 0-чи ва 3-чи OFDM-символлар вақтида узатилади. Частота соҳасида эса таянч белгилари ҳар олтига нимэлтувчидан сўнг узатилади.



3.36-расм. Стандарт CP учун «пастга» йўналишдаги сигналнинг тузилмаси

MIMO технологияси қўлланилганда вақт ва частота бўйича сурилган таянч белгилари ҳар бир антенна орқали алоҳида узатилади (3.37-расм). Бунда ҳар бир антенна бошқа антенналар ўзларининг RS ларини узатадиган частотаси ва вақтида ҳеч қандай сигнал узатмайди. Бир неча антенналарга ортогонал равишда сигналларни тақсимлаш учун бир сотанинг турли узатиш антенналарида FDM - частотавий мультимплекслаш ва турли соталар антенналари учун CDM - кодли мультимплекслашдан фойдаланилади.



R_0 0 антеннанинг назорат сигнал символлари R_1 1 антеннанинг назорат сигнал символлари

\otimes Ишлатилмайдиган элементлар

*Бу ерда таянч белгилари назорат сигнал символлари деб келтирилган.

3.37-расм. MIMO технологияси қўлланилганда стандарт CP учун «пастга» йўналишдаги сигналнинг тузилмаси

«Пастга» каналда таянч белгиларидан ташқари, соталарни идентификациялаш ва синхронлаштириш учун хизмат қиладиган синхронлаштириш белгилари ҳам узатилади.

LTE тизимида «пастга» каналда сигнални шакллантириш ахборотларни рақамли узатувчи замонавий тизимлардагидан кўп фарқланмайди (3.38-расм). Жараён канал кодлаши, скрембллаш, модуляцион символларни шакллантириш, уларни антенна портлари ва ресурс элементлар бўйича тақсимлаш ва OFDM-символларни яратиш каби жараёнларни ўз ичига олади. Канал кодлаши MAC-даражасидан келадиган маълумот блоклари учун назорат суммаларини (CRC-24) ҳисоблашни кўзда тутди. Бундан сўнг назорат суммалик блоklar кодер воситасида 1/3 тезликда кодланади. LTE да қисқартиришли кодлаш ёки турбо-кодлаш қўлланилиши кўзда тутилган. Кодлашдан сўнг оқим аралаштириш (рус. *перемежение*) жараёнидан ўтиб скремблерга тушади ва у ерда скрембллаш муолажасидан ўтади. Кейин комплексли модуляция символлари шаклланиб (QPSK, 16-QAM ва 64-QAM), улар ресурс элементлари бўйича тақсимланади. Бундан кейин, OFDM-символлари яратилади ва уларнинг кетма-кетлиги берилган частота диапазонидида чикувчи ЮЧ-сигнални шаклловчи модуляторга юборилади. Қабул қилгич томонида бу жараёнларни барчаси тескари тартибда бажарилади.

Юқорида (3.3.3 параграф) баён этилганидек, E-UTRAN радиоуланиш тармоғида "пастга" йўналиши учун 4-та транспорт канали аниқланган:

- BCH (ингл. *Broadcast Channel*) - кенг-қамровли узатиш канали;
- PCH (ингл. *Paging Channel*) - чақирув «пейджинг» канали;
- DL-SCH (ингл. *Downlink Shared Channel*) - "пастга"

йўналишнинг умумий канали;

- MCH (ингл. *Multicast Channel*) - гуруҳли узатиш канали;

Физик даражада "пастга" йўналишда учта физик канал ишлатилади:

- PDSCH (ингл. *Physical Downlink Shared Channel*) - "пастга"

йўналишнинг умумий физик канали;

- PDCCH (ингл. *Physical Downlink Control Channel*) - "пастга"

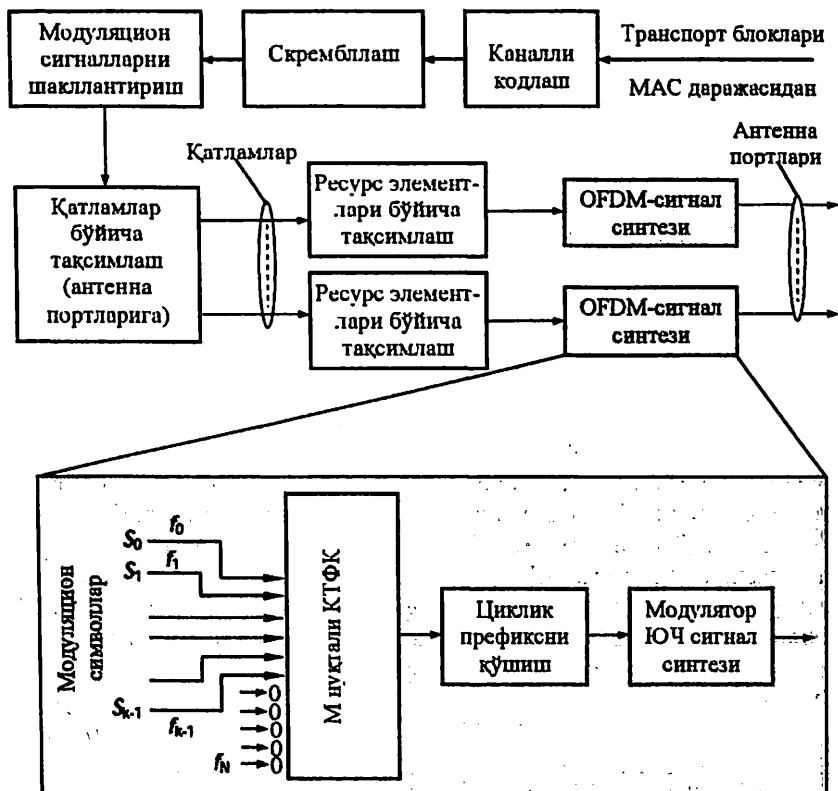
йўналишнинг бошқарув физик канали;

- CCPCCH (ингл. *Common Control Physical Channel*) - умумий

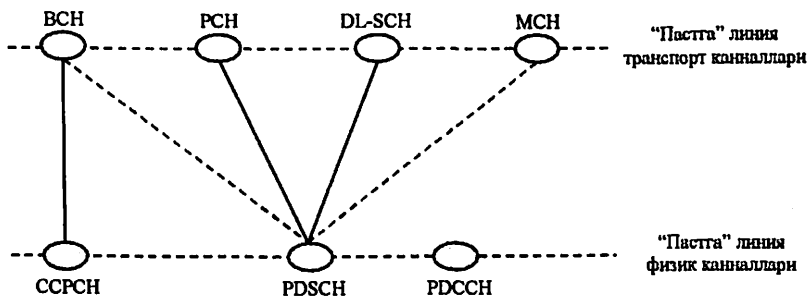
бошқарув физик канали.

PDSCH канали юқори тезликда мультимедиа ва маълумотларни узатиш учун мўлжалланган. Бу каналда QPSK, 16-QAM, 64-QAM модуляция турлари ва сигналларни фазовий мультимуплекслашдан фойдаланилади. PDCCH канали АУ лар учун махсус бошқарув ахборотларини узатади ва фақат QPSK модуляциясидан фойдаланади. Бу канал ҳар бир субкадрнинг биринчи слотидаги биринчи учта OFDM-символларини эгаллайди. CCPCCH канали эса кенг қамровли узатиш бўйича хизмат ахборотларини узатади ва шунингдек фақат QPSK модуляциясидан фойдаланади.

- E-UTRAN тармоғидаги “пастга” каналда транспорт ва физик каналларнинг ўзаро тақсимланиши 3.39-расмда тасвирланган.



3.38-расм. “Пастга” каналда сигналнинг шаклланиш схемаси



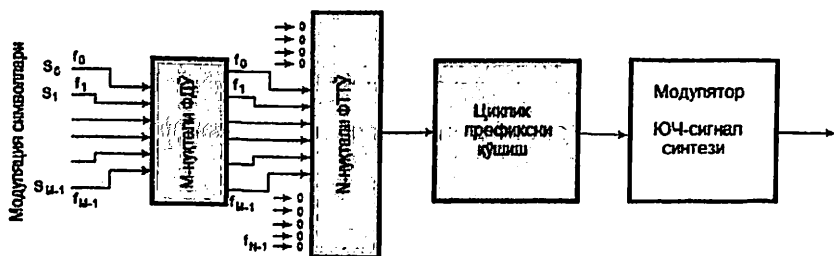
3.39-расм. E-UTRAN тармоғида “пастга” йўналишда транспорт каналларини физик каналларига тақсимланиши

3.4.3.3. «Юқорига» йўналишдаги канални ташкил этилиши

Нимэлтувчиларни ортогонал тартибда бўлиш ва циклик префикслардан фойдаланиш ҳисобига радиоканал параметрларининг вақт бўйича дисперсияга нисбатан бардошлигига эришилади. Шу туфайли OFDM қўлланиладиган тизимларда қабул қилиш томонида мураккаб эквайлазерларга зарурат қолмайди. Бу эса катта афзаллик деб ҳисобланади, чунки қабул қилгичда сигнални қайта ишлаш жараёни соддалашади ва мос равишда абонент ускунасининг нархи ва энергия истеъмоли камаяди.

«Юқорига» каналда АУ нинг рухсат этиладиган нурланиш қуввати чеклангани сабабли авхборот узатишнинг энергетик самарадорлигини ошириш, АУ нинг нарҳини ва энергия истеъмолини камайтириш кабилар биринчи даражали масалалар бўлиб қолади. Шу муносабат билан LTE тизимида «юқорига» йўналиши учун сигнални қайта ишлашнинг янги - SC-FDMA (ингл. *Single-Carrier Frequency Division Multiple Access* - бир элтувчи асосида каналларни частотавий ажратиш билан кўп сонли уланиш) технологияси таклиф этилган.

SC-FDMA технологияси OFDM технологияси билан кўплаб ўхшашликларга эга бўлиб, улардан асосийси шундаки, «пастга» йўналишда частотавий ортогоналлик сота ичидаги абонентлар орасида ташкил қилинган ва бу сота ичидаги интерференция ҳажмини бошқаришга имкон беради. Шунингдек, SC-FDMA кучайтиргич қувватини тушишини камайтиради ва бу билан АУ нинг аккумуляторининг хизмат муддатини чўзишга ва алоқа узоклигини оширишга имкон беради. SC-FDMA технологиясида сигнални қайта ишлашни асосини тақсимланган OFDM-символларини дискретли Фурье тезкор ўзгартириш усули ташкил этади (3.40-расм).



3.40-расм. E-UTRAN тармоғидаги «юқорига» йўналишда узатишда SC-FDMA технологияси ёрдамида сигнални қайта ишлаш схемаси

SC-FDMA технологиясининг OFDM технологиясидан фарқи символларни нимэлтувчиларга тақсимлаш жараёнида M -символларни танланадиган M -нимэлтувчиларга тақсимлайдиган ФТҰ механизми асосида ишлайдиган M -массиви учун қўлланилиши ҳисобланади (3.40-расмда кўрсатилганидек). Танланадиган нимэлтувчилар кучайтиргич қувватини кам тушириш мақсадида ёки кетма-кет, ё бир текис тақсимланган бўлишлари керак. Бунда сигнал бир элтувчи сифатида

қаралади, чунки M -массивининг бошланғич ФТЎ ўзгартирилиши вақт бўйича ажратилган ва бир ташувчилик сигнални дастлабки ҳолатига қайтарадиган катта N -массивининг тескари ТФТЎ ўзгартирилиши билан нейтралланади. Қабул қилгич томонида оддий частотавий қайта ишлашдан фойдаланиш мумкин.

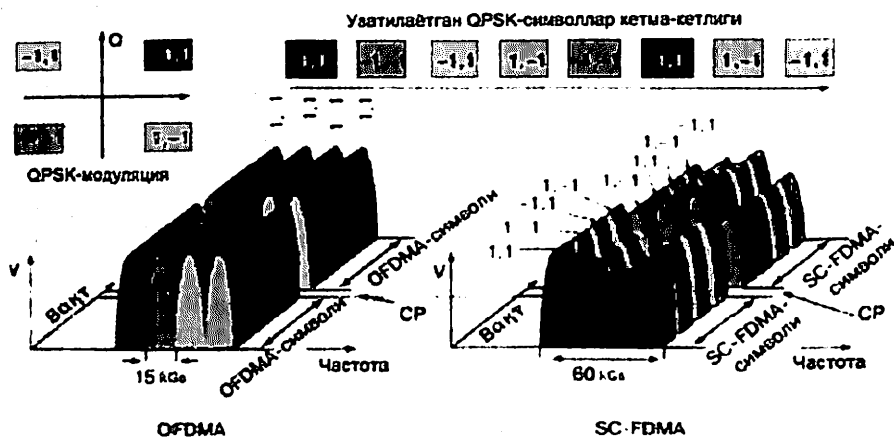
SC-FDMA сигналининг бевосита шаклланиш жараёни қуйидаги тарзда амалга ошади. Канал кодлаши, скрембллаш ва модуляцияон символлар шаклланигандан сўнг бу символлар M -символлар блоклариға гурухланади (SC-FDMA суб-символлари). Бу суб-символларни $15kGs$ лик нимэлтувчиларға жойлаштириб бўлмайди, чунки улар энди кенгроқ бўлиб қолишди ва N -марта кенгроқ частота талаб қилинади (бу ерда N - узатиш учун яроқли нимэлтувчилар сони). Шунинг учун M модуляцияон символлардан иборат гурухларни шакллантириб (бунда $M < N$), уларни M -нуқтали Фурье дискрет ўзгартириш жараёнидан ўтказилади, яъни аналог сигнали яратилади. Сўнг N -нуқтали тескари Фурье тезкор ўзгартириш механизми ёрдамида ҳар бир элтувчини мустақил модуляцияға мос сигнал синтезланади, циклик префикс қўшилади ва чикувчи ЮЧ-сигнал генерация қилинади.

ТФЎ алгоритмидан сигнални ўзгартириш механизми сифатида фойдаланишнинг афзаллиги яна шундаки, у туфайли “юқорига” йўналишдаги SC-FDMA сигналининг миқдорий характеристикалари спектрни жуда яхши тўлдирган ҳолда “пастга” йўналишдаги OFDMA сигналнинг характеристикаларига мос келади. “Юқорига” каналнинг ресурс тўри “пастга” каналнинг тўриға тўлиқ мос бўлади: бунда ҳар бир PRB физик ресурс блоки частота сатҳида $15 kGs$ кенгликдаги 12 нимэлтувчиларға ва вақт сатҳида $0,5 ms$ лик 1 слотға эға бўлади. Ресурс блокнинг узунлиги стандарт CP циклик префикс ишлатилганда 7 OFDM-символға, кенгайтирилган CP да эса - 6 символға тенг бцлади. SC-FDMA символининг узунлиги (CP префиксисиз) OFDMA символининг узунлигига тенг бўлиб, $66,67\mu ks$ ни ташкил этади. Қисқа ва узун CP префиксларини узунликлари ҳам бир бириға тенг. Ресурс тўрида 6 дан 100 гача ресурс блоклари бўлиши мумкин, лекин уларнинг сони 2, 3 ёки 5 сонларға қаррали бўлиши керак, чунки бу Фурье дискрет қайта ўзгартириш жараёни билан боғлиқ. SC-FDMA нинг яна бир хусусияти шундан иборатки, АУ да 64-QAM модуляциясини қўллаб-қувватланиши “оционал” (яъни мажбурий эмас) ва ишлаб чиқарувчиларнинг ўз ихтиёриға қолдирилган.

OFDMA да ҳар бир нимэлтувчида бир вақтни ўзида уни модуляцияон симболи узатилади. SC-FDMA да эса нимэлтувчилар бир вақтни ўзида ва бир хил модуляцияланади, лекин модуляцияон символлар вақт бўйича қисқароқ бўлади. Яъни OFDMA да символлар параллел равишда, SC-FDMA да эса кетма-кет равишда узатилади. (3.41 - расм).

Бундай ечим оддий OFDM модуляциялашни ишлатишға нисбатан максимал қувватни ўртача қувватға бўлган нисбатини камайтиради ва бунинг натижасида АУ ларнинг энергетик самарадорлиги ошади ва

уларнинг конструкцияси соддалашади (яъни, узаткичларнинг техник параметрларини аниқлигига талаблар сезиларли камаяди).



3.41 расм. QPSK – символлар кетма-кет узатилишида OFDMA ва SC-FDMA орасидаги фарқ

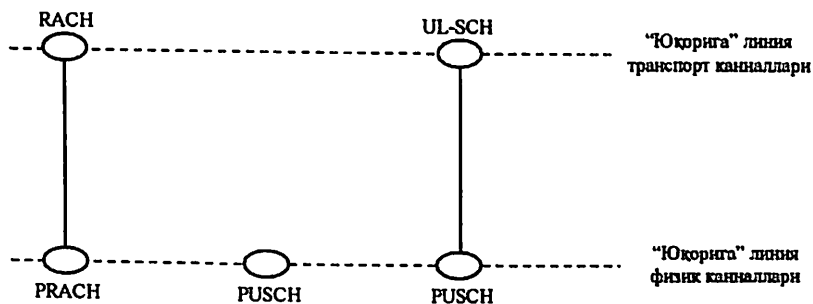
E-UTRAN тармоғида «юқорига» йўналиши учун қуйидаги икки транспорт каналлари ажратилган. (3.3.3.- бўлимга қаранг).

- RACH (ингл. *Random Access Channel*) - камдан-кам уланиш канали;
- UL-SCH (ингл. *Uplink Shared Channel*) - «юқорига» йўналишдаги умумий канал.

«Юқорига» йўналишнинг физик даражасида учта физик каналлари ажратилган:

- PRACH (ингл. *Physical Random Access Channel*) - камдан-кам уланиш физик канали;
- PUCCH (ингл. *Physical Uplink Control Channel*) - «юқорига» йўналишдаги бошқарув физик канали;
- PUSCH (ингл. *Physical Uplink Shared Channel*) - «юқорига» йўналишдаги умумий физик канали.

Транспорт ва физик каналларининг бир-бирига тақсимланиши 3.42-расмда тасвирланган.



3.42-расм. E-UTRAN тармоғида «юқорига» йўналишдаги транспорт ва физик каналларининг ўзаро тақсимланиши

3.5. LTE тизимлари учун радиочастота спектри

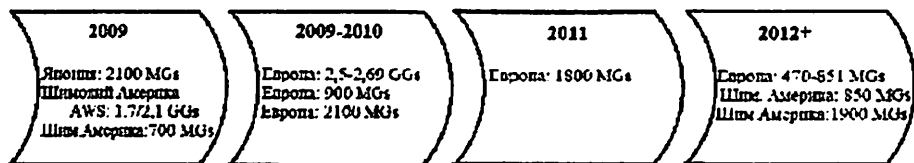
3.5.1. Масаланинг долзарблиги

Радиочастота спектри (РЧС) ҳар бир давлатнинг қимматбаҳо ва чеklangан ресурс(маблағ)и ҳисобланади ва ҳозирги кунда ундан фойдаланишга талаб борган сари ортиб бормоқда. Бунга симсиз алоқа тизимлари хизматларининг яхшиланган шаклда кенг тарқалиши ва оммавийлигининг ортиши, хизматлар ва ускуналар ҳаражатларининг қисқариши ва фойдаланишдаги қулайлиги ёрдам бермоқда. Бунинг эвазига мавжуд ва янги симсиз кенг полосали тармоқлар мавжуд радиочастоталар ресурсларини тезда ўзлаштириб олиб, янги частоталарга мухтож бўлишлари кутилмоқда.

Сўнгги йилларда симсиз алоқа саноати товушли алоқа ва маълумот узатиш хизматларига фойдаланувчилар талабларининг кескин ортишини бошидан кечирмоқда. Тез ўсаётган мобил алоқа абонентлари сони ва хизматлардан фойдаланиш ҳажмининг ортиши туфайли операторлар илғор технологияларни жорий этиш, юқори сифатли мавжуд алоқа хизматларини ва маълумот узатишнинг инновацион хизматларини тақдим этиш ҳисобига ўз тармоқларини такомиллаштиришга мажбур бўлмоқдалар. Одатда радиочастота спектрини бошқариш масаласи жуда мураккаб ҳисобланади. Аммо сўнгги йилларда юзага келган аънананинг ўзгариши кузатилмоқда ва РЧС ни бошқариш жараёни технологияларга боғлиқ бўлмаган ҳолда мослашувчанроқ бўлиб бормоқда ва охир-оқибатда операторларга бозор талабларини яхшироқ қондиришга имкон бермоқда. Алоқа операторлари ва ускуна етказиб берувчилар инновацион ечимларни, шу жумладан, қўлланадиган радиочастота спектрининг самарадорлигини яхшилайдиган таклифларни илгари сурмоқдалар. Лекин бунда янги симсиз алоқа технологиялари (WiMAX кабилар) пайдо бўлмоқда ва улар ҳам спектр ажратилишига даъвогарлик қилиб, жаҳоннинг барча минтақаларида радиочастота тақсимлаш масаласини янада кескинлаштирмоқда.

3.5.2. LTE тизимлари учун потенциал спектр

Юқорида баён этилганидек, 3GPP лойиҳаси томонидан LTE стандартини ишлаб чиқиш масалалари асосан 2008 йилда якунланган ва биринчи LTE тижорат тармоқлари 2009 йилнинг охири ва 2010 йилнинг бошларида қурила бошлаган. 3.43-расмда дунёнинг турли минтақаларида LTE тармоқларини қуриш учун кўзда тутилган частоталар полосаси келтирилган. Бироқ бу сўнгги тақсимлаш эмас ва келажакда баъзи ўзгартиришлар эҳтимоли ҳам бор.



3.43-расм. LTE тармоқларини қуриш учун эҳтимолий частота полосалари

Куйидаги параграфларда мазкур частоталар полосаларининг ҳолатларини минтақавий кесимда диапазонлар бўйича атрофлича кўриб чиқилган.

3.5.2.1. 700 MGs диапазони

700MGs диапазони деганда анча кенг 470MGs...862MGs частоталар полосаси тушунилади. Бу ном мантиқли кўринмаса-да, лекин у узок вақт телевидение ва радиоэшиттириш учун ишлатилганлиги сабабли шундай қабул қилиниб қолган.

Телевидение ва радиоэшиттириш эҳтиёжлари учун спектрни тақсимлашга бағишланган биринчи конференция 1961 йилда Стокгольм (Швеция) шаҳрида ўтказилган. Унда, бир томондан, аҳоли учун сифатли телевидение ва радио сигналларини тақдим этадиган, иккинчи томондан, алоҳида давлатлар ва минтақаларда ушбу хизматларини қулай ва самарали ташкил этишга ҳалақит бермайдиган узаткич қувватлари ва частоталар аниқлаб берилди. Стокгольм битими (ундан кейингилари каби) иштирокчи давлатларга спектрдан ўз хоҳишларига кўра фойдаланиш имконини (кўшни давлатларга ҳалақит бермаган ҳолда) тақдим этди. У пайт телевидение барча давлатларнинг қизиқиш марказида эди. Шундай қилиб, Стокгольмда миллий телеузатиш хизматлари учун ДМТ (UHF) диапазони, жумладан, 470 MGs ...862 MGs частоталар полосаси танланди.

Ушбу диапазон кўплаб афзалликларга эга. Биринчидан, бу частотадаги радиотўлқинлар тўсиқларни бир оз оғиши мумкин (дифракция ҳисобига) ва, натижада, бинолар ичида ҳам тарқайди. Бунда сигнални қабул қилиш учун узаткич тўғри кўринишда (ингл. *Line of Sight - LoS*) бўлиши шарт эмас. Иккинчидан, бу частоталар фазода яхши тарқалади ва шунинг учун сигнал кенг ҳудудда қабул қилинади. Шунга мувофиқ ҳолда

узаткичлар миқдорининг кам бўлиши капитал харажатларни тежашга олиб келади. Шунингдек, қабул қилиш антенналарининг жуда ихчам (дециметр ўлчамларда) бўлиши уларни уй шароитларида ишлатиш мумкинлигини ҳам таъминлайди.

Ҳозирги вақтда Европада, шунингдек дунёнинг қолган катта қисмида мазкур диапазонда аналог телевидениядан рақамли телевидениёга ўтиш ҳисобига “рақамли дивиденд” номини олган РЧС нинг қисми бўшатилишига катта умид билдиришмоқда. Бу, мутахассисларнинг фикрича, ДМТ диапазонида кенг полосали симсиз тармоқларни ривожлантириш учун талай радиочастота ресурсини (назарий жиҳатдан 300MGs гача) олиш имконини беради. Бунда ушбу диапазонда частоталарни тақсимлаш “глобал роуминг” хизматларини асосларини яратиш мақсадида ва РЧС ни жаҳон миқёсида (имкон қадар максимал ҳолатда) гармонизациялаш талабларини ҳисобга олган ҳолда амалга оширилиши кўзда тутилган.

“Рақамли дивиденднинг” маъноси шундаки, ўтган асрнинг 90-йилларида OFDM технологиясининг ўзлаштирилиши ва унинг асосида рақамли телевидениенинг янги DVB стандартларининг ишлаб чиқилиши билан ўша маълум бир телесигнални камроқ қувватли узаткичлар ва кичик частоталар полосасини қўллаш воситасида узатиш мумкин бўлиб қолди. OFDM технологияси сигнални самарали кодлашни, шунингдек, шаҳар шароитида оддий телеузатиш учун қайта аксланиш шароитларида сигнални сифатлироқ узатилишини таъминлади. Натижада, агар 1990-йилларда бир аналог телеканал ўрнига тўртта рақамли телеканаллар ҳақида гапирилган (яъни, бир ажратилган частота полосасида 4 мультиплекс) бўлса, у ҳолда ҳозир энди битта мультиплексда тўртта HDTV каналлари ҳақида гапирилмоқда. Шундай қилиб, ҳар бир телеканал рақамли узатишга ўтганида энг ками аввал ажратилган частоталарнинг 3/4 полосаси бўшайди ва умумий миқдорда ДМТ дапазони халқаро тақсимлашда 294MGs гачани ташкил этиши мумкин. Бу, албатта, жуда юқори баҳога эга бўлган улкан частота диапазони ҳисобланади³⁶.

Албатта, бу ўринда бўшатиш частоталарни қай тарзда тўғри тақсимлаш масаласи ўртага қўйилади. Бу масала оддий эмас, чунки бу полосаларга даъвогарлар кўп: биринчидан, янги телеканалларни, HDTV ни ишга тушириш ва портатив ускуналарда қабул қилиш учун мобил ТВ ни тақдим этиш мумкин бўлган телеузатиш хизматлари, иккинчидан, кам аҳолилик ҳудудларни кенг қамраб олиш учун улар ишлатиши мумкин бўлган, масалан, 3G, 4G каби мобил тармоқлар ва бошқа кенг полосали симсиз уланишли алоқа учун бу частоталарнинг жуда истиқболли эканлиги ва, ниҳоят, мазкур частоталар оператив радиоалоқани ташкиллаштиришда давлат хизматлари учун ҳам манфаатлидир.

³⁶ Масалан, АҚШ да 2007йилда шу диапазондаги 62MGs лик полоса аукционга қўйилиб, давлат газнасига 19,6 млрд. АҚШ долларлик даромад келтирган.

Частотани қайта тақсимлаш масаласи 2006 йилда Женева (Швецария) шаҳрида Минтақавий радиоалоқа конференциясида ҳал этилди. Конференцияда телевидениени “рақамлаштириш” натижасида бўшатишган частоталар, аввало, телевидение учун ишлатилиши кераклиги ҳақида қарор қабул қилинди ва ҳар бир давлат бу частота тўлқинларини кўшни давлатларга ҳалал бермасдан эркин ишлатиши кераклиги таъкидланди. Амалда шундай бўлдики, қарор қабул қилинган бўлса-да, унинг амалда қўлланиши 2015 йилгача, яъни кўпчилик Европа давлатлари рақамли телевидениега тўлиқ ўтгунга қадар қолдирилди.

Бошқа хизматлар томонидан бўшатишган телевизион спектрдан фойдаланишнинг техник деталларини ишлаб чиқиш масалалари 2007 йилда навбатдаги Бутунжаҳон радиоалоқа конференцияси (БРК) да муҳокама этилган. 4-авлод мобил алоқа хизматлари ҳам ДМТ диапазонига фаол даъвогарлик қилган. Аввал таъкидлаб ўтилганидек, бу хизматлар ИМТ-2000 ва ИМТ Advanced дастурларини ўз ичига олган ИМТ дастурига киритилган. Бундай тармоқлар учун частоталар диапазонини ҲТИ га мувофиқ ҳолда бутун дунё бўйича тақсимлаш ёки ҳеч бўлмаганда ҳудудлар даражасида гармонизациялаш тавсия этилган. Жонли баҳслар натижасида БРК-07 да ИМТ рўйхатига кирадиган мобил телекоммуникацион иловалар учун Европада ва Африкада спектрнинг 790....862MGs қисмини бериш мумкинлиги ҳақида қарор қабул қилинган [32].

Шундай қилиб, “рақамли дивиденд” нинг ўзлаштириш масаласи глобал даражадаги стратегик масалалар тоифасига кирди ва ҳозирги вақтда кун тартибидаги анча ўткир масала бўлиб турибди. Хусусан, бу масала БРК-11 конференциясида фаол муҳокама этилди ва ҳозирда кўпчилик давлатларда бу муаммони ечиш бўйича ишланмалар мавжуд.

Масалан, АҚШ да 2005 йилнинг ўзидаёқ рақамли телевидениени ривожлантириш дастури қабул қилинган ва унга мувофиқ барча Америка телекомпаниялари 2009 йилнинг 17 февралигача аналог узатишдан рақамли узатишга ўтишни якунлаши керак деб таянланган. Бу эса бошқа радиостанциялар хизматлари учун 700MGs диапазонининг бўшатилишини кўзда тутар эди. Ушбу тижорат диапазонида рухсатномалар 2008 йилнинг апрелида аукционда сотилган. Сотувга 5 блокка бўлинган 62MGs лик полоса қўйилган, жумладан: А пастки (12MGs), В пастки (12MGs), Е пастки (жуфт бўлмаган 6MGs); С юқоридаги (22MGs) ва D юқоридаги (10MGs). Бу полосаларда ажратилган ресурсдан самарали фойдаланишга эришиш мумкин, чунки паст частотали сигналлар зич иншоотлар бўлмаган ва юқори узатиш тезликлари талаб қилинмаган жойларда ўз афзалликларга эга. Юқоридаги С блок га нисбатан “умумий уланиш” қондаси ўрантилган. Бу қонда шунини билдирадиги, алоқа операторининг уларга ажратилган частоталар полосасини “тўлиқ эгаллаш” ёки “блоклаш” га ҳақи йўқ. Шундай қилиб, лицензия эгаси бўлган операторлар ҳар қандай мослашган ва тармоқнинг ишига зарар етказмайдиган ускунага (яъни, полосани “тўлиқ эгаллашсиз”), ҳамда контентлар, иловалар, ёки тармоқ хизматларини

узатишга чеклашлар қўймаган ҳолда (яъни, полосани “блочламасдан”) тармоққа уланишни тақдим этиши керак.

3.5.2.2. 900MGs диапазонининг кайта тақсимланиши

900MGs диапазони деганда глобал даражада GSM тармоқларини ишлатиш учун ажратилган частота полосаларини, яъни 880-915MGs ва 925-960MGs полосаларни тушуниш керак. Бугунги кунга келиб ушбу диапазон мобил алоқа тизимлари учун дунё миқёсида рухсат этилган частоталар диапазонлари орасида энг кенг тарқалган ва гармонизацияланган диапазон ҳисобланади. У, шунингдек алоқанинг узоклиги ва тармоқларни қуриш харажатларини барқарор қисқартириш каби радиочастота диапазонларини стратегик жиҳатдан муҳим қиладиган бир қатор афзалликларга эга. Бундан ташқари, 900MGs диапазони бинолар ичига кириш бўйича яхши кўрсаткичларга эга ва, айниқса, аҳолиси зич бўлмаган олис ҳудудларда кенг полосали алоқани ташкил этишга мос келади.

Дунёнинг 150 дан ортик давлатларида давом этаётган фойдаланувчиларнинг 2G (GSM) тармоқларидан 3G (UMTS) тармоқларига “миграция” (аста секин ўтиш) жараёни босқичма-босқич GSM-900 тармоқларида юклamani камайтириб, бу диапазондаги спектрни бўшата бошлайди. Натижада, кўплаб операторлар бу частоталар полосасида UMTS (хусусан, HSPA/HSPA+) тармоқларининг истиқболи ҳақида ўйламоқдалар. Бирок амалда шундай ҳолат юз бермоқдаки, бугунги кунга келиб мазкур диапазонда LTE тармоқларини қуриш афзалроқ ва истиқболлироқ бўлиши мумкин. HSPA/HSPA+ тармоқларига қараганда LTE тизими, кутилаётгандек, абонент терминали унумдорлигини ва секторлар сигимини сезиларли даражада оширади, абонент сатҳида абонент жавоби вақтини қисқартиради ва бу билан фойдаланувчи интерфейсини анча яхшиланган шаклини тақдим этади. Бундан ташқари, UMTS тизимлари 5MGs дан кам бўлмаган полосаларда ишласа, LTE тармоқларини илк ташкил этиш учун 1,4MGs лик полоса бўлиши етарлидир. Яна шунини ҳам эслаб кетиш керакки, 900MGs диапазонидида ишлай оладиган UMTS абонент ускуналари фақатгина 2010 йилдан пайдо бўла бошлади ва ҳозиргача бозорда етарли даражада тарқалган эмас. Ушбу барча омилларни ҳисобга олиб, кўплаб операторлар LTE тармоқларини қуриш учун 900MGs диапазонидидаги полосаларни заҳиралаш вариантини жиддий ўйлаб кўрмоқдалар.

Ҳақиқатан ҳам, LTE тизимларининг ҳар қил частота полосаларида мослашувчанлик билан ишлаш қобилияти GSM тармоқларидан бўшайтган полосаларни эгаллашга ажойиб имкониятлар яратади ва қўшимча частота полосалари бўшатилишига қараб тармоқ кўламини кенгайтиришга имкон яратади. LTE тизимларининг яхшиланган спектрал самарадорлиги туфайли уларнинг 900MGs диапазонидида ташкил этилиши тармоқларнинг энг юқори сигимини таъминлайди. Шунингдек, операторларга катта ҳудудларда юқори сифатли кенг полосали хизматларни тақдим этиш туфайли

юқорироқ частоталардаги сарфларга нисбатан сезиларли равишда камроқ сарфлар билан LTE тармоқларини яратиш имконини беради.

Нихоят, LTE тармоқларининг 900MGs диапазонида ташкил этилиши орқали харажатлар ва логистика бўйича қўшимча ютуқлар келтириши кутилади, бинобарин, LTE таянч станцияларини мавжуд GSM сайтларига жойлаштириш мумкин, чунки мазкур диапазонда GSM ва LTE тармоқларининг радиокамров ҳудудлари тахминан бир хил бўлади. Лекин бунда шу кўзда тутиладики, Европа сотали алоқа операторлари яқин ораларда GSM тармоқлари ишини тўхтатмайдилар, чунки улар (GSM тармоқлар) ҳали ҳам мобил товуш алоқаси ва “глобал роуминг” хизматларини асосини ташкил этадилар. Аслида эса EDGE (ёки унинг янгиланган E-EDGE) технологияси қўлланиладиган GSM тармоқлари яна анча вақт хизматда қолиши ва LTE тармоқларига аста-секин ўтишни таъминлаши мумкин. Шунга кўра ривожланиш эҳтимолининг катта сценарийси шундай кўринадики, LTE тармоқларининг GSM тармоқлари билан 900MGs диапазонида биргаликда ишлаши яна 5-10 йил давом этади ва фақат шундан кейингина GSM тизимларининг ишлатилиши тўлиқ тўхтатилиши мумкин. 900MGs диапазонининг кейинги тақсимланиши кўп жиҳатдан Европа Иттифоқи даражасида ўтказиладиган музокаралар ва қабул қилинадиган қарорларга боғлиқ.

3.5.2.3. AWS - илгор симсиз хизматлар

AWS (ингл. *Advanced Wireless Services*) – илгор симсиз хизматлар АҚШ да ишлатилади ва улар учун «юқорига» йўналишда 1710-1755MGs ва «пастга» йўналишда 2110-2555MGs полосалари ажратилган. Умумий 90MGs лик частота полосаси А дан F гача олтига частота блокларига бўлинган бўлиб А, В ва F блоклари 20MGs лик полосаларга, С, D ва E блоклари эса 10MGs лик полосаларга эга.

2006 йилнинг сентябрида АҚШ Федерал алоқа комиссияси (FCC) томонидан AWS хизматлари лицензияларига аукцион ўтказилди ва унда ютган қатнашчилар умуман олганда 1087 та лицензиялар ютди. Америка ҳукуматининг эркин бозор сиёсати руҳида FCC маълум частота диапазониға маълум технологияни қатъиян бириктирмади. Шуни асосида AWS лицензиялари эгалари исталган технологияларни, шу жумладан, 2G, 3G ва LTE тизимларини қуриш учун ажратилган ресурсни ишлатишлари мумкин.

FCC 2100MGs диапазонида AWS хизматлари учун частота полосаларини аниқлашда уларни Европада UMTS тизимлари билан максимал гармонизациялаштириш устида ҳам иш олиб борди. Бироқ, UMTS учун ажратилган 2100MGs диапазонининг пастки қисми “америкалик” PCS (GSM-1900) тизимларининг полосалари устига тўлиқ тушиб қолди ва шу билан тўлиқ гармонизация имконини йўқ қилди. Шунга қарамай, FCC, бу чекловни ҳисобга олган ҳолда, дунёнинг бошқа ҳудудларида AWS хизматлари учун спектрни гармонизациялашга уринди. Натижада, энди AWS полосасининг юқори қисми Европадаги UMTS

тизмининг асосий полосасига, пастки қисми эса, 1800MGs диапазолидаги GSM тизимларининг пастки қисмига мос келадиган бўлди.

3.5.2.4. IMT кенгайтирилган диапазоли

2001 йилда Радиоалоқа бўйича умумжаҳон конференцияси 2500-2690MGs диапазолида IMT-2000 ер сирти радиоалоқа хизматларини ривожлантириш учун учта қўшимча частота полосаларини аниқлаган эди. Унга мувофиқ 2008 йилдан бошлаб Европада босқичма-босқич FDD дулексли IMT-2000 (ҳозирги кунда IMT-Advanced ҳам) тизимлари учун 140MGs лик умумий полоса ажратилмоқда. Бунда «қоқорига» йўналишда 2500-2570MGs, «пастга» йўналишда эса 2620-2690MGs полосалари эгалланмоқда. TDD дулексли асосида жуфт бўлмаган каналлар яратиш учун 50MGs лик қўшимча полоса ажратилган (2570-2620MGs). Дунёнинг барча ҳудудлари учун бу частота полосаларининг тақсимланишини гармонизациялаш туфайли ишлаб чиқариш ҳажмини ошириш ва шунинг ҳисобига тежамкорликка эришиш ва “глобал роуминг” ни таъминлаш кўзда тутилади. Тахмин қилинишича, LTE тармоқлари, биринчи навбатда, FDD жуфт полосаларидан фойдаланиб, айнан шу полосаларда қурилади (ҳозирча бу LTE тижорат тармоқларини 2009-2011 йилларда тадбиқ этилиши билан тасдиқланиб келмоқда). Бундан ташқари, айнан шу диапазон 20MGs кенгликдаги каналларни таъминлаш ҳисобига LTE тармоқларини “тўла қонли” ишлатишга имкон берадиган камъёб диапазонлар сарасига киради. Шу муносабат билан, мобил алоқа операторлари кенг полосали ва юқори тезликли алоқа хизматларини тақдим этиш учун, аввало 20MGs лик каналларни синаши ва захиралаши табиийдир.

3.5.3. LTE тармоқларини қуришда даъвогар (номзод) бошқа полосалар

3.5.3.1. GSM-1800 диапазоли

Бу диапазонга (1710-1785MGs ва 1805-1880MGs) қизиқишни (LTE тизимлари учун уни қайта режалаштириш (ингл. *refarming*) нуқтаи назаридан) аввало, мавжуд GSM тармоқларидан LTE тармоқларига ўтиш вариантини кўраётган, Жанубий ва Шимолий Америка, Осиё-Тинч океани (ОТО) ҳамда Европа, Яқин Шарқ ва Африка (ЕЯША) ҳудудларининг кўплаб давлатлари намён этмоқда.

3.5.3.2. UMTS тармоқларининг асосий диапазоли

Бу полосалар (1920-1980MGs ва 2110-2170MGs) ЕЯША ва ОТО ҳудудларида 150 дан ортиқ давлатларда UMTS тармоқларини қуриш учун ажратилган. Бу диапазонда кўплаб операторлар икки, уч, баъзи ҳолларда эса, тўрттадан 5MGs лик полосаларга эга. Улардан кўплари ҳозиргача фақатгина бир 5MGs лик полосани ишлатсада, аммо маълумот алмашуви бўйича мобил хизматларнинг ўсиши ва UMTS/HSPA тармоқлари томон ривожланиш жадаллашиши ҳисобига ҳозирча бу диапазонларда LTE

тармоқларини куриш учун қандай ва қанча полосалар бўшатилиши аниқ эмас.

3.5.3.3. PCS-1900 диапазони

Бу АҚШ да ва қисман ОТО ҳудудида ишлатиладиган (ЕЯША ҳудудида ишлатилмайди) альтернатив диапазон (1850-1910MGs ва 1930-1990MGs) ҳисобланади. Уни 700MGs диапазонидаги ва AWS хизматлари полосалари тўлиб бўлганидан кейингина ўзлаштириш мумкин.

3.5.3.4. 850MGs диапазонидаги сотали тармоқлар полосалари

Бу диапазон (824-849MGs ва 869-894MGs) чекланган характерга эга, яъни кам давлатларда ишлатилади. (масалан, АҚШ да). У ҳам 700MGs диапазондаги ва AWS хизматлари полосалари тўлганидан кейин даъвогар полоса сифатида кўрилади.

Юқорида берилган маълумотга яқин ясаб, LTE тармоқларини куриш учун кўриб чиқилган барча потенциал частоталар диапазонлари 3.8-жадвалда кўрсатилган.

3.5.4. Спектрга бўлажак талаблар

М.2078-сонли ITU-R ҳисоботи IMT-2000 тизимлари ва кейинги IMT-Advanced дастурини ривожланиши учун спектрга бўлажак талабларни ўз ичига олади. Бу ҳисоботга мувофиқ 2020 йилга келиб ХТИ нинг барча ҳудудларида 500MGs дан 1GGs гача кенгликдаги полосаларни ажратиш зарур бўлади. Бу ҳисоботда тахмин қилинадики, 2010 йилда Европада трафик ҳажми 2008 йилдаги кўрсаткичларга нисбатан 2 - 3 мартагача ортган ва 2015 йилга келиб IMT хизматларини ривожлантириш учун ажратилган частоталар полосаси етишмайди. Бозор эса бу вақтга келиб кенг полосали хизматларни тақдим этиш бўйича тармоқларнинг янада катта имкониятларини талаб қилади. Шунга кўра, 2007 йилдаги БРК нинг (БРК-2007) бош масалаларидан бири сифатида ишлаб чиқариш ҳажми ҳисобига тежаш учун «глобал роуминг» ва ускуналарни стандартлаштириш талабларини ҳисобга олган ҳолда, кўшимча, халқаро миқёсда гармонизацияланган полосаларни аниқлаш бўлди. Натижада, БРК-2007 IMT тизимларини (IMT-2000 ва IMT-Advanced) ривожлантириш учун бутун дунё даражасида 2300-2400MGs ва 450-470MGs полосаларини, шунингдек турли минтақалар ва давлатлар даражасида уларнинг ўзига хосликларини ҳисобга олган ҳолда 698-862MGs ва 3400-3600MGs полосалари ёки полосалар қисмларини ажратди. Бу 3.44-расмда келтирилган.

Шундай қилиб, БРК-07 LTE тармоқларини бўлажак ривожлантириш учун зарур частота полосаларини бўшатиш ва тайёрлашга улкан қадамлар қўйди. Хусусан, мобил радиохизматлар учун 698-806MGs полосасидаги спектрни бўшатиш жараёни бошланди. Кейинги қадам бутун дунё бўйлаб миллий ёки регионал даражаларда гармонизация мақсадида РСС нинг

тақсимланишини тизимлаштириш бўйича алоҳида давлатлар билан ишлаш бўлади. Сўнг радиочастота спектрини тақсимлашни глобал даражада гармонизациялаш устида ишлар олиб борилади. Шунинг ҳам таъкидлаймизки, ҳозирги вақтда ишлатилаётган радиочастота полосаларининг қайта тақсимланиши билан бирга янги посылалар ажратилиши бу LTE истиқболли тармоқларини муваффақиятли қуриш йўлида муҳим омиллардир. LTE тизимлар ускуналарининг характеристикаларини ва функционал имкониятларини такомиллаштирилиши ишлаб чиқаришнинг ортиши ҳисобига тежамларга олиб келади ва мобил алоқа тизимларининг ривожланишида янги уфқларни очади. Бу жараёнда бозорда LTE нинг функционал ва қиммат бўлмаган абонент ва инфратузилма ускуналарини тезроқ пайдо бўлиши муҳим аҳамиятга эга бўлади.

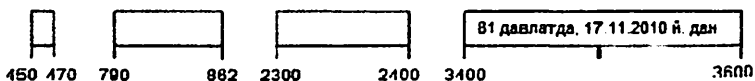
3.8-жадвал

LTE тармоқларини қуриш учун даъвогар частота диапазонлари

Диапазон	“Юқорига” йўналишдаги канал (MGs)	“Пастга” йўналишдаги канал (MGs)	Элтувчи частоталар полоса кенглиги (MGs)	Изоҳ
700MGs	746 - 763	776- 793		Рақамли дивиденд. АҚШ да ушбу диапазон тақсимланган. Европада энди қўриб чиқилади.
AWS	1710 - 1755	2110 - 2155		АҚШ да ушбу диапазон 2006 й. тақсимланган.
IMT диапазони (жуфтли)	2500 - 2570	2620 - 2690		Аввалига Ғарбий Европада тақсимланади. 20MGs лик полосалар мавжуд бўлган уникал диапазон.
IMT диапазони (жуфтсиз)	2570 -2620			Европа ва ОТР да LTE-TDD учун потенциал полосалар.
GSM-900	880 - 915	925 - 960		Замонавий технологиялар учун қайта тақсимланмоқда (2009 йилдан бошлаб).
UMTS, асосий диапазони	1920 - 1980	2110 - 2170		Европа ва ОТО да WCDMA тармоқлари

				Қўлланилмаган худудларда.
GSM-1800	1710 - 1785	1805 - 1880	1 25 5 10 15 20	Европа ва ОТО да GSM-900 полосалари билан биргаликда ишлатилмайдиган полосаларда фойдаланиш мумкин.
PCS-1900	1850 - 1910	1930 - 1990	1 25 5 10 15 20	700MGs полосалари ва AWS ларнинг тўлганидан кейин қайта тақсимланиши мумкин.
850MGs да сотали тармоқлар	824 - 849	869 - 894	1 25 5 10 15 20	700MGs полосалари ва AWS ларнинг тўлганидан кейин қайта тақсимланиши мумкин.
Рақамли дивиденд	470 - 854		1 25 5 10 15 20	БРК-07 да тақсимланган.

Европа/
Африка/
Яқин Шарқ



Шимолий/Жанубий
Америка



Осиё/
Тинч океан
региони



Белгилаишлар:

- 61 давлатда тўлиқ ишлатилмоқда, 6 давлатда қисман. Барча давлатларда тўлиқ равишда 17.06.2015 йилдан бошлаб ишлатилади.
- 14 давлатда фақат мобил режими учун
- 9 давлатда аниқланган.
- 10 давлатда аниқланган.
- 9 давлатда аниқланган + фақат мобил режими учун барча давлатларда.

3.44-расм. Дунёнинг турли ҳудудларида LTE тармоқларини қуриш учун БРК-07 аниқлаган частоталар полосалари

3.5.5. Ўзбекистонда 4G технологияларини ривожлантириш учун РЧС ҳолати

Шуни қувонч билан таъкидлашимиз мумкинки, Ўзбекистон LTE тармоғини тижорат мақсадида ишга туширган МДХ даги биринчи ва дунёдаги учинчи давлат бўлди. 2010 йил 28 июлда мамлакатда биринчи LTE тармоғини ишга туширганлигини ҳақида “МТС-Ўзбекистон” компанияси хабар қилди.

Кечроқ, 2010 йил 29 августида Ўзбекистоннинг иккинчи оператори - Ucell компанияси ўзининг LTE тармоғини ишга туширганлиги ҳақида расмий эълон қилди. У ҳам 100Mbit/секгача тезликда мобил кенг полосали уланиш хизматларини тақдим этишини маълум қилди. Тармоқ 2,6GGs частота диапазонида қурилоқда ва кейинчалик 700MGs диапазонида ҳам полосалар олиш кўзда тутилган. Ucell компанияси LTE тармоғини жаҳонда биринчи бўлиб 2009 йилнинг декабрида Стокгольм (Швеция) ва Осло (Норвегия) шаҳарларида ишга туширган Telia Sonera корпорациясининг “қиз” компанияларидан бири ҳисобланади. Ўзбекистонда Ucell компанияси учун таянч ускуналарни Хитойнинг ZTE корпорацияси етказиб берди.

3.5.5.1. Рақамли дивиденд

Рақамли ер сирти узатиш хизматини 174-230MGs ва 470-862MGs полосаларида режалаштириш бўйича Регионал битимга (“Женева-06 режаси”) ва унга боғлиқ рақамли ва аналог режаларга мувофиқ Ўзбекистон қуйидаги ажратишларга эга:

- “Женева-06” режасининг рақамли қисми ҳисобланган рақамли ТВ учун 817 та частота ажратишлар, шу жумладан диапазонлар бўйича:

III диапазон 174-230MGs	IV ва V диапазонлар 470-582MGs, 582-862MGs	Жами
142	675	817

- “Женева-06” режасининг аналог қисми ҳисобланган аналог ТВ учун 1213 та частота ажратишлар.

Рақамли узатишни режалаштиришда бошқа бирламчи хизматларга 27 та частота ажратишлар ҳам ҳисобга олинди. Ўзбекистон алоқа маъмуриятининг рақамли узатиш бўйича аризалари БРК-06 конференциясида 100% қондирилди.

2008 йилда Тошкент ва Бухоро шаҳарларида рақамли ТВ узаткичларини тажриба ишлатиш ҳудудлари ташкил этилди. 2010 йилдан бу шаҳарларнинг аҳолиси тўлиғича рақамли телеузатишга ўтди. Рақамли ТВ га бутун мамлакат миқёсида утиш бўйича ишлар 2017 йилда тугатилиши режалаштирилган.

Шуни таъкидлаш жоизки, келажакда 1GGs дан паст радиочастота полосаларида рақамли телеузатишни жорий этилиши давлатнинг 30% гача радиочастота ресурсини бўшатиш имкониятини бериш кутилмоқда.

3.5.5.2. ДМТ ва ЎЮЧ диапазонларида радиочастоталар тақсимланиши

Тўртинчи авлод мобил кенг полосали алоқа технологияларининг ривожлантиришга қўлласа бўладиган 450MGs дан 10GGs гача диапазонда радиочастоталарни тақсимлаш ҳақида умумий маълумотлар 3.9-жадвалда келтирилган.

Жадвалдан кўриниб турибдики, “TP” белгилари мавжудлигига қарамадан, Ўзбекистонда кенг полосали мобил технологияларининг янги авлодлари учун зарур полосаларни ажратиш имконияти амалда бор. Маълумки, 4G тармоқларнинг кенгайиши билан радиочастоталарга эҳтиёж ҳам ортади. Бунинг учун миллий регулятор, агар РЧС ни бошқарув тизимида, хусусан, спектрни иқтисодий бошқарув усулларини жорий этишда давом этса, ҳам вақт, ҳам имкониятлар бор, яъни мобил кенг полосали технологияларнинг кутилаётган кескин ривожланишига давлатимиз тайёр бўлади, деб ўйлашга асос бор.

3.9-жадвал

4G технологияларини ривожлантириш учун қўлласа бўладиган частоталарнинг тақсимланиши

Частота-лар диапазонни	Радиочастота полосаси, MGs	Полоса кенглиги	Изоҳ
450...800 MGs	450-470	20	Бу полосада CDMA-450 тармоғи ишлатилмоқда (“UzMobile”)
	470...862	392	ҲТИ тадқиқот комиссиялари томонидан бошқа бирламчи хизматларининг ишлаётган РЭТ лари билан ЭММ ни таъминлаш шартларида ва бу полосани юкланишини детали таҳлил қилиш асосида радиоалоқанинг истиқболли тизимларини жорий этиш учун 790-862 MGs радиочастоталар полосасидан фойдаланиш имкониятларини аниқлаш бўйича иш олиб борилмоқда. «UCell» компанияси шу диапазонда полосалар олишни режалаштирмоқда. 835,2-844,98MGs полосасида CDMA 2000-1x тармоғи ишлайди (“Perfectum Mobile”).
900MGs	890-915 935-960	25 25	GSM тармоқлари фаол ишлатилмоқда. Келажакда GSM диапазонлари 4G тармоқлари учун ишлатилиши мумкин.
1800MGs	1710-1785 1805-1880	75 75	GSM тармоқлари фаол ишлатилмоқда. Келажакда бу полосалар ҳам 4G тармоқлари учун ишлатилиши мумкин.

2GGs	1920-1980 2110-2170	60 60	Бу полосалар UMTS тармоқлари учун ажратилган ва фаол ишлатилмоқда.
	2100-2300	200	Ҳукумат ташкилотлари учун хизмат қилувчи РЭТ ларга ажратилган.
	2300-2400	100	Бу полоса фуқароларга ҳаракатдаги алоқа хизматларини кўрсатиш учун ажратилган. 2301-2327MGs полосасида MMDS тармоғи қурилган. WiMAX тармоғи қурилган (IEEE 802.16e)
Wi-Fi	2400-2480	80	2400-2483,5MGs полосаси Wi-Fi тармоқлари учун ажратилган
IMT-FDD	2500-2570 2620-2690	70 70	“Ucell” ва “Beeline” компаниялари LTE тармоқларини қурган.
	IMT-TDD	2570-2620	50
3,5GGs	3300-3400	100	Ҳукумат ташкилотлари учун хизмат қилувчи (IP тоифасидаги) РЭТ ларга ажратилган.
	3400-3600	200	Фуқароларга ҳаракатдаги радиоалоқа хизматлари иккиламчи асосда кўрсатилиши мумкин. WiMAX тармоғи қурилган.
5GGs	5150-5350	200	5250-5350MGs полосаси Wi-Fi тармоқлари учун ажратилган
	5470-5725	255	Бу полоса IP тоифасига киради
	5725-5850	125	Бу полоса IP тоифасига киради
10GGs	10150-10300 10500-10650	150 150	Фуқароларга ҳаракатдаги радиоалоқа хизматлари бирламчи асосда кўрсатилиши мумкин.

3.6. LTE тизимларда хизмат кўрсатиш сифатини таъминлаш

3.6.1. Хизмат кўрсатиш сифати тушунчаси

Алоқа тармоқларида хизмат кўрсатиш сифати QoS (ингл. *Quality of Service*) деб номланган кўрсаткич орқали аниқланади. QoS алоқа тармоғини тақлиф этиладиган алоқа хизматларининг сифати ҳақида берилган келишувга мослик даражасини аниқлайди. Кўп ҳолатларда алоқа сифати тўрт параметр орқали аниқланади:

- *ўтказиш полосаси* (ингл. *Bandwidth*) - ахборот узатиш тизимининг номинал ўтказиш қобилиятини тавсифлайди, бит/сек. kbit/sec. ва Mbit/секларда ўлчанади;
- *пакет жўнатишда ушланиш* (ингл. *Delay*) – яъни, ахборот пакетини жўнатувчидан олувчигача етиб бориш вақтини аниқлайди, миллисекундларда (мс) ўлчанади;
- *дэжиттер* (ингл.-н *Jitter*) - пакет жўнатишдаги ушланиш вақтининг ностабиллиги, миллисекундлар ёки Герцларда ўлчанади;
- *пакетлар йўқолиши* (ингл. *Packet loss*) - узатиш вақтида йўқолган пакетлар миқдорини аниқлайди, узатилган пакетларнинг умумий сонига нисбатан фоизларда ўлчанади.

Соддароқ қилиб айтганда, алоқа каналини қувур кўринишида, унинг ўтказиш қобилиятини эса қувурининг кенглиги ва узунлиги сифатида тасаввур этиш мумкин. Маълумот узатиш жараёни маршрутизаторларда “шиша идиш буғзи” муаммоси билан тўқнашган ҳолатларда оддий FIFO (ингл. *First In - First Out* – “биринчи келган – биринчи кетади”) усули ишлатилади. Аммо интенсив трафик шароитларида бу усул муаммони жуда содда ҳал қилади: навбати келмаган барча пакетлар маршрутизатор томонидан рад этилади ва сўнгра бутунлай йўқотилади.

Бундан онглироқ усул бу пакетларга тақдим этиладиган сервис тури ToS (ингл. *Type of Service*) га қараб уларни устиворлик (приоритет) ларини ўрнатиш ва шунга қараб “ақлли” навбатлар тузишдир. Фақат бунда “ақлли” навбатларни яратиш учун пакетлар ўзлари билан сервис тури ишорасига эга бўлишлари зарур бўлади. Масалан, FTP ёки SMTP пакетларига нисбатан вақтга сезгир бўлган товуш пакетларига (VoIP) узатишда устуворликни бериш мантиқан тўғри бўлади. Амалиётда худди шундай устуворлик принципида фаолият олиб боровчи QoS атамаси кенгроқ тарқалган. Хизмат кўрсатиш сифати бир қанча QoS моделларига асосланган бўлади ва улардан айримлари қуйидагилардир:

- “**Кафолатланмаган хизмат**” модели (ингл. *Best Effort Service* – “Имкон қадар хизмат”) “нозик” ростилаш механизми ҳисобланмайди, трафикни ростилашсиз ва алоҳида синфларга ажратишсиз фақат ўтказиш қобилиятини оширувчи модел;

- “**Жамланган хизмат**” модели (ингл. *Integrated Service - InfServ*) сигналнинг бутун маршрути давомида зарур ўтказиш қобилиятини кафолатлаш билан бошидан охиригача (ингл. *End to end*) бир ҳил хизмат сифатини таъминлайди;

- “**Ажратилган хизмат**” модели (ингл. *Differentiated Service - DiffServ*) талаб этилган хизматларни кўрсатиш мақсадида тармоқнинг ядросида ресурсларни тақсимлаш ва тармоқ чегараларида маълум классификаторлар ва чеклашлар ўрнатиш, ҳамда буларни комбинациялари асосида QoS ни керакли даражасини таъминлайди. Бу моделда трафикни синфларга бўлиш ва уларни ҳар бири учун QoS даражасини аниқлаш киритилади. DiffServ трафик шаклланишини бошқариш (пакетларни синфларга бўлиш, белгилаш, интенсивликни бошқариш) ва сиёсатни бошқариш (ресурсларни тақсимлаш, пакетларни ўчириш сиёсати) функцияларидан ташкил топган. DiffServ трафик устуворликларини “ақлли” бошқаришни ёрқин мисоли бўла олади.

3.6.2. LTE тизимларда хизмат кўрсатиш сифати

Юқорида таъкидланганидек, 3GPP лойиҳаси кўп сонли уланиш технологияларини бир қаторини ўрганиб чиқиб, LTE тизимлари учун “пастга” каналда OFDM, «юқорига» каналда эса SC-FDMA технологияларини танлади. Бу танлов нафақат спектрнинг мослашувчанлигини, балки каналларни ўтказиш қобилиятига, спектрал

самарадорликка, шунингдек, QoS сифатига қўйилган қатъий талабларни қониқтиради.

GSM ва W-CDMA тизимларида ишлатиладиган QoS концепсияси мураккаблиги сабабли LTE тизимининг ишлаб чиқувчилари тескари мослашувчанликни қўллаб-қувватлаган ҳолда оддий ва ихчам уланишни ўзига бирлаштира оладиган QoS концепциясини тадбиқ этишга ҳаракат бўлди. LTE тизимида синфларга асосланган хизмат кўрсатиш сифати концепцияси ишлатилди. У операторларга турли пакетли хизматларни дифференциялаш учун осон ва самарадор ечимни тақдим этади.

3GPP ишланмаларида катта эътибор хизмат кўрсатиш сифатини таъминлаш, тармоқни танлаш ва идентификацион маълумотлардан фойдаланишга қаратилган. Масалан, Wi-Fi ва сотали тармоқларда ишлашга мўлжалланган кўп режимли терминалларнинг пайдо бўлиши турли радиоуланиш технологияларида абонентларга хизмат кўрсатиш имконини яратади. Шу муносабат билан LTE тизимида абонентга зарур бўлган хизматларни тақдим этиш учун қулайроқ инфратузилмани тиклаш механизми кўзда тутилган. Манзиллаштириш, мобилликни таъминлаш, боғланишларнинг узлуксизлигини таъминлаш, маълумотларни ҳимоялаш ва бошқа мақсадларда ишлатиладиган абонент ва тармоқ ускуналари учун идентификаторлар танлашда спецификация муаллифлари катта ёндашувчанликни намоён этдилар. Шундай қилиб янги тармоқларда ҳам GSM ва UMTS тармоқларида қўлланиладиган идентификаторлардан, ҳам E-UTRAN тармоқларида янги функцияларни пайдо бўлишини акс эттирган идентификаторлардан фойдаланиш рухсат этилган. Бундан ташқари, 3GPP нинг 8 чи релизида янги авлод мобил алоқа тармоқларида ахборот хавфсизлиги даражасини оширишга йўналтирилган қатор имкониятлар ҳам пайдо бўлди.

LTE тизими ишлаб чиқувчилари таъкидлашларича, улар тақдим этган архитектуравий ўзгаришлар VoIP ёки интерактив онлайн ўйинлар каби иловалар учун муҳим бўлган маълумот узатиш ушланишларини сезиларли даражада камайтиришга имкон беради. Масалан, LTE тармоғида қисқа IP-пакетлар узатишда ва унча катта бўлмаган тармоқ юкмаси ҳолатида 5MGs ўтказиш полосасида пакетни умумий ушланиши 5мс ни, ундан кичикроқ полосаларда эса 10мс дан ортиқроқни ташкил этиши керак. Бу қийматлар эса бугунги 3G тармоқларининг энг илғорларини кўрсаткичларидан ҳам камида 50 фозга юқорироқдир.

Уланиш ўрнатишдаги ушланишларни қисқартиришга қаратилган талаблар операторларга QoS ни назорат қилиш учун содда ва самарадор механизмларини тақдим этадиган 3GPP хизматлар сифатининг бугунги концепциясини ривожланишини таъминлайди. LTE тармоқларда мантқиқий уланиш ўрнатишга QoS даражасига боғлиқ (бундай уланишни «туннел» дейиш мумкин) бўлади. Абонент турли QoS даражалари асосида кўплаб туннелларга эга бўлиши мумкин (замонавий 3G тармоқларида бундай туннел PDP-контекст ва радиоуланиш каналидан (ингл. *Radio Access Bearer, RAB*) ташкил топган). Уланиш ўрнатилишида ушланишларни

қисқартириш мумкин, агарда туннеллар олдиндан ўрнатилган бўлса (яъни, ушбу туннелга боғланган алоқа сессияси бошлангунича). Туннелни олдиндан ўрнатиш туфайли алоқа сессиясини ўрнатиш учун кам тизим сигналларини талаб қилади ва шу туфайли ушланиш вақтини қисқартиради. Бинобарин, туннелларни АУ ёқилиши билан ўрнатиш имкони мавжуд. Бундай ёндашувни VoIP хизматлари каби GB (ингл. *Guaranteed Bandwidth*) маълумот узатишни кафолатланган тезлигини талаб қиладиган хизматларга боғлиқ туннеллар учун ҳам ишлатиш мумкин. Олдиндан ўрнатилган туннеллар амалий ва самарали бўлиши учун қуйидаги жараёнларни бажариш талаб қилинади:

- Уланишлар бошқаруви (ингл. *Admission control*) ва туннел ўрнатиш функцияларини иккита алоҳида жараёнларга ажратиш, чунки акс ҳолда туннеллар олдиндан ўрнатилиб, ресурслар заруратсиз захираланган бўлиб қолади;

- Олдиндан ўрнатиладиган туннелларга тайинланган хизматлар сифати даражаларини операторлар томонидан яхшироқ назорат имконини таъминлаш. Буни туннелларни ўрнатиш учун тармоқ томонидан бошқариладиган махсус жараёнлар туфайли амалга ошириш мумкин;

- Олдиндан ўрнатиладиган туннелларда иловаларни зичлаштирилган оқимлари устидан операторлар томонидан яхшироқ назорат имконини таъминлаш. Буни фақатгина юкломани турли туннелларга тақсимловчи (ингл. *mapping*) пакетлар филтрлари устидан назорат рухсати тармоққа берилган ҳолда амалга ошириш мумкин.

Хизматлар сифатининг бундай архитектураси операторларга ҳар бир алоҳида туннелга боғлиқ бўлган QoS даражалари устидан, алоҳида туннеллар ўрнатиш вақтларини аниқлаш устидан ва алоҳида туннелларга боғланадиган иловалар оқимлари устидан тўлиқ назорат қилишни таъминлайди. Шундай қилиб, LTE тизимида хизматлар сифатини назорат қилишнинг самарали механизмини яратиш мумкин.

3.7. LTE тизимида ахборот хавфсизлигини таъминлаш

Ахборот хавфсизлиги архитектураси ҳамда 3GPP ва но-3GPP тармоқларга рухсат этиш аспекти 3GPP лойиҳасининг, мос равишда, 33.401 ва 33.402 Техник спецификацияларида баён этилган [33]. Пакетли коммутация домени (ингл. *Packet-Switched Domain*) орқали хизматларга уланиш АУ ва мобил тармоқ (ингл. *Public Land Mobile Network, PLMN*) оператори орасида хавфсиз уланиш ўрнатилишини талаб қилади. Мультимедиа хизматларига уланиш учун АУ ва IMS таянч тармоғининг нимтизими (ингл. *IMS Core Network Subsystem, IMS CNSS*) орасида алоҳида хавфсиз боғланиш ўрнатилиши керак бўлади.

3.7.1. LTE тармоқларида хавфсизликка таҳдидлар

LTE тизимида тармоқнинг турли элементлари ҳамда турли даражаларидаги хавфсизликка таҳдидлар бўлиши мумкин. Масалан, таҳдидлар абонент ускуналари, баъзавий станциялар, ММЕ тугунлари, шунингдек умуман мобилликни бошқарув тизимига нисбатан бўлиши мумкин. Қуйида шулар атрофида кўриб чиқилади.

3.7.1.1. Абонент ускунаси учун таҳдидлар

IMSI ни ушлаб олиш мақсадида ҳужум

Мобил абонентнинг халқаро идентификатори - IMSI (ингл. *International Mobile Subscriber Identity*) халқаро давлат идентификация коди - MCC (ингл. *Mobile Country Code*), оператор тармоғи коди - MNC (ингл. *Mobile Network Code*) ва мобил абонент идентификатори - MSIN (ингл. *Mobile Subscriber Identification Number*) лардан иборат. IMSI нинг умумий узунлигини 15 та рақамни ташкил қилади, улардан 3 таси MCC га ва, фойдаланиш жойига қараб, 2 ёки 3 та рақам MNC га ажратилади. Қолган рақамлар MSIN га алоқадор. Абонент тармоққа ҳимояланган ҳолда уланиши учун у ўз IMSI сини жўнатиши керак. Бироқ IMSI ни ўзи очик равишда юборилади, ва шундан келиб чиқадики, ушбу идентификаторни илиб олиш ва кейинги ҳужумлар мақсадида ёки абонентнинг ҳаракатлари ва фойдаланаётган хизматлари ҳақида аналитик ахборотни еғиш учун ишлатиш мумкин. Бу таҳдидни олдини олиш учун АУ ишончсиз тармоқларга очик IMSI нинг узатилишини назорат қилиш имкониятига эга бўлиш керак. Бунга умумий ёки симметрик калит билан шифрлашни қўллаш ҳисобига эришиш мумкин.

АУ ни кузатиш таҳдидлари

LTE тизимида қуйидаги параметрлар бўйича АУ ни кузатиш таҳдидлари бўлиши мумкин:

- *TMSI* (ингл. - *Temporary Mobile Subscriber Identity*) - *вақтинчалик идентификаторлар бўйича кузатув*. Бунда ҳужум қилувчи АУ нинг TC лар орасидаги ҳаракатларини кузатиб (ва ёзиб) боради, лекин ҳозирча ушбу АУ ни унинг асосий фойдаланувчи IMSI си билан идентификация қила олмайди (яъни, таққослай олмайди). Лекин, кейинчалик, ҳужум қилувчи, яширинча Web-хизмати орқали суров юбориб, АУ ни IMSI сини билиб олиши мумкин.

- *IMSI/TMSI идентификаторлари ва радио тармоқнинг вақтинчалик идентификатори - RNTI* (ингл. *Radio Network Temporary Identifier*) ларни ошқора бўлиши туфайли кузатув. 2G/3G тармоқларининг заифлиги шундаки, TC (шу жумладан, “сохта” TC ҳам) АУ ни ҳар гал қайд этишда (“хэндовер” пайтида ёки TMSI йўқолганда) ундан ўз IMSI сини тақдим этишини талаб қилади. Шу сабаб, LTE тармоғи аралаш режимда ишлаганида АУ нинг IMSI сини ошқора қилиш таҳдиди пайдо бўлади. Лекин LTE тармоғи аралашмаган режимда ишлаганда ҳам АУ нинг “ноактив LTE” ҳолатидан “актив LTE” ҳолатига ҳар бир ўтишида TC

абонентни TSMI си ва IMSI си бир бирига мос тушишини талаб қилади ва шу билан абонентни ошкора қилади.

- *IP-манзил йўқолиши туфайли кузатув.* Абонент сатҳида шифрлаш тармоқ даражасида (IP-даражада) амалга оширилиши туфайли АУ учун мўлжалланган IP манзиллар маълумот узатиш жараёни бошланишидан олдин кўрсатилиши керак. Ва, агар абонентнинг IP-манзили анча ўзоқ вақт сақланса, у ҳолда TSMI идентификаторларини ва IP-манзиллар билан таққослаш кўринишида пассив ҳужум қилиш хавфи пайдо бўлади.

- *“Хэндовер” нинг сигнал хабарларига асосланган кузатув.* “Хэндовер” жараёнида «уй» eNB меҳмон eNB билан “хэндовер” ҳақида хабарлар алмашади. Ўз навбатида, АУ меҳмон eNB га “хэндовер” ҳақида тасдиқловчи хабар жўнатади. Демак, пассив ҳужум қилувчи АУ ўз сотасини алмаштиргани ҳақида ахборот олади.

- *Канал ҳолати ҳақида ҳисоботларга асосланган кузатув.* RRC даражасида АУ муайян равишда eNB га радиоканалнинг ҳолати ҳақидаги ҳисобот (CQI) ларни жўниб туради. Бу ҳисоботларни ушлаган пассив ҳужум қилувчи анча юқори аниқлик билан АУ нинг ҳаракатларини кузатиши мумкин.

Бундай турдаги таҳдидларга қарши туриш учун стандартда NAS даражасидаги барча сигналларни шифрлаш тавсия этилади. Агар бундай шифрлаш қўлланмаса, у ҳолда муқобил чоралар сифатида очиқ хабарларни узатиш жараёни бошланишидан олдин умумий калитлар ишлатилиши тавсия этилади.

Мажбурий “хэндовер”

Бу ҳужум актив характерга эга ва сезиларли оқибатларга олиб келиши мумкин. Мажбурий “хэндовер” ҳужуми ҳам аралашмаган LTE тармоқлари ичида, ҳам бошқа 3GPP технологиялари билан аралашган тармоқларда амалга оширилиши мумкин. LTE тармоғи ичида бундай ҳужумни амалга ошириш учун дастлабки тайёргарлик зарур, хусусан, ҳужум қилувчи eNB нинг бир ёки бир нечта тугунларининг очилиши ҳисобига RRC даражасидаги калитларни билиши керак. У ҳолда “очилган” eNB орқали “хэндовер” жараёнини ўтказиш ва маълум бир абонентни ёки ҳатто абонентлар гуруҳини ўзига улаб, кейинчалик уларни алоқасини узиш ҳам мумкин. Аралаш тармоқларда ҳужум қилувчи юқори даражада ҳимояланган тармоқдан (LTE) пастроқ даражада ҳимояланган тармоқ (масалан, GSM) томонига “хэндовер” ни амалга оширади ва “кучсиз” тармоқнинг TC ни “бузиб” (“очиб”) АУ га турли ҳужумлар қилиши мумкин. Мажбурий “хэндовер” таҳдидларига қарши туриш учун NAS даражасида сигнализацияни шифрлаш, шунингдек умумий калитлардан фойдаланиш мумкин.

Шунингдек, кенг миқёсда ва кўп сонли узатиш хабарларини алмаштириш билан боғлиқ таҳдидлар мавжуд, лекин бу ерда улар ҳақида атрофлича тўхталмаган.

3.7.1.2. Таянч станциялар ва “сўнги миля” транспорт каналларига таҳдидлар

Бу таҳдидлар шунга боғлиқки, мобил алоқа тармоқларининг ривожланиши сари миниатюризация (кичиклаштириш) ва арзонроқ инфратузилма воситаларидан фойдаланиш анъаналари кучлироқ кузатишмоқда, ва бу ТС ларнинг сезиларли заифлашувига ва транспорт каналларининг камроқ ишончлилигига олиб келмоқда. ТС га нисбатан ҳам худди АУ дагидек абонент ва бошқарув сатҳидаги ҳужумлар ажратилади.

Абонент сатҳида пакетларни жорий этиш асосидаги ҳужум

Ҳужумнинг маъноси бепул хизмат олиш учун турли пакетлар кетма-кетлигига қўшимча маълумот пакетларини жорий этишдан иборат. Бундай пакетларнинг жорий этилиши ТС (eNB) даражасида, “охирги миля” каналлари даражасида, ҳамкорлик тармоқлари орқали ёки абонент ускунасини алмаштириш ҳисобига амалга оширилади. Бу таҳдидлардан ҳимоя қилиш учун АУ ва eNB, шунингдек eNB ва S-GW ораларидаги абонент сатҳидаги трафикни шифрлашни қўллаш мумкин.

Абонент сатҳида пакетларни ўзгартириш билан боғлиқ ҳужум

Бундай ҳужумдан мақсад алоқа сифатини тушириш ёки абонент билан алоқани узишдир - DoS (ингл. *Denial of Service*). Пакетларни алмаштириш жараёнини eNB даражасида ва “охирги миля” каналларида амалга ошириш мумкин. Бундай ҳужумларга қарши АУ ва S-GW ораларида абонент сатҳидаги трафикнинг бутунлигини ҳимоялаш воситалари ҳисобига курашиш мумкин.

Абонент сатҳида пакетларни ушлаб олиш ҳужуми

Ҳужум қилувчи АУ ва S-GW орасидаги ёки ҳатто “бузилган” (“очилган”) eNB даги интерфейслардан истаганча пакетларни ушлаб олиши мумкин. Бундай ҳужумдан мақсад идентификаторлар, маршрутлаш хариталарини ва ҳ.к. ларни ичига оладиган хизмат ахборотларини ушлаб олиш ёки трафик конфиденциаллигини бузиш ҳисобланади. Бу ерда қарши чора сифатида OTT моделининг пастроқ даражаларида трафик конфиденциаллигини таъминлаш учун шифрлаш қўлланилиши мумкин, яъни агар пакетларни сиқиш PDCP даражасида амалга оширилса, у ҳолда шифрлаш пастроқ даражаларда (масалан, RLC да) амалга оширилиши керак.

Таянч станцияларга жисмоний ҳужум

Шифрланган ахборотларга ва калитларга рухсат олиш учун eNB ни жисмоний бузиш имконияти назарий жиҳатдан мавжуд, чунки eNB да шундай нуқталар бўлиши мумкинки, уларда шифрланган ахборот туннеллари орасида шифрланмаган ахборотлар ўтади. Ҳужум қилувчи бунинг ҳисобига умумий махфий калитларни олиши ва тармоққа бошқа eNB тугунини қўшиши мумкин бўлади. Шундай қилиб, ҳужум қилувчи абонентларга қарши DoS ҳужумини амалга ошириб, уларни сохта АУ лар билан алмаштириши мумкин бўлади. Ҳаттоки, eNB ни кейинги ғаразли мақсадларда ишлатиш учун демонтаж (бузиб олиш) хавфи ҳам мавжуд. Бундай ҳужумларга қарши курашиш учун, биринчидан, eNB жойлашган

жойларни жисмоний ҳимоялаш зарур (сигнализация, кўриқлаш ва бошқалар), иккинчидан, калитларнинг сақланишини ҳимоялаш керак (масалан, ўқиб бўлмайдиган смарткарталарда) ва ниҳоят, агар битта калит очилган тақдирда ҳам тизимнинг умумий конфиденциаллигини сақлаш учун асимметрик калитлардан фойдаланиш керак бўлади.

Тармоқ томонидан eNB га қарши DoS ҳужуми

Бу ҳолда ҳужум қилувчи қўлга киритган тармоқ тугуни томонидан маълум командалар пакетларини юбориш ҳисобига бир ёки бир нечта eNB ларга мантиқий DoS ҳужумини амалга оширади. Агар бунда кўп сонли узатишлар ишлатилса, бундай ҳужумлардан кўриладиган зарар жуда катта бўлиши мумкин. Бундай ҳужумдан мақсад оддий eNB ни ишдан чиқариш ёки уни сохта eNB билан алмаштириш бўлиши мумкин. Бундай ҳужумларга қарши туриш учун eNB ларда аутентификация чораларини кўриш керак, яъни бир eNB мос аутентификациясиз бошқа eNB га боғланмаслиги керак.

АУ томонидан eNB га қарши DoS ҳужуми

Ҳужум қилувчи қўлга олинган АУ дан eNB га мос пакетларни юборади ва бошқа АУ лар учун eNB нинг ишини блоклаб (тўсиб) қўяди, ёки маълум бир eNB нинг сигналини сўндиради. Бундай ҳужумнинг мақсади ҳудди олдинги ҳужумникидек. Бу ҳужумларга қарши туриш учун аутентификация жараёнига қўшимча трафик бутунлигини ҳимоялашни қўллаш тавсия этилади. Шунингдек, АУ ва eNB ларни ўзаро аутентификация қилиш учун eNB да ўрнатадиган сессия (вақтинчалик) калитлар қўлланилиши мумкин. Радиосигналнинг сўндирилишига келсак, бундай ҳужумга қарши туриш осон эмас, лекин бундай ҳужумларни нисбатан тез топиш ва бартараф этиш мумкин.

3.7.1.3. ММЕ га таҳдидлар

Радиоуланиш тармоғи томонидан ММЕ га қарши DoS ҳужуми

Бунда ҳужум қилувчи радиоуланиш тармоғи томонидан бошқарув командаларидан фойдаланган ҳолда (масалан, тармоққа уланиш учун бирламчи аутентификация сўровини юбориб), ММЕ га қарши мантиқий DoS ҳужумини амалга оширади. Бундай ҳужумлардан мақсад тармоқда узилишларга эришиш ёки қандайдир eNB ларни алмаштириш ҳисобланади. Бундай ҳужумларга тармоқ тугунларини аутентификациялаш билан бирга бошқарув командалари бутунлигини ҳимоялашдан фойдаланиш ҳисобига қарши туриш мумкин. Шунингдек, АУ нинг гумонли ҳаракати сезилганда маълумот узатиш тезлигини камайтириш чораларидан фойдаланиш ҳам мумкин.

3.7.1.4. Мобилликни бошқарув тизимига таҳдидлар

Бу ҳужум ҳам мобилликни бошқарув протоколига, ҳам архитектурасига тегишли бўлиб, бунда авваламбор АУ ва тармоқлар орасидаги “хэндоверни” бошқаруви тушунилади. Бундай турдаги ҳужумлар ва таҳдидлар бир неча турларга бўлинади.

Бошқарув сатҳидаги маълумотларга рухсатсиз уланиш

Мобилликни бошқарув трафикага рухсатсиз уланиш ҳисобига абонентлар ва тармоқ провайдерлари ҳақида “таъсирчан” маълумотларга эга бўлиш мумкин ва бу билан тизимнинг конфеденциаллиги бузиш мумкин. Бошқарув сатҳидаги маълумотларни ушлаб олиш мумкин қачонки улар ҳеч қандай ҳимояланмаган бўлса, ёки, агар улар ҳимояланган бўлса ҳам, шифрлаш бошланадиган тугунни бузиш, алдаш ёки ниқоблаш усуллари ҳисобига. Трафикнинг ушлаб олинишига қарши шифрлашдан, бузишдан ҳимояланиш учун эса калитлар сақланадиган тармоқ тугунларини жисмоний муҳофаза қилиш, ҳамда уланишни аутентификациялаш ва авторизациялашдан фойдаланиш мумкин.

Шахсий маълумотларнинг махфийлиги

Мобилликни бошқарув хизмат трафигини кузатиш ва таҳлил қилиш ҳисобига шахсий маълумотларнинг махфийлигини бузиш мумкин (масалан, абонентнинг жойлашган ўрнини аниқлаш мумкин). Бунга қарши туриш воситалари юқоридаги ҳужумдагидек бўлиши мумкин ва, шунингдек, шифрлаш билан бирга хэшлаш ишлатилиши ҳам мумкин.

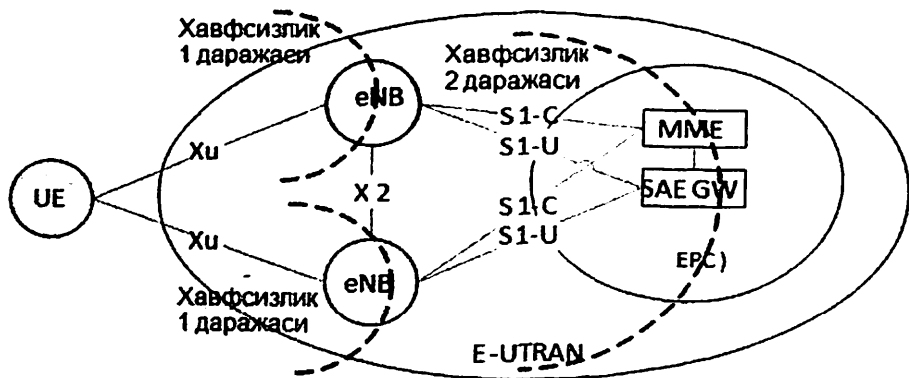
3.7.2. LTE тармоқларида ахборот хавфсизлигини ташкил этилиши

LTE тармоқларида ахборот хавфсизлигини ташкил этишнинг асосий принципи бу уланиш даражаси - AS (eNB даги RRC даражаси) ва уланишга жавоб бермайдиган даража - NAS орасидаги бошқарув сигналларини ҳимоялаш чораларининг ажратилиши бўлди. Шунингдек, абонент сатҳидаги хавфсизлик жараёнларини eNB дан юқорироқда бажариш ҳамда радиоуланиш ва таянч тармоқлари учун турли шифрлаш калитларидан фойдаланишга қарор қилинди. Натижада, LTE тармоқлари UTRAN тармоқларида ишлатиладиган бир даражали периметр бўйича ҳимоялаш тизимидан фарқли ўлароқ икки даражали ҳимоялаш тизимига эга бўлди. Ушбу тизимнинг биринчи даражаси E-UTRAN радиоуланиш тармоғи хавфсизлигини таъминласа (RRC хавфсизлиги ва абонент сатҳини ҳимоялаш), иккинчи даража эса EPC таянч тармоғини ҳимоя қилади (NAS сигналларининг хавфсизлиги).

Ишлаб чиқувчиларнинг мақсади радиоуланиш даражасидаги (1-чи даража) бузилишларнинг EPC даражасига (2-чи даража) таъсирини минималлаштириш бўлди. Бу ёндашув тармоқнинг умумий хавфсизлигини кучайтирди ва eNB тугунларини, тармоқнинг умумий хавфсизлигини пасайтирмаган ҳолда, камроқ ишончли жойларга жойлаштиришга ҳам имкон берди. Шунингдек бундай ечим ҳатто таянч тармоғи турли радиоуланиш технологиялари билан ишлаган ҳолда ҳам тармоқ хавфсизлиги ҳолатини таҳлил қилиш ва баҳолаш имкониятини соддалаштиради. Лекин бу шуни ҳам билдирадики, энди S1-C (ингл. *S1-Control*) ва S1-U (ингл. *S1-User*) деб белгиланган бошқарув ва абонент сатҳларидаги 1 ва 2 даражалар орасидаги интерфейсларни ташкил қилишга алоҳида эътибор талаб этилади.

Хатто агар ҳужум қилувчи 1-даражадаги ҳимояни буза олса ҳам, 2-даража бузилмаган қолади. Бироқ бунда бузилишнинг таъсирини минималлаштириш ва уни ажратиб қўйиш учун 1-даражадаги бузилишнинг бутун LTE/SAE тизимига қандай таъсир кўрсатишини баҳолаш зарур бўлади.

Шундай қилиб, S1-C ва S1-U-лардан ташкил топган S1 интерфейси хавфсизлик икки даражасининг ўзаро ҳамкорлик таянч нуқтаси бўлиб қолади ва шу сабаб ишлаб чиқаришда алоҳида эътибор талаб қилади (3.45-расм). eNB тугунлари ва EPC тармоқлари орасидаги барча хизмат маълумотлари хавфсизлик нуқтаи назаридан қатъий назорат қилиниши ҳам катта аҳамиятга эга.



3.45-расм. LTE тармоғида хавфсизлик даражалари

3GPP нинг 3.3.401 Техник спецификациясида беш гуруҳ хавфсизлик функциялари таърифланган (3.46-расм).

1. *Тармоққа хавфсиз уланиш* абонентларни мобил алоқа хизматларига хавфсиз уланишларини таъминлайди ва уланиш интерфейсларига ҳужумлардан ҳимоя қилади.

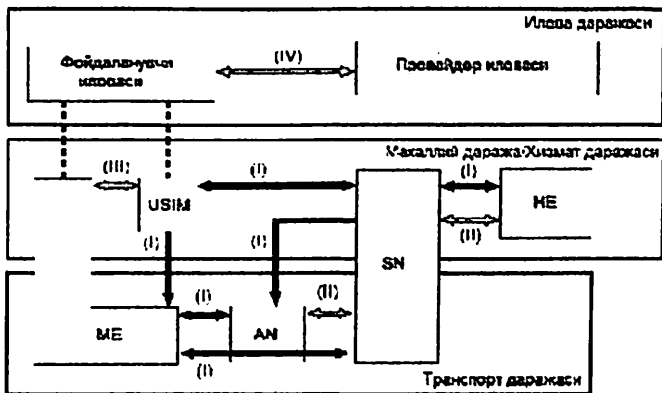
2. *Тармоқ домини хавфсизлиги* тармоқ тугунлари орасида бошқарув ва абонент маълумотларининг хавфсиз алмашувини таъминлайди ва симли тармоқларга қаратилган турли ҳужумлардан ҳимоя қилади.

3. *Фойдаланувчи домини хавфсизлиги* абонент ускуналарининг хавфсиз уланишини таъминлайди.

4. *Иловалар домини хавфсизлиги* абонент ва оператор доменларидаги иловалар орасида хавфсиз маълумот алмашувини таъминлайди.

5. *Хавфсизлик тизимининг кўرғазмаллиги ва соزلанувчанлиги* фойдаланувчига хавфсизлик функциялари фаоллигини кузатиш ҳамда

хизматларга уланишнинг қайси ҳолатларида хавфсизлик функциялари қўлланиши кераклигини билиш имконини беради.



3.46-расм. LTE/SAE тармоғида ахборот хавфсизлигини ташкил этилиши

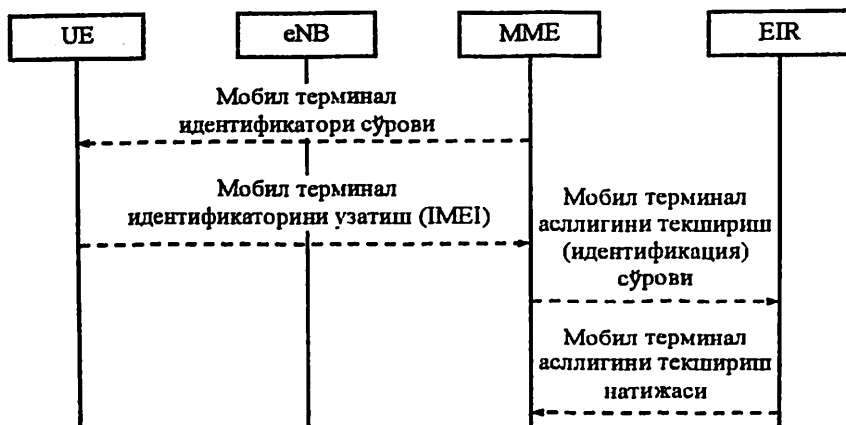
Хавфсизликнинг ҳар бир функцияси ўз ичига ёки қўшимча хизматларни, ёхуд бир ёки бир нечта мобил алоқа хизматларини тақдим этувчи тармоқ функцияларини олади. LTE/SAE тармоқларида хавфсизликни таъминлаш функциялари қўлланишида қуйидаги асосий масалалар ҳал қилинади:

1. Абонентни аутентификациялаш ва сўралган хизматларни кўрсатиш имкониятини тасдиқлаш ёрдамида LTE тармоғи хизматларидан ружсатсиз фойдаланиш ҳолатларидан ҳимояланиш.
2. Даврий идентификаторлар ва шифр калитлари ёрдамида абонент аутентификациясининг ҳимояланганлигини таъминлаш.
3. Шифрлаш ёрдамида абонент маълумотларининг махфийлигини таъминлаш.
4. Сигнализация хабарларидаги маълумотларни аутентификациялашни таъминлаш.
5. Тармоқларни мобил терминаллари томонидан аутентификациялашни таъминлаш.
6. Мобил терминаллارни идентификациялаш.

Ушбу масалаларнинг охиригини батафсилроқ кўриб чиқамиз.

Мобил терминални (абонент ускунасини) идентификациялаш мобиликни бошқарув модули – ММЕ, ёки «уй» абонентлар сервери - HSS ва ёки ускунани идентификациялаш регистри – EIR (ингл. *Equipment Identity Register*) ёрдамида P-GW шлюзи томонидан бажарилади ва ишлатиладиган абонент ускунасини асслигини (ишончлилигини) текшириш учун кераклидир. АУ ни асслигини текшириш тармоқга ўғирланган ёки бузиқ АУ ларнинг уланишини олдини олади. АУ нинг идентификацияси уни асслигини текшириш учун мобил терминал

идентификатори IMEI ни EIR регистрига жўнатиш йўли билан MME модулида амалга оширилади. Сўнг муносиб буйруқ берилиши учун EIR регистрининг жавоби таҳлил қилинади (масалан, агар EIR регистри АУ ни “қора рўйхатда” лигини аниқласа, “алоқани узиш” буйруғи жўнатилади). АУ ни аслигини текшириш жараёни 3.47-расмда кўрсатилган.



3.47-расм. Абонент ускунаси (мобил терминал) аслигини текшириш жараёни

«Роуминг» ҳолатида АУ ни идентификация қилиш хусусиятларини кўрсатиб ўтамиз.

АУ идентификацияси «уй» тармоғининг EIR регистри ёрдамида қуйидаги ҳолатларда амалга оширилади: меҳмон тармоқ АУ дан дастлабки уланиш (ингл. *Initial Attach*) га талаб олган ҳолларида, фақат бу талаб “хэндовер” жараёнини бажариш учун дастлабки уланиш ҳолларидан ташқари.

АУ ни идентификациялаш, шунингдек, абонент ускунаси UTRAN/GERAN тармоқларида бўлиб, сўнг E-UTRAN тармоғига кирганида ТАУ жараёни амалга оширилганда, агар АУ га хизмат кўрсатган SGSN тугуни АУ идентификацияси ҳақида маълумот бермаган бўлса, бажарилади.

Назорат саволлари

1. LTE технологияси ҳақида умумий маълумотларни келтиринг. LTE тизимлари характеристикаларига асосий талаблар қандай бўлган?
2. LTE стандартининг асосий техник характеристикаларини келтиринг.
3. LTE тизимида маълумот узатиш таянч тармоғининг янги архитектураси қандай ном олди? Унинг асосий вазифалари қандай?
4. LTE/SAE архитектурасида қайси бўлимлар асосий ҳисобланади? LTE/SAE умумий архитектурасининг соддалаштирилган схемасини чизинг.
5. E-UTRAN тармоғининг тузилмаси ва функцияларини баён этинг.
6. MME, S-GW ва P-GW тармоқ тугунларининг функцияларини баён этинг.
7. GSM ва WCDMA/HSPA тармоқлари LTE/SAE тармоқларига қандай уланади?
8. EPS нимтизимининг вазифаси қанақа? S1-flex механизми нимага хизмат қилади? Тармоқни биргаликда ишлатиш қандай амалга оширилади?
9. LTE/SAE архитектурасида бошқарув ва абонент сатҳларида протокол стекларини келтиринг.
10. RLC даражаси маълумот узатишнинг қандай ишончлилик режимларини таъминлайди?
11. LTE тизимида ишончлиликни таъминлаш учун қандай пакетларни такрорий узатиш механизмларидан фойдаланилади?
12. “Юқорига” ва “пастга” йўналишларда алоқа учун 2-чи даражанинг тузилмасини келтиринг.
13. LTE тизимидаги мантиқий каналларни ва уларнинг вазифаларини санаб ўтинг?
14. LTE тизимидаги транспорт каналларни ва уларнинг вазифаларини (қўлллишини) санаб ўтинг?
15. LTE тизимида мантиқий каналлар транспорт каналларга қандай тақсимланади?
16. Мобиллик нуқтаи назаридан абонент ускунаси қандай ҳолатларда бўлиши мумкин?
17. Актив ва ноактив режимларда АУ нинг мобиллиги қандай таъминланади?
18. LTE тизимларида қандай маълумот йўқолишини камайтириш механизмлари таклиф этилган? Улардан қайси бири танланган?
19. 3GPP лойиҳаси доирасида “хэндоверда” АУ учун контекстни узатишда RLC даражаси контекстини узатиш ва RoHC жараёнидан фойдаланиш масалалари қандай ечилган?
20. E-UTRA тармоғида “пастга” ва “юқорига” йўналишларда қандай каналларни ажратиш технологиялари танланган? Нима учун?

21. E-UTRA технологиясининг асосий микдорий характеристикаларини келтиринг.
22. E-UTRA фреймининг тузилмасини келтиринг.
23. OFDM технологиясига қисқача тавсиф беринг ва унинг асосий афзалликларини санаб ўтинг.
24. “Пастга” йўналишда OFDM/QAM модуляцияси қандай ишлайди?
25. E-UTRA тармоқларида кўп антеннали тизимлар нима сабабдан ва нима учун ишлатилади?
26. MIMO технологиясига тавсиф беринг? MIMO технологиясининг принципи нимада? MIMO технологияси қандай иш режимларига ажратилади?
27. MIMO ишлатилганда қабул қилинаётган канални қандай математик ифода билан кўрсатиш мумкин?
28. MIMO учун Шэннон формуласи қандай кўринишга эга?
29. Фазовий мультиплекслаш қандай турларга ажратилади? Улар қандай ишлатилади?
30. MIMO тизимида қандай фазовий ажратиш турлари ишлатилади?
31. Фазовий-вақтли кодлаш механизми қандай ишлайди?
32. Нурларни шакллантириш усулини ҳисобга олганда MIMO тизимларининг «интеллектуал» антенналарини қандай гуруҳларга ажратиш мумкин?
33. Радиочастота спектридан фойдаланиш масаласида алоқа индустриясининг анъаналари ва истиқболлари қандай? LTE тармоқларини қуриш учун эҳтимолли частота полосалари қандай?
34. Дунёнинг турли регионларида 700MGs диапазонда частоталарни қайта тақсимлаш қандай амалга оширилади?
35. 900MGs диапазонда LTE тармоқларини қуриш афзалликлари нимада ва бу диапазонда уларни қандай қурилиш кетма-кетлиги кутилмоқда?
36. IMT-2000 ер сирти хизматларини ривожлантириш учун бўйича бутунжаҳон радиоалоқа конференцияси (БРК) томонидан қандай частоталар полосаси аниқланган?
37. LTE тизимларини ривожлантириш учун бошқа қандай частоталар диапазони номзод ҳисобланади ва IMT-2000 ва IMT Advanced тизимларини ривожлантириш учун қандай бўлажак радиочастоталарга зарурат мавжуд?
38. QoS алоқа сифати кўп ҳоллар учун қандай параметрлар орқали аниқланади?
39. Алоқа ва АТ соҳаларида қандай QoS моделлари қўлланилади?
40. Кафолатланган QoS даражасини таъминлаш учун LTE тизимида қандай ёндашувдан фойдаланилган?
41. LTE тармоғининг турли элементларига ва турли даражаларида хавфсизликка қандай таҳдидлар мавжуд?

42. Абонент ускунаси, таянч станция, мобилликни бошқариш тизими, “сунги миля” транспорт каналларига қандай таҳдидлар мавжуд?

43. LTE тизимида АУ ни кузатиш таҳдиди қайси параметрлар бўйича бўлиши мумкин?

44. Қандай ажратишни LTE тармоқларида ахборот хавфсизлигини таъминлашни асосий принципи деса бўлади?

45. 3GPP 33.401 Техник спецификацияда қандай хавфсизлик функцияларининг гуруҳлари аниқланган?

46. LTE/SAE тармоғида хавфсизликни таъминлаш функцияларининг бажарилишида қандай асосий масалалар ечилади?

4-боб. КЕНГ ПОЛОСАЛИ СИМСИЗ АЛОҚА ТИЗИМЛАРИНИНГ РИВОЖЛАНИШИ

4.1. Кенг полосали симсиз уланиш технологияларининг ривожланиш тарихи ва тавсифи

Кенг полосали симсиз уланиш (КСУ) технологиялари инфокоммуникацион технологияларнинг нимсинфи ҳисобланади ва бир-биридан олисдаги икки ва ундан ортиқ объектлар оралиғида симли уланишсиз ахборот узатиш учун ишлатилади. Симсиз алоқа учун радиотўлқинлар, инфракизил, оптик ёки лазерли нурланишлар ишлатилиши мумкин. Ҳозирги вақтда фойдаланувчиларга Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, RFID, ZigBee каби “тижорат” номлари билан маълум бўлган кўплаб симсиз технологиялар мавжуд. Уларни ҳар бири ўзининг қўлланиш соҳасини аниқлайдиган маълум характеристикалар тўпламларига эга.

Кенг полосали симсиз уланиш технологиялари симсиз ва тармоқ технологиялари синергиясини³⁷ наъмунаси ҳисобланади ва жуда катта ривожланиш истиқболига эга. Шу сабаб кенг полосали симсиз технологиялар тарихининг бошланиши деб, қайсидур маънода, илк радиоалоқа пайдо бўлишини ҳисоблаш мумкин. Маълумки, радиоалоқанинг биринчи омадли синовлари 1893 йилда серб олими Никола Тесла, кейинчалик 1895 йилда А. С. Попов ва Италиялик Гульельмо Маркони (*Guglielmo Marconi*) томонларидан бир-бирларидан мустақил равишда амалга оширилди. Бу кашфиётлар биринчи марта симсиз ахборот узатиш имкониятини кўрсатди ва бу билан алоқа ривожланиши тарихида янги эрани бошлади. Кейин эса инсоният қадамма-қадам симсиз алоқа ва ахборот узатиш тизимларида янада катта ютуқларга эришди, ҳусусан:

- XX асрнинг 20 йилларида амплитудавий модуляциянинг биринчи тижорат радиоблоклари пайдо бўлди;
- 1933 йилда частотавий модуляцияли радио кашф қилинди ва телевидение пайдо бўлди;
- 1946 йилда AT&T ва Bell Systems (АҚШ) компаниялари бўлажак сотали тизимларнинг тимсоли бўлган ҳаракатдаги телефон алоқа тажриба тизимини (ингл. *MTS*) ишга туширишди;
- 70 йилларнинг охирларида сотали алоқанинг биринчи авлод - 1G тизимлари ишга туширилди;

³⁷ Синергия - алоқида компонентларнинг оддий жаъмидан кўра ошадиган умумий таъсири билан фойдаланувчи икки ёки кўпроқ факторларнинг бирлашмаси (яъни, $2+2>4$ бўлган ҳол).

- 1973 йилда локал компьютер тармоқларнинг биринчи протоколи - Ethernet ишлаб чиқилди (кейинчалик у IEEE 802.3 статусини олди);

- 80 йилларда маълумот узатиш бўйича харбий тизим - ARPANET дастлаб миллий, кейин эса халқаро миқёсдаги умумий фойдаланиш тармоғи - INTERNET га айланди.

- XX асрнинг 90 йилларининг бошида маълумот узатиш тармоқларига кенг полосали симсиз уланиш усулининг биринчи ишланмалари пайдо бўлди.

Шундай қилиб, симсиз (аввалом бор, сотали) технологиялар симли (тармоқ) технологияларнинг шиддатли ривожланиши билан чамбарчас ҳолда, ҳамда компьютер ва Интернет технологияларининг оммабоплашиши туфайли хаётимизга узлуксиз ҳолда кириб келмоқда ва, тезкор ривожланиб, ўзлари ҳам янги хизматлар ва ускуналар яраталишига замин бўлмоқда.

Шу муносабат билан симсиз технологияларининг локал (WLAN), ўрта ва қисқа масофалардаги (WPAN) ва шаҳар ва туман қўламларидаги (WMAN) тармоқларини ривожланиши истиқболли ҳисобланади.

Симсиз технологиялар стандартларини ишлаб чиқишнинг бошланғич нуқтаси сифатида 1989 йилда IEEE (Электроника ва электротехника бўйича муҳандислар институти) қошида 802.11 кўмитаси ташкил этилиши ҳисобланади. Кўмита биринчи навбатда кичик (локал) ўлчамлардаги симсиз тармоқларни ишлаб чиқиш билан шуғулланди ва шу асно Wi-Fi тизимлари пайдо бўлди. Ушбу ғоя аста-секин “сўнги миля” алоқаси ва шаҳар ҳамда ҳудудий тармоқлар учун ҳам қўллана бошлади ва бу ўтган асрнинг 90 йилларини охирида IEEE 802.16 (WiMAX) стандартлар гуруҳини пайдо бўлишига олиб келди.

Ҳозирги вақтда Wi-Fi ва WiMAX тизимлари янада оммабоб бўлмоқда. Симсиз технологиялар фойдаланувчиларининг энг ўсувчи сегменти сифатида корпоратив мижозлар (яъни, ташкилот ишчилари) бўлмоқдалар. Маълумотларни симсиз узатиш хизмати муҳим сратегик восита бўлиб қолмоқда: у меҳнат унумдорлигини оширмоқда (хизматчилар корпоратив ахборотларга ҳар доим ва ҳар жойда улана олишади, янгиликлар ҳақида тезроқ хабардор бўлишади), мижозларга кўрсатилаётган хизматлар сифатини оширмоқда (мижозлар талабларини тезроқ қабул қилиб, уларни тезроқ қондириш мумкин) ва рақобатли афзалликларни яратмоқда (ахборот алмашуви тезлигини ошириш ва шу билан қарор қабул қилиш тезлигини ҳам ошириш мумкин).

Симсиз технологияларнинг ривожланишида уй фойдаланувчиларининг аҳамияти катта. Уй тармоғида қанча кўп ускуна бўлса, уларни боғлайдиган симлар ҳам уйни шунчалик кучли ўраб олади. Ва бу симсиз технологияларга ўтишга сабаб бўлади. Замонавий уйнинг комфортлик (қулайлик) даражасини ошириш, яъни унинг барча тузилмалари ва объектларини (компьютерлар, телевизор, рақамли фотокамера, уй мусиқий маркази, қўриқлаш тизими, иқлим тизими,

маиший техника ва бошқалар) бир тизимга бирлаштириш – бу “ақли уй” гоёсининг асосидир ва бунда симсиз технологиялардан фойдаланиш кўзда тутилган.

Бу ерда шунини таъкидлаб кетиш зарурки, кенг полосали симсиз технологияларнинг ривожланиши ахборот хавфсизлигини таъминлаш масалаларини янада долзарб қилади. Симсиз тармоқлар ишлатилганда асосий тахдидлар хабарларни, паролларни, кредит карточкалар номерларини илиб олиш, тўланган уланиш вақтини ўғирлаш, коммуникацион марказлар ишига араланиш ва бошқалар ҳисобланади. Бу муаммолар алоқа стандартларини такомиллаштириш жараёнида ҳал қилинади.

4.2. Кенг полосали симсиз технологияларни классификацияси (синфларга бўлиш) бўйича ёндашувлар

Симсиз технологиялар назариясида уларни синфларга бўлишда турли ёндашувлар мавжуд. Жумладан, рақамли ва аналог, тор ва кенг полосали технологиялар ажратилади. Бу ажратишларга аниқлик киритиш учун бир қанча тушунтиришларни келтирамиз.

Рақамли технологиялар ҳақида гап кетганда кўпинча сигнал ҳам рақамли (дискрет) шаклга эга бўлиши тушунилади. Бу тушунча кўпроқ симли тармоқлар учун тўғри бўлади. Симсиз тармоқларда эса “рақамли” белгиси радиоканал орқали узатиладиган ахборотларга тегишли, аммо радиосигнални ўзи эса ҳали ҳам гармоника шаклидаги модуляцияланган аналог сигнали бўлади.

Тор ва кенг полосали тизимлар орасидаги фарқни ҳам осон аниқлаб бўлмайди (улар орасидаги чегара ҳам технологиялар ривожланган сари юқорига силжимоқда). Шунингдек, бу белгига нисбатан ҳам симли ва симсиз технологияларда қабул қилинган тушунчалар орасида фарқ кузатилади. Масалан, симли тармоқ технологияларида маълумотни тор полосада (ингл. *baseband*) узатиш деганда рақамли узатиш шакли тушунилади (яъни, дискрет электр ёки оптик импульслар воситаси билан). Ва аксинча, кенг полоса (ингл. *broadband*) сифатида электрон ёки оптик тўлқинларни ишлатадиган аналог каналлар назарда тутилади. Симсиз тармоқларда назарий қабул қилинишича, ишчи полосасининг кенглиги F бу полосанинг марказий частотаси f_c дан анча кам (яъни, $F/f_c \ll 1$) бўлган тизим тор полосали ҳисобланади. Акс ҳолда, тизим кенг полосали ҳисобланади. Амалда эса ҳозирги вақтда 1,25MGs дан 40MGs гача кенгликдаги каналларни ишлатадиган технологиялар кенг полосали тизимлар туркумига киритилади. Шунингдек, кенг полосали технологиялар юқори маълумот узатиш тезлигини (1Mbit/секдан паст эмас) таъминлайди.

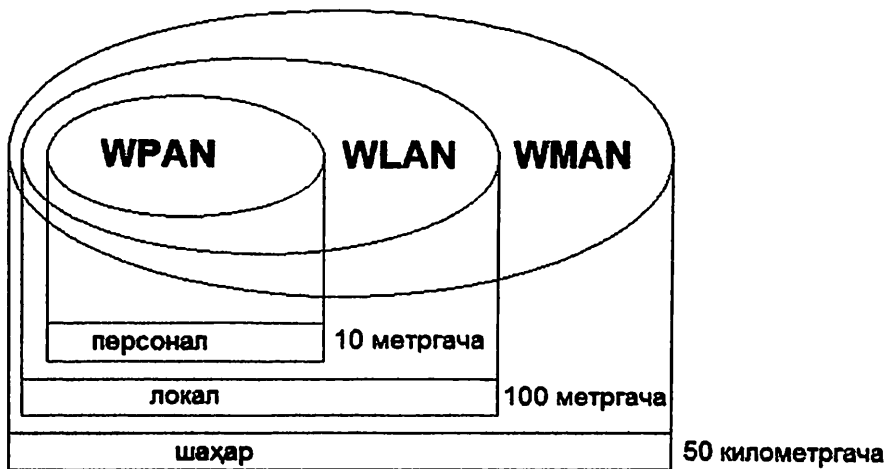
Мазкур қўлланмада кенг полосали симсиз рақамли тизимлар синфига кирадиган технологиялар ёритилади ва уларни синфларга бўлишда кўпинча қуйидаги ёндашувлар ишлатилади:

1. Алоқанинг узоклиги бўйича тармоқлар қуйидаги синфларга ажратилади:

- Бир неча дециметрлардан бир неча декаметрларгача радиоқамровга эга симсиз персонал тармоқлар (ингл. *Wireless Personal Area Networks* - *WPAN*). Периферия ускуналари, турли ҳисоблагичлар, хабарчилар (рус. *датчик*) ва бошқалар билан алоқа учун мўлжалланган. Бу технологиялар мисоллари: Bluetooth, RFID, ZigBee лардир.

- Бир неча юзлаб метрларгача таъсир этиш радиусили симсиз локал тармоқлар (ингл. *Wireless Local Area Networks* - *WLAN*). Улар офис (ташқилот) ичидаги (баъзан офислараро) алоқани ташкил этиш учун мўлжалланган. Улар қаторига Wi-Fi, DECT, Femto-cota каби технологияларни кўшиш мумкин.

- Бир неча, ҳатто ўнлаб километрларгача қамров радиусига эга шаҳар (ҳудуд) кўламидаги симсиз тармоқлар (ингл. *Wireless Metropolitan Area Networks* - *WMAN*). Йирик шаҳар атрофида ёки туманларда хизмат кўрсатадиган тармоқларни яратиш учун мўлжалланган тизимлар. Улар сифатида WiMAX ва WiBro технологиялари, сотали ва транкинг, шунингдек радио ва телеузатиш тизимлари мисол бўлиши мумкин (4.1-расмга қаранг).

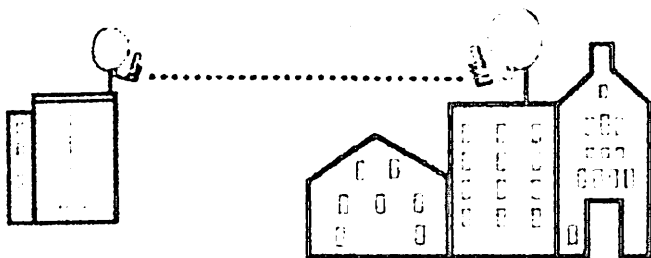


4.1-расм. Алоқанинг узатиш бўйича симсиз технологияларнинг синфларга бўлиниши

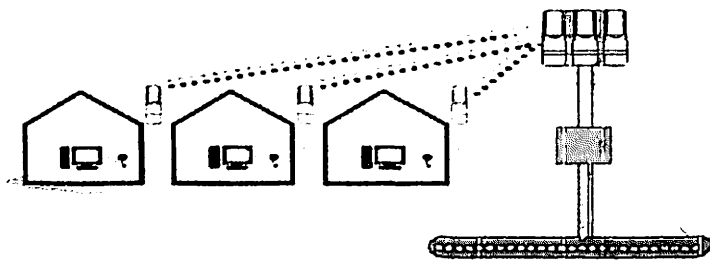
Шунингдек, баъзан глобал кўламдаги симсиз тармоқлар (ингл. *Wireless World wide Area Networks* - *WWAN*) ҳам алоҳида ажратилади. Улар қаторига аввалом бор йўлдошли алоқа тизимлари, шунингдек “глобал роуминг” туфайли сотали алоқа тизимлари ҳам киритилади.

2. Тармоқлар топологияси бўйича қуйидаги уланиш режимлари ажратилади:

- тармоқнинг икки тугуни бевосита уланадиган “нуқта - нуқта” режими.
- бир уланиш нуқтаси (таянч станция) кўп сонли абонент ускуналари билан уланадиган “ нуқта – кўп нуқта” режими (4.2–расмга қаранг, мос равишда а) ва б)).



а)



б)

4.2–расм. Тармоқ топологияси бўйича симсиз технологияларнинг синфларга бўлиниши

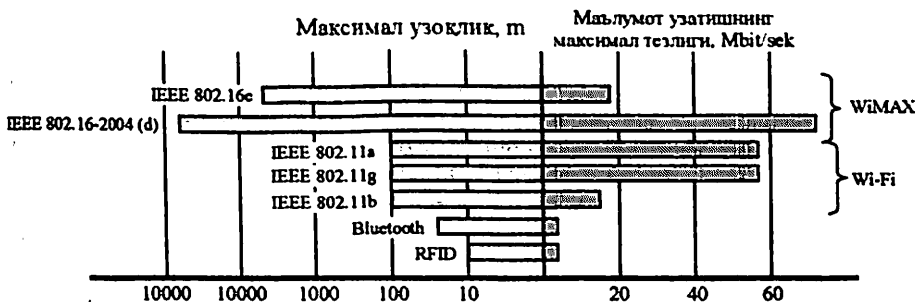
3. Қўлланиш тури бўйича симсиз тармоқлар қуйидагиларга бўлинади:

- ўз заруратлари учун ташкилотлар ва компаниялар томонидан яратиладиган корпоратив тармоқлар.

- тижорат хизматларини кўрсатиш учун алоқа операторлари томонидан яратиладиган тармоқлар.

4. Шунингдек қисқа ва сизимли классификатор сифатида КСУ технологияларнинг икки энг муҳим характеристикаларини бир вақтда таққослаб кўрсатиш ҳам мумкин. Булар қуйидагилардир:

- маълумот узатишнинг максимал тезлиги;
- максимал алоқа узоқлиги. (4.3–расмга қаранг).



4.3-расм. Маълумотларни узатиш тезлиги ва алоқанинг узоклиги бўйича симсиз технологияларнинг синфларга бўлиниши

Хулоса қилиб шуни таъкидлаш лозимки, кенг полосали симсиз алоқа тизимларини синфларга бўлишга ёндашувларда (бошқа мураккаб ва ривожланаётган тизимлардаги каби) классификация мезонларининг ўзи ҳам бир хил эмаслигини ва ўзгарувчанлигини ҳисобга олиш зарур.

4.3. Wi-Fi технологиясининг таҳлили

Wi-Fi технологияси ҳақида ахборотлар етарлича қўплигини ҳисобга олган ҳолда, мазкур қўлланмада у қисқача баён этилган. Шунингдек, WLAN синфидаги технологияларга алоҳида китоб бағишланиши режалаштирилган.

Wi-Fi (ингл. *Wireless Fidelity* – бошланишида “симсиз аниқлик” деб ифодаланган) технологияси деб Wi-Fi Alliance консорциуми томонидан ишлаб чиқилган WLAN синфига қарашли ва IEEE институтининг 802.11 стандартлар туркумига кирган тизим ҳисобланади. Ушбу технология юқори сифатли овоз ёзиш ва эшитириш стандарти Hi-Fi (ингл. *High Fidelity* - “юқори аниқлик”) га ўхшатиб номланган.

Wi-Fi тармоқларидан фойдаланиш симли тармоқлар қуриш мумкин бўлмаган ёки иқтисодий тарафдан мақсадга мувофиқ бўлмаган жойларда тавсия этилади. Ҳозирги вақтда Wi-Fi тармоқлари ҳам корпоратив, ҳам хусусий фойдаланувчилар томонидан кенг ишлатилмоқда. Замонавий Wi-Fi тизимларида маълумот узатиш тезлиги муайян шароитларда 600Mbit/секларгача етади. Wi-Fi тармоқларида алоқанинг турғун ва мобил режимлари қўллаб-қувватланади. Абонент қабул қилгич / узаткич ускунаси – “Wi-Fi адаптери” билан жиҳозланган мобил терминаллар (чўнтак компьютерлари, смартфонлар ва ноутбуклар) локал тармоқларга ва уланиш нуқтаси ёки “хот-спот” деб номланган нуқталар орқали Интернетга уланиши мумкин.

4.3.1. Wi-Fi технологиясининг ривожланиш тарихи

Юқорида айтиб ўтилганидек, WLAN синфидаги тармоқларнинг ягона стандарти устида ишлар IEEE институти қошида яратилган 802.11 ишчи гуруҳи доирасида бошланган эди. Wi-Fi технологиясининг илк намунаси 1991 йилда Нйвергейн шаҳрида (Нидерландия) NCR Corporation/AT&T (кейинчалик Lucent ва Agere Systems) компанияси томонидан ишлаб чиқилди. Ускуна дастлаб касса аппаратларида ишлатиш учун мўлжалланган ва бозорга WaveLAN номида чиқарилган эди. Ўшандаёқ бу ускуналар 1 дан 2Mbit/секгача маълумот узатиш тезлигини таъминлай оларди. Wi-Fi технологиясини асосий ишлаб чиқувчиси - жаноб Вик Хейз (*Vic Hayes*) “Wi-Fi отаси” деган ном олди ва кейинги IEEE 802.11b, 802.11a ва 802.11g стандартларини ишлаб чиқишда қатнашган жамоанинг аъзоси бўлди [34].

1997 йилда IEEE 802.11 белгисини олган биринчи Wi-Fi стандарти пайдо бўлди. Бу стандарт радиочастота ва инфракизил тўлқинларида ишлашга мўлжалланган бўлиб, 1 ва 2 Mbit/сек маълумот узатиш тезликларини тақдим этди. Радиочастота каналида частоталарда сакраш (рус. *перескок*) ҳисобига спектрни кенгайтириш (ингл. *Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS*) ва тўғри кетма-кетлик ҳисобига спектрни кенгайтириш (ингл. *Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS*) усуллари ишлатилди.

Аммо, ҳатто 1997 йил учун ҳам 1 – 2Mbit/сек тезликлар етарли бўлмади ва 802.11 гуруҳи янги юқорирок тезликларни тақдим этадиган стандартларни ишлаб чиқиш устида ҳаракатлар бошлади. Бу вақтга келиб кўплаб давлатларда Wi-Fi тармоқлари учун ХТИ томонидан тавсия этилган 2400-2483,5MGs ва 5150-5350MGs диапазонларидаги полосаларга рухсат берилди ва ҳар иккала диапазонларда стандартлар яратиш устида параллел ишлар олиб борилди.

Дастлаб 1999 йилнинг 16 сентябрида 2,4GGs диапазонига мўлжалланган ва маълумот узатиш тезлигини назарий жиҳатдан 33Mbit/секга оширган IEEE 802.11b стандарти пайдо бўлди. Ишлатилган асосий модуляция/кодлаш ССК (ингл. *Complementary Code Keying*) усули 11 Mbit/секгача тезликни таъминлади ва кўшимча PBCC (ингл. *Packet Binary Convolutional Coding*) пакетли бинар ўрашли кодлаш (рус. *свёрточное кодирование*) усули тезликни 22 ва 33Mbit/сек гача оширди.

5GGs диапазони учун мўлжалланган IEEE 802.11a стандарти “11b” версиясидан кейинрок, яъни 1999 йилнинг сентябрида, пайдо бўлса-да, лекин характеристикалари бўйича ундан ўзиб кетди. У 54Mbit/сек гача маълумот узатиш тезлигига эришди. Бунга ўша пайтда принципиал янги бўлган OFDM механизмидан фойдаланиш туфайли эришилди.

2003 йил июнида IEEE 802.11b стандартининг такомиллаштирилган версияси - IEEE 802.11g пайдо бўлди. У “11b” нинг частота диапазонида ишлар эди, ва “11a” нинг тезлигини (яъни 54 Mbit/сек) таъминлар эди.

Ниҳоят 2009 йилнинг 11 сентябрида узоқ кутилган IEEE 802.11n стандарти дунёга келди. Уни пайдо бўлиши Wi-Fi технологияларида янги “сақраш” бўлди. “11n” стандартида MIMO технологияси, MAC-пакетларни агрегациялаш усули, 40MGs частоталар полосасидан фойдаланиш каби қўплаб технологик янгиликлар қўлланилди ва биргаликда бу стандартдаги юқори маълумот узатиш тезлигини таъминлади (назарий жиҳатдан 600Mbit/sek гача). “11n” стандарти аввалги барча стандартлар (яъни, “a”, “b” ва “g” версиялари) билан мослаша олади ва бугунги кунга келиб (2011 йилнинг боши) дунёда энг кўп тарқалган Wi-Fi стандарти бўлиб қолди [35].

Ҳозирги вақтда ўзининг характеристикалари бўйича 4G технологиялари талабларига мос бўла оладиган стандартнинг кейинги версияси, хусусан IEEE 802.11ac стандарти устида ишлар олиб борилмоқда.

4.3.2. Wi-Fi технологиясининг ишлаш принциплари

Одатда, Wi-Fi тармоғининг тузилмаси камида битта уланиш нуқтаси (УН) ва камида битта абонент ускунаси – Wi-Fi адаптердан иборат бўлади [36]. Шунингдек, УН ишлатилмаганда иккита адаптерни “нуқта-нуқта” режимида улаш мумкин ва бунда абонент ускуналари бир бири билан Wi-Fi-адаптерлар орқали “тўғридан – тўғри” уланади. Уланиш нуқтаси ўз тармоқ идентификаторини (ингл. *Service Set Identifier, SSID*) махсус сигналли пакетлар ёрдамида ҳар бир 100 ms да 0,1Mbit/sek тезликда узатади (демак, Wi-Fi тизимлари учун маълумот узатиш тезлигининг энг кичик кўрсаткичи 0,1Mbit/sek ҳисобланади). Тармоқ SSID сини билган адаптер бу УН га уланиш мумкинлигини аниқлаши мумкин. Бир хил SSID ли иккита УН нинг таъсир этиш зонасига тушганда адаптер сигнал даражасига асосланиб улардан бирини танлаши мумкин. Wi-Fi стандарти абонент ускунасига УН билан уланиш ва «роуминг» учун мезонларни танлашда тўла эркинликни беради.

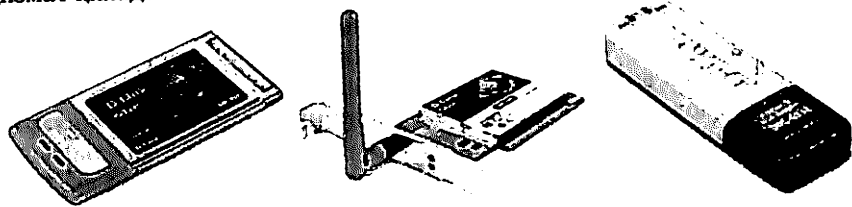
4.3.2.1. Тармоқнинг асосий элементлари

Симсиз тармоқни қуриш учун Wi-Fi-адаптерлар ва уланиш нуқталари ишлатилади.

Адаптер (4.4-расм) PCI, PCMCIA, Compact Flash кенгайтириш слотлари ва USB 2.0 порти орқали уланадиган ускуна ҳисобланади. Wi-Fi-адаптер симли тармоқдаги тармоқ картаси (рус. *сетевая карта*) каби функцияларни бажаради, яъни фойдаланувчи компьютерини симсиз тармоққа улаш учун хизмат қилади.

Intel нинг Centrino платформаси туфайли барча замонавий ноутбуклар қўплаб Wi-Fi стандартлари билан мослаша оладиган адаптерлар билан жиҳозланган. Wi-Fi-адаптерлари билан ҳозирги кунда барча замонавий КПК (чўнтак персонал компьютерлари) ва смартфонлар

ҳам жиҳозланган ва бу ҳам ўз ўрнида технологияни оммавий бўлишига хизмат қилади.

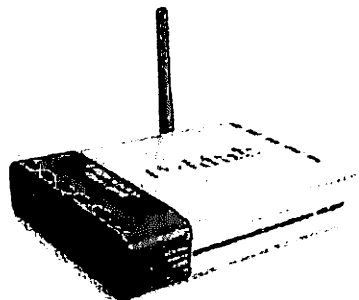


4.4-расм. Wi-Fi-адаптерлар

Симсиз тармоқ ташкил этиш учун Wi-Fi-адаптер бошқа адаптерлар билан тўғридан-тўғри алоқа ўрнатиши ҳам мумкин. Бундай тармоқ “бир даражали” ёки “Ad Hoc” (ингл.-н. “ушбу ҳолат учун”) дейилади. Адаптер шунингдек, УН орқали алоқа ўрнатиши ҳам мумкин, у ҳолда бундай режим “инфратузилмали” дейилади. Улаш услубини танлаш учун адаптер Ad Hoc ёки инфратузилмали режимлардан бирига созланиши керак.

Уланиш нуқтаси деб (4.5-расм) ичига ўрнатилган микрокомпьютер ва қабул қилгич/узаткичдан иборат бўлган автоном модуль номланади.

Уланиш нуқтаси орқали адаптерлар орасида симсиз ахборот алмашуви ва ўзаро ҳамкорлиги, шунингдек, тармоқнинг симли сегменти билан алоқа амалга оширилади. Шундай қилиб, уланиш нуқтаси коммутатор ролини ўйнайди. УН тармоқ интерфейсига (ингл. *uplink port*) эга ва уни ёрдамида у оддий симли тармоқларга уланиши мумкин. Айнан мана шу интерфейс орқали УН ни созлаш ҳам мумкин. УН ҳам абонентлар (Wi-Fi-адаптер) билан уланиш учун (таянч режим), ҳам симсиз тақсимланган тармоқ - WDS (ингл.-н *Wireless Distributed System*) яратиш мақсадида бошқа УН лар билан уланиш учун ишлатилиши мумкин. Ўз навбатида WDS режими “нуқта – нуқта”, “нуқта – кўп нуқта”, “симсиз клиент” ва “такрорлагич” турларидаги алоқани ташкил этиш учун ишлатилади.



4.5-расм. Уланиш нуқтаси

Тармоққа уланиш эфирга кенг қамровли сигналларни узатиш йўли билан таъминланади. Бунда Wi-Fi-адаптер бир неча УН лар қамров зонасида бўлиб, улардан сигналлар олиши мумкин. Адаптер олинадиган сигналларни филтрлаш ва улардан ўзига тегишли УН ни ажратиши учун хизмат кўрсатиш зонаси идентификатори SSID (ингл-н *Service Set Identification*) дан фойдаланади. Хизмат кўрсатиш гуруҳи (ингл. *Service Set - SS*) деб симсиз тармоқда уланишни таъминлайдиган (одатда, Ad Hoc режимида) манتيкий гуруҳлантирилган ускуналар айтилади. Таянч хизмат кўрсатиш гуруҳи деб (ингл. *Basic Service Set, BSS*) УН лар орқали бир-бирлари билан боғланган абонент станциялари тўплами айтилади. Бунда икки режим ажратилади: бевосита BSS ва ESS (ингл. *Extended Service Set*). BSS режимида барча тармоқ тугунлари фақат битта УН орқали ўзаро уланишлари мумкин. Бунда УН, шунингдек, ташқи тармоқлар билан кўприк ролини ҳам бажариши мумкин. Кенгайтирилган - ESS режимида эса симсиз тармоқ бир неча BSS-тармоқлар инфратузилмадан ташкил топган бўлиб, УН лар бир-бирлари билан ўзаро боғланишади ва бу бир BSS дан бошқасига трафик узатиш имкониятини беради. Бунда УН ларни ўзаро уланиши кабел линиялари ёки радиокўприклар орқали амалга оширилади.

4.3.3. Wi-Fi технологиясининг афзалликлари ва камчиликлари

Wi-Fi технологиясининг асосий афзалликлари сифатида куйидагиларни келтириш мумкин:

- замонавий тармоқларнинг тезлиги анча юқори (300Mbit/sek ва унданхам юқори) бўлиб, бу жуда кенг масалаларда улардан фойдаланиш имкониятини беради.
- Wi-Fi стандартларининг очиқлиги турли ишлаб чиқарувчилар жиҳозларининг ўзаро мослашувини таъминлайди, натижада жиҳозларни нархини камайтиришга олиб келади.
- Wi-Fi технологияси кабел ўрнатиш самарали бўлмаган ёки хатто мумкин бўлмаган жойларда алоқа ўрнатиш имкониятини беради;
- тармоқларни кабел ўтказмай яратиш имконияти уларни қуриш ва кенгайтиришга сарфланадиган харажатларни камайтиришга олиб келади.
- тармоқларни тезкор равишда ташкил қилиш имконияти масофали конференциялар ўтказишда ёки офисдан ташқарида ишлашда жуда қўл келади;
- уланиш нуқталари орасида абонент ускуналарининг ҳаракатланиш имкониятини берадиган “роуминг” хизматини қўллаб-қувватланиши;
- глобал даражада ягона стандартлаштиришнинг мавжудлиги туфайли бутун дунё бўйлаб турли давлатларда Wi-Fi жиҳозларининг ишлатилиши имконияти.

Wi-Fi технологиясининг камчиликларига қуйидагиларни киритиш мумкин:

- Wi-Fi тизимлари чекланган ишлаш радиусига эга. (оддий уй Wi-Fi маршрутизатори 802.11b ёки 802.11g стандартида бинони ичида 45 m гача ва бино ташқарисида 90 m гача ишлаш радиусига эга).

- реал вақт масштабида ишлайдиган иловалар учун кам яроқлилиги (масалан, IP-телефонида қўлланиладиган RTP протоколи учун). Медиа оқимнинг сифатини олдиндан айтиб бўлмайди чунки фойдаланувчига боғлиқ бўлмаган қатор омиллар сабабли (атмосфера ҳалақитлари, ландшафт ва фойдаланилган частоталар) маълумот узатишда кўп йўқотишлар бўлиши мумкин.

- ҳатто беҳато конфигурацияда ҳам WEP шифрлаш алгоритми бузилиши нисбатан осон (шифрлаш калитининг кучсизлиги туфайли). Янги абонент ускуналари такомиллаштирилган WPA-2 шифрлаш протоколини қўллаб-қувватласада, кўплаб эски УН лар уни “тан олмайди” ва WEP га алмаштирилишини талаб қилади.

- частота диапазонлари ва ишлаш бўйича чеклашлар турли давлатларда бир хил эмас (масалан, Европадаги бир қанча ажратилган частотавий каналлар АҚШ да таъқиқланган. Италияда ва кўплаб Европа ҳамда МДХ давлатларида бино ташқарисида ишлайдиган барча Wi-Fi тармоқларни ёки бевосита Wi-Fi операторларни қайд қилиш талаб қилинади).

- турли ишлаб чиқарувчиларнинг ускуналари орасида тўлиқ мослашув йўқлиги ёки уларни стандартга тўлиқ мувофиқ эмаслиги туфайли уланиш имкониятлари чекланиши ёки алоқа тезлиги камайиши мумкин.

- бир хил каналда ёки қўшни каналларда ишлаганда ёпиқ ёки шифрлашни ишлатадиган УН ва очик УН сигналларининг устма-уст тушиши очик УН га ҳалақит қилиши мумкин (бу муаммо УН ларнинг катта зичлигида, масалан, катта кўп хонадонли уйларда вужудга келиши мумкин).

- бошқа стандартларга қараганда кўпроқ энергия истеъмол қилиниши батареяларнинг ишлаш вақтини камайтиради ва усқунанинг хароратини оширади.

4.3.4. Хавфсизликни таъминлаш масалалари

Симсиз технологиялар учун ахборот хавфсизлигини таъминлаш масалалари жуда муҳим ҳисоблансада, биринчи Wi-Fi стандартлари заиф ҳимоя тизимларига эга бўлган ёки умуман эга бўлмаган. Бунга сабаб дастлаб мазкур технологияларнинг бунчалик оммавийлашиши ва мувофиқ равишда хавфсизлик муаммоларининг бундай кескин бўлиши кутилмаганлигидир. Биринчи WEP (ингл. *Wired Equivalent Privacy* – симли тармоқлардаги хавфсизлик даражасига тенг) шифрлаш протоколи 1999

йилда жорий этилган ва “11b” стандартида ишлатилган эди. WEP протоколи симметрик (узаткич ва қабул қилгичда бир хил) статик (ўзгармайдиган) 64 бит узунликдаги калитларни (аслида 40 битлик калитга, 24 битлик инициализация вектори қўшилади) ишлатади ва бу калитларни бирма-бир танлаш йўли билан бир неча секундларда аниқлаб олиш мумкин. Бундай заифлик WEP ёрдамидаги шифрлашни самарасиз қилди. WEP протоколида динамик (ўзгарувчан) шифрлаш калитларидан фойдаланиш ҳам муаммони фақат қисмангина ҳал этди. Шунинг учун WEP заифлигини тўлиқ тузатиш учун калитни ва шифрлаш алгоритмини кучайтириш талаб этилди.

Бу мақсадда IEEE нинг стандартлар бўйича қўмитаси Wi-Fi технологияси учун хавфсизлик тизимини янгитдан ишлаб чиқишга қарор қилди. Натижада 2004 йилнинг июнида Wi-Fi Alliance гуруҳи томонидан ишлаб чиқилган, шунингдек WPA-2 протоколи сифатида маълум бўлган янги IEEE 802.11i стандарти пайдо бўлди [37]. IEEE 802.11i стандарти симсиз тармоқларнинг хавфсизлиги учун узоқ муддатли ва кенгайтирилган ечим ҳисобланади ва WEP камчиликларидан ҳоли бўлган тамомила янги хавфсизлик тизими деб аталади. IEEE 802.11i стандарти симсиз ускуналар хавфсизлиги бўйича қўшимча имкониятлар таъминлашни кўзда тутган “кучайтирилган тармоқ хавфсизлиги” - RSN (ингл-н *Robust Security Network*) концепциясини ишлатади. Бу эса апарат қисмида ва дастурий таъминотда ўзгаришларни талаб қилади ва шу билан RSN га тўлиқ мослашадиган тармоқларни WEP протоколини ишлатадиган мавжуд жихозлар билан мослашмайдиган қилиб қўяди. Шундай қилиб, бир қанча вақт ҳам RSN, ҳам WEP жихозлари қўллаб қувватланади, кейинчалик эса WEP ли ускуналар ишлатишдан умуман чиқариб ташланади.

4.3.5. Wi-Fi тармоқларининг амалий қўлланилиши

4.3.5.1. Wi-Fi тармоқларидан тижорий фойдаланиш

Ҳозирги вақтда Wi-Fi тармоқлари дунёда жуда кенг тарқалган. Wi-Fi асосидаги хизматларга ҳозирги кунда исталган оммавий жойда: ўқув масканларида, кутубхона, кафе, аэропорт ва меҳмонхоналарда улаиш мумкин. Лекин барибир бундай тармоқларнинг қамров зоналари сотали тармоқларниқига нисбатан эпизодик (парча-парча) бўлиб қолмоқда.

Бугунги кунга келиб дунёда энг йирик ва аҳамиятли Wi-Fi тармоқлари сафига қуйидагиларни киритиш мумкин:

- 2007 йилда Earthlink компанияси (АҚШ) Филадельфия шаҳрини Интернетга симсиз тармоқ асосида тўлиқ улаган ва шу билан уни Wi-Fi билан қамраб олинган АҚШ даги биринчи шаҳар – мегаполисга айлантирган.

- АҚШ ва Буюк Британияда Starbucks ресторанлар тармоғи учун хот-спотлар ишлашини, шунингдек Германияда 7500 дан ортиқ хот-спотлар ишини таъминлаган T-Mobile компанияси тармоғи.

- Golden Telecom компанияси томонидан Москвада яратилган дунёдаги энг катта шаҳар Wi-Fi тармоғи. Бу тармоқ, шунингдек, Яндекс – Wi-Fi лойиҳасини ишлатиш учун ўз алоқа каналларини тақдим этади.
- Франциядаги Ozone ва Ozone Paris тармоқлари. 2003 йилда Ozone компанияси Париж шаҳрини тўлиқ қамрайдиган марказлаштирилган Wi-Fi тармоғини яратиш мақсадида Ozone Paris тармоғини куришни бошлаган.

4.3.5.2. Wi-Fi тармоқларидан нотижорий фойдаланиш

Ҳозирги кунда кўплаб гуруҳлар, жамоалар, шаҳарлар ва, ҳатто, хусусий шахслар умумий “пиринг келишувидан”³⁸ фойдаланган ҳолда, тармоқлар бир-бири билан эркин ишлай олиши учун очик Wi-Fi тармоқларини куришмоқда. Очик Wi-Fi тармоқларини кенгайтириш мақсадида кўплаб шаҳар маъмуриятлари маҳаллий жамоалар билан бирлашмоқдалар. Кўпчилик гуруҳлар кўнгилли ёрдамларга ва ҳомийлар кўмакларига тўлиқ асосланган ҳолда Wi-Fi тармоқларини куришмоқда.

Унча катта бўлмаган баъзи давлатлар (масалан, Тонга қироллиги ва Эстония) ва шаҳарлар аҳоли яшаш жойларидан Wi-Fi хот-спотларига боғланиш орқали Интернетга эркин уланишни барчага тақдим этмоқда. Масалан Парижда Ozone Paris Wi-Fi тармоғини ўрнатишда ўзининг уйини томини фойдаланишга берганларга Интернетга чекланмаган уланиш тақдим этилмоқда.

Кўплаб университетлар ўз талабалари, ташриф буюрувчилар ва университет ҳудудидаги барча шахслар учун Wi-Fi тармоғи орқали Интернетга эркин уланишни таъминламоқда. Бундай тармоқлар Тошкент ахборот технологиялари университетида ва Тошкент темир йул транспорти муҳандислари институтида ҳам ишлаб турибди.

Шунингдек эркин уланишни фақат ўз аъзоларига тақдим этадиган ва аъзо бўлмаганларга уланишни тўлов асосида берадиган жамоалар ва ташкилотлар яратган бошқа тоифадаги тармоқлар ҳам кўпгина. Бундай вариантга Финляндияданинг Sparknet тармоғи мисол бўлиши мумкин. Sparknet тизими фойдаланувчилар ўз уланиш нуқталарини тармоқга қўшиб, бундан маълум бир фойда олиш имконини берадиган Open Sparknet лойиҳасини ҳам қўллаб-қуватлайди.

Тармоқларнинг аксарият қисми очик кодли дастурий таъминот асосида ёки очик лицензиялик эълон қилинган схемалар асосида курилмоқда. Масалан, “Wi-Fi Liberator” дастури MAC OS X ва Wi-Fi модули ўрнатилган исталган ноутбукни Wi-Fi тармоғининг очик тугунига айлантиради. OLSP³⁹ (ингл-н *Optimized Link-State Routing*) очик

³⁸ «Пиринг келишув» ёки «Пиринг» (ингл-н *peering* - қўшнилик) – ўз тармоқлари орасида трафик алмашуви бўйича операторлар орасидаги келишув ҳамда ушбу келишувни амалга оширувчи техник ҳамкорлик, яъни тармоқлар уланиши ва тармоқ маршрутлари бўйича маълумот алмашуви.

³⁹ OLSR - проактивный протокол маршрутизации, использующий обмен сообщениями приветствия и контроля для получения информации о топологии сети.

тармоқларни яратиш учун фойдаланиладиган протоколлардан бири ҳисобланади.

Назорат саволлари

1. Симсиз алоқа тизимларининг қисқача ривожланиш тарихини баён этинг.
2. Рақамли ва аналог, тор полосали ва кенг полосали технологиялар қандай фарқланади?
3. Алоқанинг узоклиги бўйича симсиз алоқа тизимларини синфларга бўлинг.
4. Тармоқларнинг топологияси бўйича симсиз алоқа тизимларини синфларга бўлинг.
5. Қўлланилиши бўйича симсиз алоқа тизимларини синфларга бўлинг.
6. Wi-Fi тизимларига умумий тавсиф беринг.
7. Wi-Fi тизимларининг қисқача ривожланиш тарихини баён этинг.
8. Wi-Fi тармоқларининг асосий элементлари ва ишлаш принципи қандай?
9. Wi-Fi тизимларининг асосий афзалликлари нимада?
10. Wi-Fi тизимларининг асосий камчиликлари нимада?
11. Wi-Fi тизимларида хавфсизлик қандай таъминланади?
12. Дунёдаги Wi-Fi тижорий тармоқларига мисоллар келтиринг.
13. Wi-Fi нотижорий тармоқлари қандай принциплар асосида қурилади?

5 - боб. WiMAX - КЕНГ ПОЛОСАЛИ СИМСИЗ УЛАНИШ ТЕХНОЛОГИЯСИ

5.1. WiMAX технологияси ҳақида умумий тушунчалар

Ҳозирги кунда кенг полосали симсиз алоқа тизимлари инсон ҳаёти фаолиятининг барча соҳаларига кириб бормоқда ва бутун дунёда: ривожланган давлатларда ҳам, ривожланаётган давлатларда ҳам инсонларнинг яшаш сифатини оширишга хизмат қилмоқда. Ушбу тизимлар ёрдамида турли хил вазифаларни ечиш мумкин: мультимедиа, интерактив ва персонал контентларга тезкор ва қулай уланиш, анъанавий нутқ алоқасини таъминлаш ёки маҳаллий ва глобал жамоалар доирасида ахборот алмашинувини амалга ошириш мумкин. IEEE 802.16 (кўпроқ, WiMAX сифатида маълум бўлган) стандартлар оиласи деб номланган кенг полосали симсиз алоқа тизимлари IMS (янги авлод IP га асосланган мультимедиа нимтизимлари) асосида кенг полосали тармоқлар учун яратилган хизматлар ҳамда тезкор Интернет каналларини ташкил этиш воситалари билан биргаликда фойдаланувчиларга (хусусан Интернетдан) кенг полосали симсиз уланишнинг принципиал янги имкониятларини тақлиф этади.

IEEE 802.16 стандартини пайдо бўлгунича Интернетга уланиш анча турғун бўлган, яъни фойдаланувчи иш жойидаги компьютерга ёки жуда бўлмаганда Wi-Fi уланиш нуқтаси доирасидаги ноутбукка боғлиқ бўлган. WiMAX тизимлари кенг полосали тармоқларга ва Интернетга уланишни янада мобил, янада оммабоп ва янада кенг тарқалган қилмоқда. Буни учун турғун, кўчма ва мобил абонентларга хизмат курсатадиган кенг полосали симсиз тармоқлар яратилмоқда. Шундай қилиб, Интернет ва унинг барча иловаларига, яъни ахборотлар, хизматлар ва алоқага ҳар доим ва ҳамма ерда уланиш муҳити шакллантирилмоқда. Бунда WiMAX тизимларига катта масъулият ажратилмоқда.

5.1.1. WiMAX тизимининг тавсифи

WiMAX тизимининг Wireless MAN симсиз тармоқлар тизимига киради. WiMAX атамаси инглизча “Worldwide Interoperability for Microwave Access” номини қисқартиришдан келиб чиқади, бу сўзма сўз таржима қилганда “Микротўлқинли радиоалоқа (ЎЮЧ) асосидаги тармоқларга уланиш учун бутун дунё ўзаро таъсирлашиш” ни билдиради.

Мазкур технология ҳар хил турдаги ускуналар учун (автоматлаштирилган ишчи станциялари ва портатив компьютерлардан тортиб мобил телефонларгача) катта масофаларга юқори тезликли симсиз универсал алоқани тақдим этиш мақсадида ишлаб чиқилган. WiMAX атамаси IEEE 802.16 стандартлар атамасини оммалаштириш мақсадида 2001 йил июнида асос солинган соҳавий форум (WiMAX Forum) томонидан тақлиф этилган [38].

IEEE 802.16 стандартларининг илк версияларида 10GGs дан 66GGs гача бўлган юқори частотали диапазонларда тўғри кўриниш ҳудудида (ингл. *Line of Sight, LOS*) ишлайдиган тизимлар тавсифланган. Кейинчалик 2GGs дан 11GGs гача диапазонларда тўғри кўриниш бўлмаган ҳудудларда ҳам (ингл. *None Line of Sight, NLOS*) ишлайдиган тизимларни қўллаб-қувватлайдиган стандартлар қўшимчаларини ишлаб чиқишга урғу берилган.

IEEE 802.16-2004 (шунингдек IEEE 802.16d ёки қисқаритириб “16d”) номи билан маълум бўлган стандартни яратишда стандартнинг аввалги версияларидаги барча ишланмалардан фойдаланилган. Бу тадбирлар бинолар ичида радиокамровни яхшилашга имкон берди ва, ўз навбатида, стол устида ишлатиладиган абонент ускуналарини яратишга имкон берди.

2005 йилнинг декабрида IEEE 802.16e (“мобил WiMAX” ёки “16e версияси”, баъзи ҳолларда “IEEE 802.16-2005”) сифатида маълум бўлган стандарт устида ишлар якунланди ва ҳозирги кунда у IEEE 802.16 стандартлар оиласида энг долзарб стандарт бўлиб қолди. Ҳозирда телекоммуникациялар бозорида юқорида кўрсатилган WiMAX стандартларининг асосан иккитаси, яъни фақат турғун терминаллар билан ишлайдиган IEEE 802.16d стандарти ва турғун, кўчма ва мобил абонентлар билан алоқа ўрната оладиган IEEE 802.16e стандарти намоён этилган. 2012 йилда WiMAX нинг янги стандарти – IEEE 802.16m тасдиқланиши кутилмоқда.

5.1.2. WiMAX тизими ва IMT-2000 дастури

Маълумки, Халқаро телекоммуникация иттифоқи (ҲТИ) 3G - учинчи авлод мобил алоқа тармоқларининг уйғунлаштириш мақсадида, яъни мобил алоқа стандартларининг кўп сонли бўлиб кетишини олдини олиш ва уларнинг глобал миқёсда ўзаро ишлай олиши учун IMT-2000 дастурини жорий этган эди. 2006 йилнинг ноябрида IEEE 802.16 стандартларининг асоси ҳисобланган янги IP-OFDMA радиоинтерфейсининг ушбу дастурга қўшиш ҳақида (ITU-R WP8F/ITU-R Pro.WP/ 1065) IEEE томонидан таклиф киритилган [39]. 2007 йилда ҲТИ IMT-2000 дастури доирасида тўртта турли уланиш технологиялари (FDMA, TDMA, CDMA ва OFDMA) га асосланган олти радиоинтерфейсларни ўз таркибида тасдиқлаган. Буларга қуйидаги радиоинтерфейслар киради:

- CDMA-Direct Spread - спектрни тўғридан-тўғри кенгайтириш асосида ишлайдиган CDMA технологияси. UTRA радиоинтерфейси, шунингдек, W-CDMA технологияси сифатида маълум (юқорида, 3 Бобда батафсилроқ берилган). UMTS ва FOMA стандартларида қўлланилади.
- CDMA-Multi Carrier - бир нечта элтувчилар асосида ишлайдиган CDMA технологияси. CDMA-2000 стандартлар оиласида қўлланилади.

- CDMA-TDD - вақт бўйича дуплекс асосида ишлайдиган CDMA технологияси. UTRA TDD радиоинтерфейси. TD-SCDMA стандартида қўлланилади.

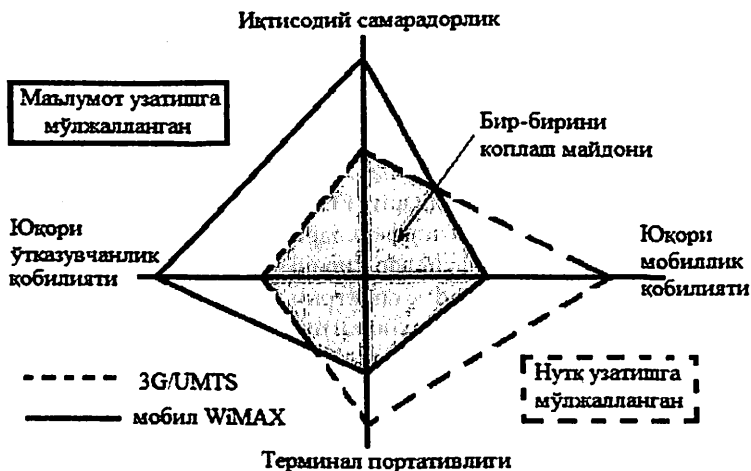
- TDMA-Single Carrier - бир элтувчи асосида ишлайдиган TDMA технологияси. UWC – IS-136 стандарти қўлланилиши кўзда тутилган.

- FDMA-TDMA - FDMA ва TDMA технологияларининг қўшилиши. DECT стандартида қўлланилади.

- IP-OFDMA - IP-протоколини қўллаб-қувватлайдиган бир неча ортогонал элтувчилар асосида кўп сонли уланиш технологияси. FDD частота бўйича дуплекс асосидаги OFDMA радиоинтерфейси. WiMAX ва LTE стандартларида қўлланилади.

OFDMA каналларни ажратиш технологияси WiMAX стандартини мобил версиясининг асоси сифатида қабул қилинган. OFDMA нинг афзаллиги яна шундаки, у истиқболли MIMO, STC ва йуналтириш диаграммаларини шакллантириш каби самарали антенна технологияларини қўллаб-қувватлаши туфайли янги мобил ва кенг полосали симсиз алоқа тизимларини яратиш учун асос ҳисобланади.

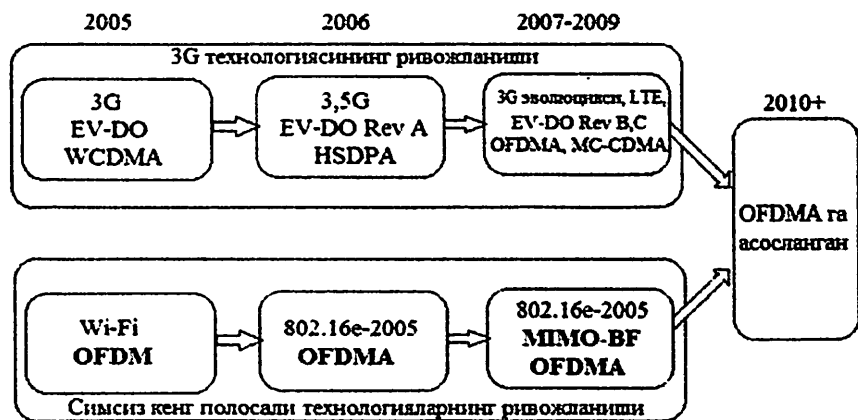
Эслатиб ўтиш керакки, WiMAX тизими аввалом бор маълумот узатишга асосланган кенг полосали симсиз уланиш технологияларининг ривожини ҳисобланади, аксинча, LTE тизими эса дастлаб овоз узатишга асосланган сотали алоқа технологияларига қарашлидир. Лекин бу жараёнда борган сари кенг полосали ва мобил алоқа тизимларининг конвергенцияси (бир-бирига яқинлашиши) янада яқол кузатишмоқда, хусусан, WiMAX технологияси катта мобилликка интилмоқда, LTE тизими эса ўта юқори тезликда маълумот узатиш имкониятлари томон ривожланмоқда (5.1-расм).



5.1-расм. Кенг полосали ва мобил алоқа тизимларининг конвергенцияси

WiMAX тизимларининг келгуси ривожии IEEE 802.16 гуруҳидаги янги стандартларнинг пайдо бўлиши билан боғлиқ деб ҳисобланмоқда. IEEE 802.16 ишчи гуруҳи доирасида стандартни такомиллаштириш бўйича кўп сонли тадқиқотлар ўтказилмоқда ва ҳозирги вақтда энг истиқболли деб IEEE 802.16m стандарти лойиҳаси кўрилмоқда. У кўзда тутилганидек, IMT Advanced сифатида маълум бўлган (яъни, IMT-2000 дан кейинги) тизимларни тавсифлайди. WiMAX форуми IEEE 802.16m стандартини WiMAX тизимларини бошқа мобил технологиялар билан конвергенциясининг (бирлашишининг) асоси сифатида баҳоламоқда. IEEE 802.16m стандартининг пайдо бўлиши 2012 йилга тўғри келган.

IMT Advanced⁴⁰ дастури IMT-2000 тизимларида эришилмаган янада юқори маълумот узатиш тезлигига, янада катта мобилликка ва функционаликка эга тизимларни яратишга қаратилган. Бундан кўзда тутиладики, IMT Advanced технологиялари юқори мобилликда 100Mbit/sec гача ва паст мобилликда ва турғунликда 1Gbit/sec гача тезликларни таъминлайди ва шу сабаб бу технологияларни мобил алоқа тизимларининг тўртинчи авлоди - 4G га кириштириш мумкин (5.2-расм).



5.2-расм. Кенг поласали ва мобил алоқа тизимлари эволюцияси

WiMAX тизимининг бош характеристикалари орасида жавоб кечикишининг кам вақти, юқори ахборот хавфсизлиги, юқори алоқа сифати - QoS ва радиочастота спектри уйғунлаштирилган ҳолда “глобал роуминг” имкониятлари таъкидланади. WiMAX форумининг «роуминг» бўйича ишчи гуруҳи ҳам WiMAX тармоқлари орасида, ҳам IMT-2000 стандартларига асосланган бошқа тармоқлар орасида «роуминг» ташкил этишни спецификацияларини ва бизнес-моделини эълон қилмоқчи.

⁴⁰ Эслатиб ўтиш керакки, “IMT-2000” ва “IMT Advanced” дастурлари ҳозирги вақтда ягона “IMT” дастурига бирлаштирилган.

Шунингдек, WiMAX форуми симли ва симсиз интерфейслар базасида операторларга бир туркум ва сифат даражасида хизматлар таклиф этишга имкон берадиган WiMAX тармоқлари билан мавжуд маълумот узатиш тармоқлари ва IMS нинг янги архитектурасини қўллаб-қувватлашни таъминлашида ўзининг фаол вазифасини бажармоқда.

Кейинчалик эса, мобил ва кенг полосали симсиз алоқа тизимларининг конвергенция аънанази давом этаверса, глобал миқёсда умумкамров алоқани таъминлашга қодир янги, чинакамга универсал стандарт пайдо бўлса ажаб эмас.

5.1.3. WiMAX тизими ва “рақамли тенгсизлик” (ингл. *Digital Gap*) муаммоси

Ахборотларга эга бўлишлик жамиятнинг кенгрок иқтисодий ва ижтимоий ривожланишига имкон яратиши ҳеч кимга сир эмас. 1984 йилдан бошлаб дунё ҳамжамияти ривожланаётган мамлакатларда телекоммуникациялар инфротузилмаси қолоқлиги уларнинг иқтисодий ўсиши учун тўсиқ бўлаётганлигини таъкидлай бошлади. 1996 йилда ХТИ БМТ бошчилигида ривожланаётган давлатларда ахборот ва коммуникацион технологиялар (АКТ) нинг асосий хизматларига умумий уланишни тақдим этишга ва “ахборот камбағаллиги” таъсирини қисқартиришга йўналтирилган “Алоқага ҳуқуқ” (ингл. *“The Right to Communicate”*) деб номланган лойиҳани олға сурди. Ушбу мақсад ҳозирги кунда ахборот ҳамжамияти масалалари бўйича Бутундунё саммити - WSIS (ингл-н *World Summit on the Information Society*) нинг барча режаларини асоси бўлиб қолди. 2003 йилнинг декабрида Женева шаҳрида ўтказилган WSIS нинг биринчи саммитида “Рақамли тенгсизлик” деб ахборот ва коммуникацион технологияларга тенгсиз уланиш имкониятлари назарда тутилди. АКТ га тенгсиз уланиш деганда, биринчи навбатда давлатлар орасидаги фарқ (халқаро рақамли тенгсизлик), масалан, ривожланган ва ривожланаётган мамлакатлар ёки ҳудудлар орасидаги фарқ тушунилади. Шунингдек тенгсиз уланиш давлатлар миқёсидаги (миллий рақамли тенгсизлик) жараён сифатида ҳам аниқланади ва бунда қишлоқ ва шаҳар орасидаги, олий маълумотли ва кам маълумотлилар орасидаги, аҳолининг камбағал ва бой қатламлари орасидаги фарқ тушунилади [40].

Провайдерлар ва Интернетдан фойдаланувчилар сони ёки турғун ва мобил телефонлар сони каби олдиндан аниқланган мезонлар асосида ўтказилган тадқиқотлар натижасида, шунингдек, ривожланган ва ривожланаётган давлатларда сўнги йилларда бўлаётган ўзгаришларнинг таҳлили асосида бу масаланинг ҳозирги ахволига турлича баҳолар берилди. Бир тарафдан, ҳам давлатлараро, ҳам давлатлар миқёсидаги “Рақамли тенгсизлик” ўсиб бормоқда, деган фикрлар бўлса, бошқа тарафдан, аксинча бой ва камбағал давлатлар орасида “Рақамли тенгсизлик” қисқармоқда, деган фикрлар бўлди. Турли халқаро ташкилотлар (ХТИ ёки Жаҳон банки гуруҳи) эълон қилган расмий ҳисоб-

китобларга мурожаат қилинса маълум бўладики, ривожланган ва ривожланаётган давлатлар орасида АКТ га уланишдаги тенгсизлик мавжуд ва ҳали ҳам жиддий муаммо бўлиб турибди.

Ўзича асосли бўлган бундай қарама қарши фикрларнинг мавжудлигига қарамасдан, уланиш имкони борлиги ва унинг сифати, яъни алоқа инфратузилмасини яратилиши ҳар қил давлатларда АКТ ни тезкор ва ишончли ривожланишига асосий омиллар деб ҳисобланали. 2005 йилда ХТИ “Рақамли тенгсизлик” ни қисқартириш учун ҳамкорликни ривожлантириш мақсадида WSIS доирасида глобал даражада кўплаб ташкилотлар томонидан биргаликда ўтказиладиган “Оламни улайлик” (ингл. *Connect the World*) деб номланган ташаббусни бошлади. Бу ташаббуснинг мақсади ҳозирги вақтда хатто оддий телефон алоқасига уланишга ҳам эга бўлмаган инсонларга АКТ – хизматларини тақдим этишдан иборатдир.

Шу муносабат билан WiMAX форуми минг йиллик ривожланиш мақсадларига эришиш учун барча талабларга жавоб берадиган янги симсиз алоқа стандартларини қисқа вақтда ишлаб чиқишга киришган. Бу мақсадлар қаторига “Тараққиёт учун глобал ҳамкорликни ривожлантириш” (ингл. *Develop a Global Partnership for Development*) ҳам киради [41]. Ушбу мақсад ҳар бир инсон ахборотлар ва билимлардан фойдаланиш, уларни яратиш, уларга уланиш ва улар билан алмашиш имкониятига эга бўлиши ҳисобига жамоалар ва халқларнинг салоҳиятини тўлиқ рўёбга чиқариш ва уларнинг турмуш даражасини оширишга имкон беради. Шу муносабат билан WiMAX технологияси 2015 йилга бориб WSIS нинг куйидаги вазифаларини бажаришга чақирилган:

- **1-сонли масала:** ривожланаётган давлатларда 1,5 миллион қишлоқлар хатто телефон тармоқларига ҳам уланмаганлигини ҳисобга олган ҳолда, қишлоқ ҳудудларида АКТ хизматларига уланишни таъминлаш;

- **10-сонли масала:** 2002 йилда Интернет фойдаланувчиларининг умумий сони 600 миллионлигини ёки дунё аҳолисининг 10 фоизини ташкил этганлигини ҳисобга олган ҳолда, дунё аҳолисининг ярмидан кўпига АКТ хизматларига уланишни таъминлаш.

Кўриниб турганидек, WiMAX технологиясининг зиммасига (бошқа симсиз ва тармоқ технологиялари билан бир қаторда) “Рақамли тенгсизлик” муаммосини ечишда ўта муҳим вазифа юкланган ва бу тизим ривожланган ва ривожланаётган давлатларда АКТ хизматлари ва инфратузилмаларига оммавий, умумқамровли, тенг ҳуқуқли ва ишончли уланишни таъминлашга чақирилган.

5.1.4. WiMAX тизимининг асосий характеристикалари

Янги IEEE 802.16 стандартларининг яратилиши ва WiMAX нинг мобил режими пайдо бўлиши туфайли ишлаб чиқарувчилар ягона стандартлар қабул қилиш ва қурилмаларни ўзаро ишлаш имкониятларига

кўпроқ қизиқиш билдира бошладилар. Бу қизиқиш, шунингдек, WiMAX тизими кучли рақобат афзаллигига эга бўлиши мақсадида Intel (АҚШ) корпорацияси томонидан қўллаб-қувватланиши билан янада мажамланади. Хусусан, WiMAX технологияси жиҳозларни (ускуналарни) стандартлаштириш ва уларни ўзаро ишлаш имкониятларини таъминлайди ҳамда тармоқлар ташкил этишда сарф-харажатларни сезиларли даражада камайтиришни кўзда тутди. Мисол учун, Intel ва Fujitsu каби чипсет (интеграл схема) ишлаб чиқарувчилар уларни кўп сонда ишлаб чиқариши ва етказиб бериши мумкин, бу эса, ўз навбатида, абонент ускуналарининг нархини пасайишига олиб келади.

WiMAX тизимларининг ишчи характеристикаларига кўплаб талаблар қўйилади ва, асосан, максимал маълумот узатиш тезлигига ва алоқанинг узок масофаликлиги талаб қилинади. Лекин, бунда бу икки параметрнинг максимал кўрсаткичларини бир вақтни ўзида таъминлаш мумкин эмаслигини ҳам ёддан чиқармаслик керак. Масалан, замонавий WiMAX тизимларида 70Mbit/sek дан юқори тезликларга эришиш мумкин, лекин бунинг учун қуйидаги шартлар бажарилиши шарт: модуляция даражасини қўллаб-қувватлаш учун алоқа каналининг сифати жуда яхши бўлиши керак (бу тўғридан-тўғри кўриниш - LOS, ёки шунга яқин кўриниш - nLOS мавжудлигида бўлиши мумкин), ҳамда 10MGs кенгликдаги каналда 1024 та субканаллар мавжуд бўлиши керак. Аксинча, алоқа узоклигини 50km дан ортиққа таъминлаш мумкин, лекин, у ҳолда маълумот узатиш тезлиги бор йўғи 2-3Mbit/sek ни ташкил этади. Бунда ҳам каналнинг сифати жуда юқори бўлиши керак, яъни объектлар орасида тўсиқлар сони жуда кам бўлиши, тор йўналтирилган антенналардан фойдаланилган ва nLOS шароити мавжуд бўлиши керак. IEEE 802.16e стандартига асосланган «мобил WiMAX» тизими каналнинг 10MGs кенглиги билан чекланиб қолиш эҳтимоли бор (хар ҳолда бошланишига). Шунда ҳам у 37Mbit/sek тезликни таъминлайди. 5MGs лик полосаларда эса WiMAX тизими 18,7Mbit/sek максимал тезликни тақдим этиши мумкин ва бу сотали алоқанинг HSDPA технологиясидаги максимал кўрсаткичларга (5MGs полосада 14,4 Mbit/sek) мос келади.

WiMAX тизимларининг бошқа муҳим характеристикалари қуйидагилардан иборат:

Тармоқнинг мослашувчан архитектураси. WiMAX архитектураси “нуқта-нуқта”, “нуқта-кўп нуқта”, “mesh” ва ушбу режимларнинг турли вариацияларидан иборат бўлган бир неча конфигурацияларга эга бўлиши мумкин. MAC - муҳитга уланишни бошқариш даражаси кўп манзилли (multicast) ва кенг қамровли (broadcast) алоқа режимларини қўллаб қувватлайди.

Тармоқни тезкор қуриш имконияти. Симли алоқа тармоқларидан фарқли равишда WiMAX тизимлари ташқи иншоотлар қуриш, кабел ётқизиш ва шунга ўхшаш ишларни талаб қилмайди. Фойдаланувчи радиочастоталардан фойдаланишга рухсат олиш эҳтимоли нисбатан юқори, чунки WiMAX бир неча унчалик юкланмаган частоталар

диапазонларида ишлашга мўлжалланган. Мисол учун, 2004 йилнинг декабрида Индонезияда содир бўлган цунамидан кейин бутун телекоммуникация инфратузилмаси ва бутун ҳудуд учун алоқа хизматларини тезкор қайта тиклаш талаб қилинган. Бунда тирик қолган инсонларга Интернетга уланишни тақдим этиш учун WiMAX технологиясидан фойдаланилган.

Жиҳозларнинг ўзаро мослашувчанлиги. WiMAX технологияси халқаро очиқ стандарт асосида (яъни, ягона ишлаб чиқарувчига боғлиқ бўлмаган ҳолда) қурилган ва бу билан фойдаланувчиларга ўз АУ ларини турли жойларда ёки турли провайдерлар тармоқларида ишлатишга имкон беради. Бу, шунингдек, операторлар учун ҳам фойдали, чунки, улар турли ишлаб чиқарувчиларнинг ускуналаридан фойдаланиши мумкин. Ва ниҳоят, бу ишлаб чиқарувчилар орасида соғлом рақобатни яратади ва натижада АУ лар нархини пасайишига олиб келади.

Кўп даражали сервис ва QoS - хизматлар сифати. Тақдим этиладиган хизматлар тури ва сифати асосан алоқа провайдери ва фойдаланувчи орасида хизматлар даражаси бўйича тузиладиган келишувга боғлиқ бўлади. Бунда провайдер турли абонентларга ёки ҳатто бир АУ нинг турли фойдаланувчиларига турли сервислар даражасини тақдим этиши мумкин. Барча сервислар хилма-хиллигини турли даражаларга бўлиш мумкин ва бу даражалар чегараларида сервислар бир бирига яқин характеристикаларга эга бўлади, масалан, интерактив ўйинлар, конференциялар ўрнатиш имкониятига эга товушли ва видеоқўнғироқлар, мусиқий дастурларни эшитиш, видеоклиплар ва фильмларни томоша қилиш, Интернетда ишлаш, электрон почтадан фойдаланиш ва бошқалар. WiMAX тизими трафикнинг ҳар хил турларини узатиш учун тезкор равишда мослашиши ва QoS нинг 4та синфини қўллаб қувватлаши мумкин.

Кенг қамровли зоналар. WiMAX тизими радиоканал шароитларига қараб турли модуляция усулларини (BPSK, QPSK, 16-QAM ва 64-QAM) тезкор равишда мослаштириши (адаптация қилиши) мумкин. Узаткич қуввати кучайтиргичи ва паст тезликли модуляция усуллари ишлатилганда алоқанинг узоклигини (“нуқта-нуқта” режимида) 56 km дан ошириш мумкин (айниқса, тўғри кўриниш мавжуд бўлса).

Тўғри кўриниш бўлмаган ҳолларда алоқа ўрнатиш. Тўғри кўриниш бўлмаган (ингл. *NLOS*) ҳолат деб объектлар орасида радиотўлқиннинг биринчи Френел зонаси тўлиқ ёпиқ бўлган ҳолат тушунилади. Кўп нузли узатиш шароитларида самарали бўлган OFDM технологиясидан фойдаланиш туфайли WiMAX тизимлари тўғри кўриниш бўлмаган ҳолларда ҳам юқори кўрсаткичлар билан ишлаши мумкин. Бу қобилият WiMAX тизимларида ҳатто тўғри кўриниш бўлмаган ҳолларда ҳам юқори тезликдаги алоқани тақдим этиш имконини беради. Бу нарсага, масалан, 3G тармоқларида эришиш анча мураккаб.

Мобиллик. IEEE 802.16e стандарти WiMAX технологиясига мобилликни қўллаб-қувватлаш учун асосий функционал имкониятларни

қўшди. Такмиллаштиришлар асосан OFDM ва OFDMA технологияларининг қўшилиши ҳисобига физик даражага тегишли бўлди. «мобил WiMAX» тизими 160km/soat гача тезликда ҳаракатланувчи абонент билан ишончли алоқани ташкил этишга имконият яратади.

Тармоқга созланиш қулайлиги. Замонавий сотали алоқа тизимларидаги каби WiMAX тизимининг абонент ускунаси тармоққа уланганида мустақил идентификацияланишга қодир. Яъни АУ таянч станцияга уланганида алоқа каналининг характеристикаларини аниқлаши, тармоқнинг маълумотлар базасидан рўйхатдан ўтиши ва сигнални узатишга мос параметрларини ўрнатиш мумкин.

Ишчи частоталарнинг кенг диапазони. IEEE 802.16 стандартлар оиласида 2,5GGs; 3,5GGs ва 5,8GGs частоталар диапазонида фойдаланиш кўзда тутилган.

Кучайтирилган алоқа хавфсизлиги. WiMAX технологияси AES (ингл-н *Advanced Encryption Standard*) ва 3DES (ингл-н *Triple Data Encryption Standard*) шифрлаш алгоритмларини қўллаб-қувватлаши мумкин. Таянч станция ва абонент ускунаси орасида каналларни шифрлаш ҳисобига WiMAX тизими абонентлар орасида махфийликни (бошқалар эшитишидан ҳимояни) ва оператор хизматларига рухсат этилмаган уланишларни тақиқлаш ҳисобига бутун тармоқ бўйича хавфсизликни таъминлайди. WiMAX тизими, шунингдек, ичига ўрнатилган VLAN⁴¹ (ингл-н *Virtual Local Area Network*) функциясини қўллаб-қувватлаш ҳисобига бир таянч станция орқали узатилаётган турли фойдаланувчиларнинг маълумотларини ҳимоясини таъминлайди.

5.1.5. WiMAX тизимларининг тарқалиши ва қўлланиш соҳалари

КСУ тармоқлари ҳозирги вақтда турли иловалар учун ишлатилади. Хусусан:

- симли алоқа инфратузилмаси ҳали ҳам мавжуд бўлмаган жойларда (масалан, ривожланаётган давлатларда ёки вилоятларнинг чекка қишлоқ жойларида) анъанавий телефония ва маълумотлар узатиш хизматларини тақдим этишда “сўнги миля” муаммосини ечиш учун;
- турли фойдаланувчилар, шу жумладан, 2G ва 3G сотали операторлари учун “нуқта-нуқта” режимида T1/E1 коммутация линияларини ўрнатиш учун;
- интернет хизматларига симсиз уланишни тақдим этиш учун;
- узоқ жойларда (масалан, йирик спорт ва маданий тадбирларни ёки кутқарув ишларини ўтказишда) вақтинчалик алоқа ўрнатиш учун тармоқларни тезкорлик билан ташкил этиш учун;

⁴¹ VLAN - бир ҳил талабларга жавоб берувчи «хост» лар гуруҳидан ташкил топган виртуал локал компьютер тармоғи. Бу «хост» лар бир-бирларига нисбатан худудий жойлашишларидан қатъий назар худди битта кенг камфрөвли доменга улангандек ишлашади.

- IEEE 802.16 стандартларининг мобил версиясини қўшилиши билан WiMAX тизимлари қўшимча хизматларни тақдим этиш учун ҳам ишлатилади. Хусусан:

- VoIP протоколи асосидаги мобил телефония учун;
- IP-протокоliga асосланган мобил мультимедиа хизматлари учун;
- катта ҳажмдаги маълумотлар алмашиш учун “нуқта-кўп нуқта” режимида (“хот зоналар” (ингл. “Hot Zone”) ташкил этиб) таянч станциялар орқали мобил уланиш учун ишлатилади.

WiMAX тармоқлари дунёда кенг тарқалмокда. WiMAX Форумининг маълумотларига кўра 2011 йилнинг феврал ойига қадар дунёнинг 150 мамлакатида 583 та фаолият кўрсатаётган тармоқлар мавжуд бўлган (маълумот учун, ушбу кўрсаткич 2009 йилнинг феврал ойига қадар 139 та мамлакатда 468 та тармоқни ташкил этган). Минтақалар кесимида ушбу тармоқлар 5.1-жадвалда акс эттирилган [42].

5.1-жадвал

WiMAX тармоқларининг ҳудудлараро тақсимланиши

№	Минтақа	Тармоқлар сон	Мамлакатлар сон
1.	Африка	117	43
2.	Марказий ва Лотин Америкаси	120	33
3.	Осиё-Тинч океани	98	23
4.	Шарқий Европа	86	21
5.	Ғарбий Европа	77	18
6.	Шимолӣ Америка (АҚШ, Канада)	56	2
7.	Яқин Шарқ	29	10

Ҳозирча бозорда «турғун WiMAX» тармоқлари етакчилик қилмокда (2011 йилнинг бошида 60% ташкил қилган). Бироқ IEEE 802.16е стандарти тобора кўпайиб бормокда ва унинг асосида кўп сонли тармоқлар ишламокда. Шулар орасига АҚШ нинг Sprint-Nextel, Clearwire, AT&T ва NextWave Broadband, Европада Vodafone ва Orange, Покистоннинг давлатни деярли тўлиқ ҳудудудини қамраб олган Wateen Telekom миллий оператори, Россиянинг Yota ва бошқа операторлар тармоқлари киради. Бугунги кунга келиб Покистон миллий кўламдаги жаҳонда энг катта тўлиқ функционал WiMAX тармоқларидан бирига эга.

WiMAX ускуналарининг энг йирик ишлаб чиқарувчилари сафига Airspan Networks, Alkatel-Lucent, Alvarion, Cisco Systems, Fujitsu, Huawei

Technologies, Intel Corporation, Motorola Solutions⁴², Samsung ва ZTE Corporation каби компанияларни киритиш мумкин.

5.1.6. WiMAX тизимининг афзалликлари ва камчиликлари

WiMAX тизимининг афзалликларига қуйидагилар киради:

- IP-протоколи асосида ишлашга оптималлаширилган юқори самарадор 802.16е радиоинтерфейси;
- Мобил тизимларга яхши тўғри келадиган OFDMA каналларни ажратиш ва тақсимлаш такомиллаштирилган технологиялар тури (OFDM технологиясига нисбатан);
- Ноутбукларга, телефонларга ва маиший техникага WiMAX адаптерларини қулай ўрнатиш имконияти;
- Сотали алоқа тармоқларига ўхшаш йирик тармоқларни яратиш учун етарли бўлган кенг частоталар полосаси;
- MIMO ва STC антенна-фидер ускуналари соҳасида прогрессив ишланмаларни қўллаб-қувватлаш;
- IP-тармоқлар учун стандарт тармоқ ускуналаридан фойдаланиш;
- Фойдаланувчиларнинг улкан ўзига хос хусусиятларини ҳисобга олинганида QoS хизмати кўрсатиш сифатини бошқаришнинг универсал воситалари;
- Абонентларга телефония хизматлари, кенг полосали уланиш, мобил алоқа ва бошқаларни таклиф этиш имкониятини берадиган мультисервисли тармоқ платформалари;

WiMAX тизимларининг камчиликларига ва ривожланишини сақлаб турувчи омилларга қуйидагилар киради:

- стандарт ҳали ҳам синов босқичида ва хизматлар провайдерлари ишлатаётган қиммат ускуналарни янгилигига алмаштиришга шояшмайпти, ёки бу ускуналарни кўтариш ва сарфланган воситалар тезда ўзини оқлаш имкониятисиз сезиларли сарфларни талаб қилади;
- олдин Интернетга уланиш имкони бўлмаган жойларда WiMAX тармоқларини қуришга зарур ускуналарни ёки уни сотиб олишга маблағ воситаларига эга самарали бўлмаган потенциал фойдаланувчилар сони муаммосига дуч келишга тўғри келади;

⁴² 2011 йилнинг январ ойида Motorola компанияси икки мустақил компаниялар: Motorola Mobility ва Motorola Solutionsга бўлинди. Motorola Mobility мобил телефонлар йўналишида шугулланади. Motorola Solutions эса профессионал мобил радиоалоқа тизимларига, сямсиз тармоқлар инфратузилмасига, мобил компьютерларга, RFID ва штрих кодларни сканерлаш тизимларига ихтисослашган.

- кўп сонли мутахассислар тўғри кўринишдаги ЎЮЧ каналлардан фойдаланиш инсон саломатлиги учун зарarli деб ҳисоблашади;

- «турғун WiMAX» ускуналари мобил режимни қўллаб-қувватлайди ва тармоқларнинг кейинги WiMAX стандартига ўтказишда ускуналарнинг қисмларини янгилаш талаб қилинади;

- ва, нихоят, WiBro (қуйида ёритилади) радиочастоталарга яқин диапазонларига яқин фойдаланадиган кенг полосали алоқанинг рақобатли стандарти шунингдек, мобил алоқанинг рақобатли, хусусан LTE технологияларининг мавжудлиги.

Шундай қилиб, WiMAX стандартининг кўриниб турган афзалликларида технологиянинг тотал жорий этилиши ёки ҳатто унга оммавий ўтиш ва мажуд тармоқлардан воз кечиш имконияти ҳақида ҳали гапириш эрта. IEEE 802.16e стандартининг лицензияланган тижорат мақсадида ишлатилиши натижаларини олиш, кейин эса унинг ривожланиш истиқболларини баҳолаш зарур. Лекин, шуни таъкидлаш жоизки, 802.16 оиласидаги стандартларни такомиллаштириш борасида ишлар давом этмоқда. 2009 йилда IEEE 802.16-2009 номини олган стандартнинг янги версияси пайдо бўлди, лекин у IEEE 802.16m стандартининг пайдо бўлгунигача бўлган оралиқ характерга эга бўлди. IEEE 802.16m стандарти стационар абонент ускунаси билан 1Gbit/sek. гача, мобил абонент ускунаси билан эса 100Mbit/sek гача тезликда маълумотлар узатишга эришиши керак. Кейин янги стандартлар қўллаб-қувватлайдиган ускуналарни лицензияланиши, ускуналарни ишлаб чиқариш бозоридаги рақобат ва WiMAX тизими орқали уланиш хизматларини ва бошқаларни кутиш мумкин. У ҳолда бу технологияларнинг альтернативларига таққосланганда афзалликлари ва камчиликлари ҳақида гапириш мумкин бўлади.

5.1.7. WiMAX ва Wi-Fi тизимларини таққослаш

WiMAX ва Wi-Fi тизимларининг таққосланиши янгилик эмас, шунинг учун атамаларнинг номланиши ўхшаш, бу технологиялар асосланган стандартларнинг номланиши ҳам ўхшаш (IEEE стандартлари, ҳар икккаласи 802 дан бошланади) шунингдек иккала технологиялар кенг полосали симсиз уланиш туркумига киради. Лекин шунга қарамасдан бу технология турли масалаларни ечишга йўналтирилган (5.2-жадвалга қаранг).

WiMAX – бу одатда провайдерга охириги фойдаланувчига Интернет тармоғига “нуқта-нуқта” тури ёрдамида уланишни таъминлаш учун фойдаланиладиган бўшлиқ масофаларни қамраб оладиган узоқ масофали ишлайдиган алоқа тизимидир. 802.16 оиласининг турли стандартлари, турғун то мобилгача турли уланиш режимларини таъминлайди.

Wi-Fi – бу Интернетга чиқиш ва Интернетга чиқмасдан қисқа масофаларда локал тармоқни ташкил этиш учун фойдаланиладиган тизимдир.

WiMAX ва Wi-Fi тизимлари умуман турли QoS хизмат кўрсатиш механизмларига эга, WiMAX тизими таянч станция ва абонент ускунаси орасидаги ҳар бир боғланишга ягона QoS даражасини ўрнатишга асосланган механизмдан фойдаланади. WiMAX тизимида ҳар бир боғланиш учун юқори QoS даражасини кафолатлайдиган махсус режалаштириш алгоритмига асосланилади. Wi-Fi ўз навбатида ҳар бир пакет турли QoS даражасини оладиган Ethernet тармоқларида ишлатиладиган QoS механизмдан фойдаланади. Шундай қилиб, Wi-Fi тизимида ҳар бир боғланиш учун бир хил QoS даражаси кафолатланмайди. Нисбатан паст нархи ва ўрнатишда соддалиги туфайли Wi-Fi тизимлари мижозларга Интернетга тез уланишни тақдим этиш учун ишлатилади, масалан, кўплаб кафеларда, меҳмонхоналарда, вокзаллар ва аэропортларда бепул Wi-Fi уланиш нуқталарини учратиш мумкин.

5.2-жадвал

Кенг полосали симсиз алоқа стандартларини таққослаш жадвали

Технология	Стандарт	Синфи	Ўтказиш қобилияти	Қамров ҳудуди	Частота диапазони
Wi-Fi	802.11 a	WLAN	54 Mbit/sek	100 m гача	5 GGs
Wi-Fi	802.11 b	WLAN	11 Mbit/sek	100 m гача	2.4 GGs
Wi-Fi	802.11 g	WLAN	54 Mbit/sek	100 m гача	2.4 GGs
WiMAX	802.16 d	WMAN	73 Mbit/sek	6-10 km	1.5-11 GGs
WiMAX	802.16 c	Мобил WMAN	30 Mbit/sek	1-5 km	2-6 GGs

5.2. WiMAX стандартлари (IEEE 802.16)

5.2.1. WiMAX стандартларининг қисқача ривожланиш тарихи

IEEE 802.16 стандартларини ишлаб чиқиш устида асосий ишлар 2001 йилда бошланди. Шу йилнинг июнида 802.16 оиласидаги стандартлар асосида жиҳозларни ишлаб чиқариш бўйича тавсияларни ишлаб чиқиш учун соҳавий консорциум – “WiMAX Форуми” га асос солинди. 2001 йилнинг декабридаёқ янги кенг полосали симсиз алоқа тизими IEEE 802.16-2001 стандарти пайдо бўлди [43].

Стандарт шаҳар - “мегаполис” кўламида (ингл. *Metropolitan Area Network, MAN*) стационар симсиз тармоқларни тавсифлади, ва шу сабабли стандартнинг дастлабки номи Wireless MAN (WiMAN) бўлди.

Янги стандартнинг топологияси фақат “нуқта-кўп нуқта” режимини тақдим этди, физик даражада эса бир элтувчи частотадан фойдаланиш кўзда тутилди (ингл. *Single-Carrier, SC*). Шунинг учун протоколнинг номланишига SC ни қўшиладиган бўлди (*Wireless MAN-SC*). Ишчи частоталар сифатида 10GGs дан 66GGs гача диапазондан фойдаланиш ва стандарт фақат тўғри кўриниш (LOS) шароитларида ишлаши кўзда тутилди. Натижада, бу илк 802.16-2001 стандарти ускуналари кенг тарқалқала олмаганига сабаб бўлди. Яна бир сабаб юқори частоталарда ишлайдиган аппаратура базаси камлиги бўлди. Бу омилларни ҳисобга олиб 2003 йилнинг январиди янги 2GGs дан 11GGs гача частота диапазонидан фойдаланиш кўзда тутилган. Шу боис IEEE 802.16a-2003 кенгайтирилган стандарти қабул қилинди. Мазкур стандарт ҳам мегаполис қўламида стационар симсиз тармоқларни яратишга йўналтирилган эди. У “сўнгги миля” муаммосини анъанавий кабелли модемлар, xDSL ва T1/E1 каналлар орқали уланишнинг альтернатив кенг полосали ечими бўлди. Бундан ташқари, IEEE 802.16a тармоқлари Wi-Fi 802.11 b/g/a стандартларининг уланиш нуқталарини Интернетга улаш учун қўшимча технология сифатида фойдаланиш учун режалаштирилди. Лекин “16a” стандартининг заиф жойи бино ичида ёмон алоқа сифати бўлиб қолди.

IEEE 802.16a стандартининг мантиқий давоми IEEE 802.16d стандарти бўлди. У бино ичида турғун уланиш имкониятини кўзда тутди. Тамомила IEEE 802.16d стандарти 2004 йилнинг июлида қабул қилинди ва “IEEE 802.16 -2004” номини олди. “D” версиясининг пайдо бўлиши билан IEEE 802.16a ва IEEE 802.16d стандартларининг алоҳида ривожланишини зарурияти қолмади, чунки IEEE 802.16d стандартининг якуний версияси олдинги стандартларнинг барча имкониятларини қамраб олган эди. Лекин стандартларни ишлаб чиқиш бўйича ишлар тўхтаб қолмади, чунки бош мақсад, яъни КСУ тизимларида мобилликни таъминлаш ҳали эришилмаган эди. 2005 йилнинг декабрида IEEE 802.16e (шунингдек “IEEE 802.16e-2005” деб номланади), кўпроқ “мобил WiMAX” сифатида маълум бўлган стандарт қабул қилинди. Шу йилнинг ўзида Сетekom (Испания) компанияси қошида WiMAX жиҳозларини сертификатлаштириш учун мўлжалланган биринчи лаборатория очилди.

Таъкидлаш керакки, Европанинг ETSI институти қошидаги BRAN (ингл. *Broadband Radio Access Networks*) техник қўмитасининг параллел ишланмаси – “HiperMAN” стандарти ҳам 2005 йилда яратилди [44]. Стандарт 2GGs - 11GGs частоталар диапазонидан фойдаланишга, Европа давлатларида ишлатишга ва фойдаланувчиларга турғун ва кўчма иш режимларида кенг ҳудудда Интернетга кенг полосали симсиз уланишни тақдим этиш учун мўлжалланган эди. Шундай қилиб, HiperMAN WiMAX тизимларига (ёки IEEE 802.16 стандартларига), шунингдек, Кореянинг ишланмаси - WiBro тизимига (у ҳақда куйида батафсилроқ келтирилган) нисбатан альтернатив стандарт ҳисобланади. Шунга қарамай, HiperMAN стандарти IEEE 802.16 ишчи гуруҳи билан узвий ҳамкорликда ишлаб чиқилди ва шунинг учун HiperMAN ва IEEE 802.16a-2003 стандартлари

орасида “узлуксиз роуминг” қўллаб қувватланади. Шунингдек HiperMAN ва IEEE 802.16 нинг янги стандартлари орасида ўзаро ишлашни таъминлаш бўйича ишлар олиб борилмоқда [45].

2006 йил IEEE 802.16 стандарти асосидаги жиҳозларни биринчи намуналарининг пайдо бўлиши билан тарихга кирди, ва бу билан “турғун WiMAX” ни фаол жорий этилиши бошланди. WiMAX нинг турғун ва мобил версиялари ўзаро мослашмайдиган бўлиб қолгани, яъни улар рақобатчига айлангани сабабли «турғун WiMAX» жиҳозларини ишлаб чиқарувчилари ва операторларининг стратегик вазифаси бўлиб «мобил WiMAX» махсулотлари пайдо бўлгунича КСУ тизимлари бозорини тезроқ ва кенгроқ ўзлаштириш бўлиб қолди.

Шуниҳам ёдлаб ўтиш лозимки, 2006 йилнинг ўзидаёқ Кореяда биринчи WiBro тармоқлари ишга туширилди, ва бу Жанубий Корея телекоммуникацион ва АТ саноатининг етакчилари бўлмиш Samsung, LG, Korean Telecom ва South Korea Telecom компанияларининг давлат қатнашувидаги кўп йиллик фаол меҳнатларининг натижаси бўлди [46]. WiBro тизимиҳам ўзига хос тарихга эга. 2002 йил февралда Жанубий Корея алоқа маъмурияти (регулятор) WiBro тизимини ривожлантириш учун 2,3-2,4GGs диапазонда 100 MGs радиочастота полосасини ажратди. 2004 йилнинг охирида WiBro биринчи фазаси давлат стандартлаштиришидан ўтди ва 2005 йилнинг охирида ХТИ WiBro технологиясини IEEE 802.16e стандарти сифатида тан олди. Ниҳоят, 2006 йилнинг июнида икки оператор - Korean Telecom ва South Korean Telecom, WiBro тармоқларини тижорий ишга туширди. Шундай қилиб, WiBro асосида IEEE 802.16e («мобил WiMAX») стандартига мос келадиган КСУ технологиясини тушуниш зарур. WiBro тизими 8.75MGs полосали OFDMA радио уланиш технологиясидан ва TDD дуплексидан фойдаланади. Абонент ускуналари таянч станция билан 1km дан 5km гача масофаларда 30-50Mbit/sek маълумотларни узатиш тезликларида боғланишлари мумкин. Тармоқ 120km/soat тезликда ҳаракат қилаётган абонентлар билан алоқа ўрнатиш қобилиятига эга.

Бу жараёнда «мобил WiMAX» ишлаб чиқарувчиларихам орқада қолмади. 2007 йилда IEEE 802.16e стандарти асосидаги биринчи жиҳозларни сертификатлаш муваффақиятли ўтди ва WiMAX бозорида икки рақобат қилувчи лагерлар, яъни стандартнинг турғун ва мобил версиялари тарафдорлари пайдо бўлди. Шу муносабат билан WiMAX стандартининг бу версияларини атрофлича кўриб чиқиш ва уларнинг характеристикаларини таққослаш мақсадга мувофиқ бўлади.

5.2.2. IEEE 802.16 стандартлари оғласининг тавсифи

IEEE институтининг стандартлар бўйича кўмитаси симли ва симсиз кенг полосали алоқа стандартларини ишлаб чиқиш билан шуғулланади. Ethernet (802.3) ва Wi-Fi (802.11) каби тармоқ технологиялари соҳасидаги стандартларнинг ишлаб чиқарувчиси ҳисобланган 802 кўмита шунингдек WiMAX (802.16) технологиясининг стандартлар тўпламини чиқарди.

Юқорида таъкидланганидек, WiMAX Форуми – бу 802.16 оғласидаги стандартларни ўзаро мослашувчанлигини таъминлаш мақсадида WiMAX профили асосида жиҳозларни ишлаб чиқариш бўйича тавсияларни ишлаб чиқувчи соҳавий консорциум. Янги стандартларни ишлаб чиқишда ҳамда улар асосида жиҳозларни яратишда кўплаб инфокоммуникацион маҳсулот ишлаб чиқарувчилари қатнашмоқда. Ҳозирги кунда WiMAX форуми хизмат кўрсатувчилар (сервис провайдерлар) (50% атрофида), жиҳозлар ва компонентлар ишлаб чиқарувчилари, шунингдек, мазмун тақдим этувчилар (контент провайдерлар) дан иборат 500 тадан ортиқ аъзоларни бирлаштиради [47].

Юқорида таъкидланганидек, ҳозирги вақтда WiMAX номи билан қуйидаги иккита кенг полосали симсиз алоқа стандарти (версиялари) ривожланмоқда:

- “16d” версияси (стандартнинг расмий номи - IEEE 802.16-2004) фақат турғун терминалларда ишлаш учун мўлжалланган;
- “16e” версияси (стандартнинг расмий номи - IEEE 802.16-2005) турғун, портатив ва мобил алоқа турлари учун мўлжалланган ва такомиллаштирилган радиоинтерфейсни қўллаб қувватлайди.

Умумий ҳолда бу икки WiMAX версияларининг тизим жиҳозлари ўзаро мослашмайди, шунингдек, “16d” версиянинг абонент ускуналари “16e” версиядаги тармоқларда ишлай олмайди. Бу мослашмаслик сабабли ва “16e” версияси маъқулроқ эканлиги учун кўпчилик ишлаб чиқарувчилар “16d” версияга вақт сарфламасдан “16e” версияни қўллаб қувватлашга қарор қабул қилмоқдалар.

5.2.3. IEEE 802.16 стандартининг турғун ва мобил версиялари

WiMAX оғласига мансуб баъзи умумий хусусиятлар бўлсада, стандартнинг версиялари бир-бирларидан сезиларли фарқ қилади. Стандартни ишлаб чиқарувчилар ҳам турғун, ҳам мобил равишда қўлланилиши учун оптимал ечимларни қидирдилар, лекин бир стандарт доирасида барча талабларни мослаштиришга эриша олмадилар. Шунга қарамай, IEEE 802.16d ва IEEE 802.16e стандартлари умумий хусусиятларга эга.

Аввало бу бутун дунёда стандартлаштирилган очиқ спецификацияли ва ягона IP-платформада қурилган технологиялардир. Ҳар иккала стандартга таянч станцияларнинг катта хизмат кўрсатиш ҳудуди ва тармоқнинг юқори ўтказиш қобилияти ҳосилдир. Технологиялар талаб

қилинган хизмат кўрсатиш сифати (*QoS*) ни қўллаб-қувватлаши, радиоканал орқали маълумот узатишда жавоб ушланиш вақти қисқалиги, таянч станциялар ва абонент ускуналари орасида алоқани тўғри кўриниш бўлганда ҳам (ингл. *LOS*), бўлмаганида ҳам (ингл. *NLOS*) ўрнатилиши киради. Стандартлар юқори спектрал самарадорлик билан кенг частоталар диапазонидан фойдаланиши мумкин. Қатор асосий талаблар мос келсада технологиянинг турли бозор муносабатларига йўналтирилганлиги стандартнинг иккита алоҳида версияларининг яратилишига олиб келди (тўғрироғи, уларни икки турли стандартлар деб ҳисоблаш мумкин). WiMAX нинг ҳар бир спецификацияси ўзининг ишчи частоталар диапазонини, полосасининг кенглиги, нурланиш қувватини, узатиш ва уланиш усулларини, сигнални модуляциялаш ва кодлаш усулларини, радиочастоталардан қайта фойдаланиш принципларини ва бошқа кўрсаткичларни аниқлайди. Шунинг учун IEEE 802.16e ва IEEE 802.16d стандартлар версияларига асосланган WiMAX тизимлари деярли бир бири билан мослашмайди. Бу стандартларни атрофлича ўрганамиз.

5.2.3.1. IEEE 802.16-2004 стандарти

Стандартда ортогонал частотавий мультиплекслаш (OFDM) ишлатилади ва тўғри кўриниш бўлган ва бўлмаган ҳудудларда турғун уланиш қўллаб қувватланади. Абонент ускуналари ҳам бино ичида, ҳам бино ташқарисида ўрнатиш учун мўлжалланган стационар модемлар, ҳамда ноутбуклар учун PCMCIA ёки USB карталар шаклида ишланади. Кўп давлатларда бу технологияларга 3,5GGs ёки 5 GGs частоталар диапазони ажратилган. Шу кунда, WiMAX Форуми маълумотларига кўра, турғун версияда ишлаётган тармоқлар сони 175 тани ташкил қилади [48]. Кўплаб таҳлилчилар бу стандартни DSL кенг полосали симли уланиш технологиясига рақобатчи сифатида кўришмоқда.

5.2.3.2. IEEE 802.16-2005 стандарти

Мобил фойдаланувчилар учун оптималлаштирилган стандартнинг “16e” версияси “хэндовер” ва “роуминг” каби қатор махсус функцияларни қўллаб қувватлайди. Унда OFDMA асосидаги (S-OFDMA) ўзгарувчан (масштабланувчи) уланиш қўлланилади, шунингдек тармоқ тўғри кўриниш бўлган ва бўлмаган ҳолларида ҳам ишлаши мумкин. “Мобил WiMAX” тармоқлари учун 2,3GGs; 2,5GGs; ва 3,4 - 3,8GGs частоталар диапазонларидан фойдаланиш режалаштирилган. Хозирги вақтда дунёда IEEE 802.16e стандарти асосидаги бир неча лойиҳалар, шу жумладан, миллий кўламдаги 10 га яқин тармоқлар ишламоқда [48]. 802.16e нинг рақобатчилари барча учинчи ва тўртинчи авлод мобил технологиялари (масалан, EV-DO, HSPA ва LTE) ҳисобланади.

5.2.3.3. IEEE 802.16-2004 ва IEEE 802.16-2005 стандартларини таққослаш

Кенг полосали симсиз тармоқларни юқори ишлаш характеристикаларига ва мақбул нархига талабчан операторларда WiMAX стандартларининг пайдо бўлиши катта қизиқиш уйғотди. Бироқ, иккита ўзаро мослашмайдиган WiMAX стандартларининг (IEEE 802.16e ва IEEE 802.16d) мавжудлиги бу технологияларга инвестициялар киритиш масаласини мураккаблаштирди. Маълумки, IEEE 802.16d стандарти “турғун”, IEEE 802.16e стандарти эса “мобил” дейилади. Ўз йўлида IEEE 802.16e стандарти ҳам турғун, ҳам портататив, ҳам мобил абонентларга тўлиқ хизматлар тўплагини тақдим этиши мумкин. Юқоридики кўрилганидек, IEEE 802.16d стандарти қўллаб-қувватлайдиган биринчи маҳсулотлар 2006 йилда, IEEE 802.16e стандарти қўллаб-қувватлайдиган биринчи маҳсулотлар эса 2007 йилнинг бошида бозорда пайдо бўлди. Шундай қилиб бу маҳсулотларнинг чиқиши орасидаги вақт оралиғи жуда кам бўлди ва аввалроқ пайдо бўлган маҳсулотлари билан боғлиқ IEEE 802.16d стандартининг афзалликлари деярли сезилмади. Натижада ускуналар ва воситаларга инвестиция киритиш бўйича қарор қабул қилмоқчи бўлган операторлар жиддий танлов қаршисида бўлиб қолишди ва бу стандартларнинг ҳар бирининг сифатини торозга тортиб кўришлари ва кўп муддатли истиқболда уларнинг ролига эътибор қаратишлари керак бўлди.

Хўш, “турғун” ва “мобил WiMAX” ораларидаги фарқ нималардан иборат экан?

Кўриниб турибдики, икки технология орасидаги асосий фарқ шундаки, “мобил WiMAX” нафақат статик абонентларга, балки юқори тезликларда (120 km/soat гача) ҳаракатланувчи мобил фойдаланувчиларга ҳам хизмат кўрсатиш имкониятига эга. Бунда мобиллик “роуминг” ва “хэндовер” хизматлари мавжудлигини, яъни абонент таянч станциялар орасида ҳаракатланганда узлуксиз уланиш (худди сотали алоқа тизимларидагидек) мавжудлигини билдиради. Маълумки, “мобил WiMAX” турғун фойдаланувчиларга хизмат кўрсатиш учун ҳам қўлланилиши мумкин.

Иккинчи фарқ шундаки, IEEE 802.16e стандарти IEEE 802.16d стандарти билан ўзаро ишлай олмайди. Гарчи IEEE 802.16d стандарти жиҳозларини баъзи ишлаб чиқарувчилари IEEE 802.16e стандартига ўтишга имкон берувчи қўшимча аппарат ёки дастурий воситалар билан жиҳозланган таянч станцияларни таклиф этсаларда, бундай ўтиш ишлатилаётган “16d” абонент терминалларига таълуқли бўлмайди. Таянч станцияларнинг модернизациялаш ҳам сезиларли қўшимча харажатларга олиб келиши мумкин. Кўплаб қурилаётган IEEE 802.16d тармоқларида FDD дуплекси ишлатилади. IEEE 802.16e стандартининг истиқболли профиллари учун TDD дуплекси қўлланилиши кутилмоқда. Бу эса бир стандартдан бошқасига ўтишни мураккаблаштиради, чунки TDD ва FDD

нинг бир частота диапазонида бир вақтда ишлатилиши ҳалақитларнинг пайдо бўлишига олиб келиши мумкин. Бундан ташқари IEEE 802.16d стандартида ишлаётган ва маълум бир вақтдан сўнг IEEE 802.16e стандартига ўтмоқчи бўлган операторлар ўзларининг мавжуд частоталарини икки стандартлар орасида бўлишларига ёки янги частоталар олишларига тўғри келади.

Стандартлар орасидаги сезиларли фарқлар радиоинтерфейсни ишлатилишида ҳам бордир. Дастлаб “16d” версиясида ҳам 256 элементли Фурье тезкор ўзгартириши (256 FFT) лик OFDM мультиплекслаш, ҳам 2048 та нимэлтувчилик (яъни 2048 элементли FFT) OFDMA радио улаиш технологияси қўллаб-қувватланар эди. Аммо кейинчалик IEEE 802.16d стандартининг физик даражаси профилида WiMAX Форуми 2048 FTT лик OFDMA дан эмас 256 FTT лик OFDM дан фойдаланишга қарор қилди. IEEE 802.16e стандартини ишлаб чиқишда эса ўзгарувчан S-OFDMA (ингл. *Scalable -OFDMA*) усулини ишлатиб физик даражада такомиллаштириш киритилган. IEEE 802.16e стандарти доирасида қўлланилган OFDMA технологиясининг афзалликларидан бири шундаки каналнинг кенглиги ўзгарувчан бўлади, шу билан бирга каналнинг кенглиги ва OFDM символларни дискретлаш частотаси орасидаги муносабати ўзгармас қолади. FTT массивларининг бир неча: 128, 512, 1024 ва 2048 ўлчамлари кўзда тутилган ва бу турли радиоканал кенгликларини (5MGs; 7MGs; 8,75MGs; 10MGs, 20MGs) ишлатишга имкон беради. Бундан ташқари IEEE 802.16e стандартидаги OFDMA технологияси алоқа узоклиги ва тармоқ сиғими бўйича ҳар ҳил талабларни қондириш мақсадида тармоқнинг ишчи характеристикаларини оптималлаштириш учун субканалларни ташкил этилишини бир неча усулларини ишлатишга имконият беради. Физик даражада OFDM-символлар ва нимэлтувчилар частотавий режалаштириш ёрдамида алоҳида манتيқий ва физик субканалларга ажратилади. Частотавий режалаштириш частота-тақсимлаш ёки частота-ажратиш асосларида амалга оширилиши мумкин.

Частота-тақсимлаш усули ҳар бир субканалга мўлжалланган нимэлтувчиларни псевдо-расодикий ҳолда мавжуд субканаллар орасида тақсимлайдиган усулни кўзда тутати. Бу усул частоталар хилма-хиллиги ҳисобига турли алоқа шароитларида канал ресурсидан оптимал фойдаланишга имкон беради, шунингдек, таянч станциянинг қамров ҳудудини кенгайтиришни ва тармоқнинг сиғимини оширишни таъминлайди.

Частота-ажратиш усули адаптив модуляция ва кодлаш (ингл. *AMC*) режимида қўллаб қувватланади ва бевосита бир-бирлари билан яқин жойлашган (ёки, қўшни) нимэлтувчиларнинг қўлланилиши орқали субканалларни ташкил этишга имкон беради. Бу усул тармоқнинг сиғимини 30% гача оширишига олиб келиши мумкин. Усулнинг камчилиги бу хизмат маълумотлари ҳажминини ортишидир.

OFDM технологияси (IEEE 802.16d стандарти) абонентлар орасида канал ресурсларини тақсимлашда камроқ эркинликка эга, чунки унда бир

символни фақат бир абонентга тақсимлаш мумкин. OFDMA технологияси эса катта эркинликка эга ва частота ресурсларни бир символ узунлигида бир неча абонентлар орасида тақсимлашга имконият беради. Шундай қилиб, канални кенгайтириш имконияти ва субканалларини турлича ташкил этиш усулларидан фойдаланиш ҳисобига IEEE 802.16е стандартидаги OFDMA физик интерфейси IEEE 802.16d стандартидаги OFDM га нисбатан сезиларли афзалликлирга эга.

Ҳар иккала стандартларда радиointерфейсни ташкил этишга турли талаблар қўйилган, ва IEEE 802.16е стандартида бу талаблар кўшимча кенгайтирилган эди ва ишлаб чиқарувчиларга тармоқ сигимини, алоқа узоқлигини, терминалларнинг энергия истеъмолини ва хизмат кўрсатиш сифатини янада яхшилаш, шунингдек, IP–протоколи асосида ишлайдиган мультимедияли ва бошқа хизматларни қўллаб–қувватлаш имкониятлари тавсия этилган эди. IEEE 802.16d ва IEEE 802.16е стандартлари алоқанинг ишончилигини оширишга қаратилган хатоларни олдиндан тузатиш (ингл. *FEC*) бўйича турли алгоритмларни қўллаб қувватлайди. Оддий ўрамли кодлардан ва ARQ механизмидан фойдаланиш мажбурий деб, қўшимча воситалар сифатида эса ўрамли турбокод ва HARQ - гибрид акс алоқа каби самарадор усуллар қўлланилиши назарда тутилган. Бироқ, бу юқори самарадор хато тузатиш воситалари IEEE 802.16d стандартининг биринчи авлод жиҳозларида ишлатилишини эҳтимоли кам. IEEE 802.16е стандартида эса биринчи маҳсулотлардаёқ LDPC (ингл. *Low Density Parity Check*) камзичлик жуфтликка текшириш ва СТС каби такомиллашган кодлаш усуллари қўлланилади.

Тармоқнинг қамров ҳудудини оширишга қаратилган қўшимча ечимлар иккала стандартда ҳам кўзда тутилган. Булар орасида антенналарни фазовий–вақтли кодлаш (ингл. *STC*) асосида фазовий ёйиш усули қўлланиладиган ММО технологияси бордир. Бу чоралар IEEE 802.16е стандартида янада ривож топди, бунда антенналарни ёйиш усуллари ва адаптив антенналарни ишлатишга катта эътибор қаратилди. ТС узаткичларида кўп антеннали конфигурацияларни қўллаб–қувватлаш, шу жумладан, такомиллаштирилган антенна нимтизими режими AAS, тескари алоқасиз фазовий–вақтли кодлаш режимлари (2-4 узатувчи антенналар учун ва тескари алоқали ММО режимлари) ишлатилган.

IEEE 802.16е стандартида электр энергиясини тежашни ва АҚ ни автоном узоқроқ ишлаш вақтини таъминлайдиган энергия истемолини бошқаришнинг қатор функциялари (“уйқу” ва “кутиш” режимлари) тавсифланади. АҚ нинг мобиллик қисмига IEEE 802.16е стандартига киритилган янги қўшимчалар ҳатто юқори тезликларда ҳаракатланганда ҳам жиҳоз ишлаши сифатини кейинги оширилишига олиб келади. Бунга яхшиланган “хэндовер” жараёни, қўшни соталар сигналлари параметрларини назорат қилиш шунингдек “ухлаш” режимида мобилликни қўллаб–қувватлаш ҳисобига эришилади, бу абонент ускунасининг энергия истеъмолининг камайишини таъминлайди.

IEEE 802.16e стандартида реал вақтда канални илғор тақдим этилишининг такомиллаштирилган алгоритми (ингл. *Extended Real Time Polling Service, ERTPS*) киритилмоқда. Бу алгоритмдан фойдаланиш аниқликнинг ушланиши ва унинг нотекислиги (джиттер) кўрсаткичларини яхшилаш имкониятини беради. Шу сабабли IEEE 802.16e стандарти тизими трафикни узатиш тизимини ва бошқа унинг параметрларини самарали бошқаришга қодир. QoS таъминлаш воситаларидан фойдаланиш, айниқса, IP протоколи бўйича (VoIP) нутқ узатилган ҳолда муҳимдир.

Шунингдек, IEEE 802.16e стандарти гуруҳли (кўп манзилли) ва кенг узатишли узатиш имкониятини кўзда тутди. OFDMA дан фойдаланиш ҳатто соталар чегараларида ҳам маълумотларини юқори узатиш тезлигида гуруҳли ва кенг узатишли узатиш имконияти мультимедиа тизимларига (видеони пакетли узатиш қўлланиладиган, масалан IP-TV, IP-протоколи бўйича катта трафик ҳажми билан характерланадиган) ўтказиш полосасидан фойдаланишни ва контентнинг етказилишини сезиларли оптималлаштиришга имкон беради.

Ва ниҳоят, у ёки бу стандартнинг махсулотлари нархларининг ўзгаришларига тахминларда фарқлар мавжуд. КСУ тизимлари бозори ўсишда давом этмоқда ва шунинг учун уларнинг нархи оммавий жорий этилиши ва ишлаб чиқариш қўламлари ҳисобига иқтисод қилиш натижасида келажакда камайиши керак. АКТ индукциясидаги тажрибаларнинг кўрсатишича, портатив ва мобил ускуналарнинг тарқалиши кўпинча ҳам абонент, ҳам инфратузилма жиҳозларини ишлаб чиқариш ҳажмларини тез ўсишига олиб келади. Шунинг учун IEEE 802.16e стандарти мобил ускуналарининг ривожланиши IEEE 802.16d стандартидагига қараганда арзон бўлишига имкон беради. Шу билан бирга йирик чипсетлар ишлаб чиқарувчилари (Intel, FUJITSU каби) расман билдиришдики, IEEE 802.16e стандарти WiMAX тизимларининг асосий стандарти бўлиб қолади. Лекин агар «турғун WiMAX» ҳам афзалликлари келтирилмаса таққослаш тўлиқ бўлмайди. Бу аввало фойдаланиладиган сигнални модуляциялаш ва кодлаш турлари ҳисобига юқори ўтказиш қобилияти ҳисобланади. Бу ўтказиш полосасига қатъий талабларни қўядиган ва турғун модемни ўрнатиш имкониятига эга бўлган корпоратив фойдаланувчилар учун муҳим. «турғун WiMAX» учун стандартнинг аввалроқ пайдо бўлиши ҳисобига тайёр жиҳозларни етказиб берадиганнинг катта танлаш мавжуд ва бу жиҳозлар энди ўзаро мослашишга тестланган ва WiMAX Форуми сертификатлари билан тасдиқланган.

IEEE 802.16d ва IEEE 802.16e стандартларини кўриб чиқишни яқунлаш билан 5.3–жадвалга киритилган бу стандартларнинг характеристикаларини умумлаштирилган таққослашни шунингдек 5.4–жадвалда бу стандартлар тақдим этиладиган хизматлар классификациясини келтираимиз.

IEEE 802.16d ва IEEE 802.16e стандартларини таққослаш

	IEEE 802.16 -2004(d)	802.16e
Қўлаб улавиш усули	OFDM/OFDMA	S-OFDMA
Ўтказиш полосасининг кенглиги (MGs)	1,75/3/3,5/5,5/7 (OFDM) 1,25/3,5/ 7/14/28 (OFDMA)	1,25/2,5/5/10/20 1,75/3/3,5/5,5/7
FFT массивнинг ўлчами	256 (OFDM) /2048 (OFDMA)	128; 256; 512; 1024; 2048
Нимэлтувчилар орасидаги сурилиш (kGs)	22,5 (OFDM 5MGs) 2,8 (OFDMA 5MGs)	Исталган ўтказиш оралиғи кенглиги учун 11.2
Дуплексирилаш усули	FDD/TDD/FDD2 ярим дуплекс	FDD/TDD/FDD ярим дуплекс
Кадрнинг узунлиги (мс)	2,5; 4; 5; 8; 10; 12,5; 20	2; 2,5; 4; 5; 8; 10; 12,5; 20
Канал кодери	Систематик каскадли сверткали рекурсив код (RSCCC), Block TC, CTC3	Систематик каскадли сверткали рекурсив код (RSCCC), Block TC, CTC, LDPC
Нимканаллар («пастга»)	FUSC/PUSC/Band AMC	FUSC/PUSC/Band AMC
Нимканаллар («юқорига»)	PUSC/Optional PUSC	PUSC/Optional PUSC
HARQ ни қўлаб – қувватлаш	Бор (фақат 2048 OFDMA)	Бор
CQI тезкор акс алоқа	Бор (фақат 2048 OFDMA)	Бор
AAS	Бор	Бор
STC ни қўлаб – қувватлаш	Бор	Бор
Частоталарни қўп марта ишлатилиши	2/4 антенналар	2/3/4 антенналар
Мобиллик/ сеансини узатиш	1 сота доирасида ишлатилмайди	1 сота доирасида ишлатиш мумкин
“Уйқу” режими	Йўқ	бор
Зондлаш канали	Йўқ	Бор
Гуруҳли / кенг қамровли узатиш	Йўқ	Бор

Мавжуд ва пайдо бўладиган сервисларнинг мисолий классификацияси

Узатиладиган маълумотлар тури	Хизматлар тоифаси	«турғун WiMAX»	«мобил WiMAX»
Ахборотлар	Internet –уланиш, e –mail	++	++
	VPN	++	++
	Маълумотлар базасига порталларга уланиш	+	++
	Маълумотларни тўплаш	+	++
	Телематрия	++	+
	Активлар устидан назорат	-	+
Товуш	VoIP	++	++
	РТТ (гурухли чақириш)	-	++
	FMC	-	++
Видео	Радиочақирув Видеоконференция	+	++
	Видеокузатув	++	+
Жойлашган ўрин	Ахборот хизматлари	-	++
	Ходимлар ва техникани бошқарув	-	+
	Чақирувларни адаптив маршрутлаштириш	-	++

++ хизматлар яхши қўлланилган; + хизматлар ўртача қўлланилган;

- қўлланилмаган.

5.3. WiMAX тизимининг архитектураси

5.3.1. WiMAX тизимининг архитектурасининг асосий принциплари

WiMAX тизимининг архитектурасига нисбатан IEEE институти РНУ физик ва MAC даражалардаги асосий талабларни аниқлади. Ўз вақтида

бундай ёндашув Ethernet ва WI-FI технологияларга қўлланишда ўз самарадорлигини кўрсатди. Уларда TCP/IP, SIP, VoIP ва IP-SEK турдаги юқори даражалардаги протоколлар ва бошқа соҳавий тузилмалар, бу ҳолда IETF (ингл. *Internet Engineering Task Force* – Интернет тармоғини лойиҳалаштириш бўйича мақсадли гуруҳ) гуруҳи томонидан қабул қилинган. Лекин, PНУ ва MAC даражаларда радиоинтерфейсга умумий талаблар ишланмасидан ташқари, халқаро даражада мослаштириш зарур бўлган масофалар тўплами мавжуд. Хусусан, турли хил бир жинсли, ҳам “турли жинсли” (яъни бошқа технологияларга кирадиган) тармоқлар билан WiMAX тизимларининг ўзаро таъсирлашишини таъминлаш бўйича талабларни аниқлаш зарур. Мисол учун мобил алоқалар учун бу масалалар билан 3GPP ва 3GPP-2 дастурлари шуғулланади. Улар интерфейслар ва протоколлар кенг тўплам бўйича стандартларни ўрнатади. Чунки бу фақат умумий радиоинтерфейс бўйича ўзаро таъсирлашиш учун эмас, балки турли ишлаб чиқарувчилар жиҳозларида қурилган турли тармоқлар орасида ўзаро таъсирлашиш ва «роуминг» учун зарур бўлади. Шунга ўхшаш IEEE 802.16 оиласидаги стандартлар учун протоколлар ва интерфейсларни ишлаб чиқиш билан WiMAX форуми шуғулланади. Хусусан, форум доирасида икки ишчи гуруҳ ташкил этилди. Стационар, кўчма, портатив ва мобил иш режимлари учун юқори даражалар спецификацияларини тайёрлаш мақсулаштирилган тармоқларни ташкил этиш бўйича гуруҳ (ингл. *Network Working Group*) тармоққа уланишни тақдим этиш бўйича талабларни аниқлаган ва уларни ишлатишга тармоқларни ташкил этиш бўйича гуруҳга ёрдам берган хизматларни ташкил этиш бўйича гуруҳ (ингл. *Service Network Working Group*) ташкил этилди. Бу гуруҳлар ўз ишида қуйидаги асосий тармоқларни қуриш принципларига асосланди:

1. WiMAX тизими архитектураси бевосита IEEE 802.16 стандарти, шунингдек, IETF ва Ethernet стандартлари аниқлаган коммутация жараёни қўшилганда пакетни коммутация асосида қурилиши керак.

2. Архитектура коммутация даражасидан уланиш даражасини ажратиш керак. Яъни, тармоқнинг коммутация даражаси элементлари IEEE стандартларининг қўлланилган радиоуланиш технологияларига боғлиқ бўлмаслиги керак.

3. Тизимнинг архитектураси тармоқларни қуриш ва кенгайтиришнинг турли вариантларини қўллаб-қувватлаш учун модулли ва ихчам бўлиши керак. Хусусан, уларга қуйидагилар киреди:

- Кичик ўлчамлардаги тармоқлардан катта ўлчамли тармоқларга ўтиш;
- Шаҳар, шаҳар атрофи ва қишлоқ шароитларидаги радиотўлқинларни тарқалишида ишлаш;
- Лицензияланган лицензияланмаган ишчи частоталардан фойдаланиш;

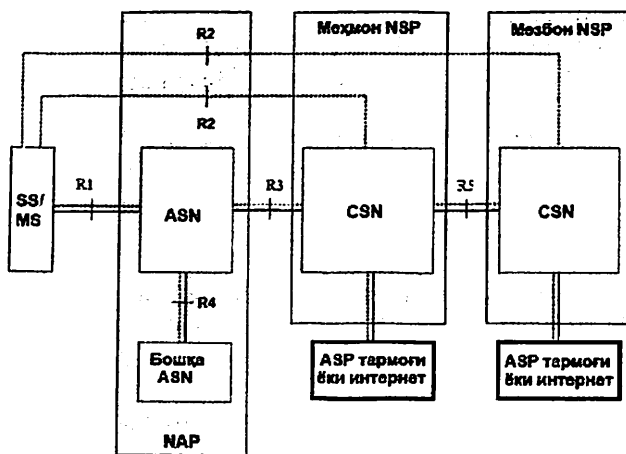
- Иерархик, бир даражали ва ўзи шаклландиган тармоқлар топологиялари ва уларнинг комбинациялари;
- Турғун кўчма, портатив ва мобил терминалларда биргаликда ишлаш.

WiMAX Форуми қатнашчилари тизим архитектурасининг мантиқий тақдим этилиши ҳисобланган NRM (ингл. *Network Reference Model*) WiMAX тармоғининг таянч моделини аниқлади [49]. NRM модели функционал тизимлар орасида ўзаро таъсирлашиши амалга ошириладиган ва таянч нуқталар (ингл. *Reference Points*) дейиладиган тармоқнинг функционал тугунларини тавсифлайди. WiMAX тармоғининг таянч модели умумий кўринишда 5.3-расмда келтирилган.

Тизимнинг бундай архитектураси турли тармоқларни куриш модулларини ва терминалларнинг иш режимларини қониктирадиган функционалликни таъминлаш мақсадида таклиф этилган. WiMAX Форуми WiMAX тармоқлар ишлашининг кўплаб аспектларини аниқлайдиган архитектурани ишлаб чиқди:

- Бошқа тармоқлар билан ўзаро таъсирлашиш;
- Тармоқ манзилларини тақсимлаш;
- Мобилликни бошқариш;
- Аутентификация ва кўплаб бошқалар.

WiMAX тармоғи архитектурасининг бош ўзига хос хусусияти шундан иборатки, у у қандайдир маълум конфигурация боғланмаган ва юқори кўламликка ва ихчамликка эга. Масалан, WiMAX тармоғи турли функционал имконияти АҚ ларни ва микросоталарни ва макросоталардан бошланган ҳамда пиксоталар ва фемсоталарда тугаган ўзгарувчан қамраш худудли ТС ларни қуллаб-қувватлаши мумкин.



5.3-расм. WiMAX тармоғининг таянч модели (NRM)

WiMAX Форуми R1-R5 (асосий) ва R6-R8 (ёрдамчи) белгиланишларни олган таянч нуқталари бўлган бир неча тугунлараро уланишлар билан бирга тармоқнинг тугунлар таркибини аниқлади.

5.3-расмдан кўриниб турибдики, WiMAX тармоғининг асосий тугунлари қуйидагилар ҳисобланади.

- SS/MS (ингл. *Subscriber Station/Mobile Station*) – абонент ускунаси/мобил станция;
- ASN (ингл. *Access Service Network*)-уланишни тақдим этиш;
- BS (ингл. *Base Station*)-таянч станция (яъни “уланиш нуқтаси номига эга”), ASN тузилмасига киради;
- ASN-GW (ингл. *ASN Gateway*)- ASN шлюзи, у ҳам ASN тузилмасига киради;
- CSN (ингл. *Connectivity Service Network*)-коммутация тармоғи;
- HA (ингл. *Home Agent*)-уй агенти, CSN тузилмасига киради;
- AAA Server (ингл. *Authentication, Authorization and Accounting Server*)-аутентификациялаштириш, авторизация ва қайд этиш сервери, у ҳам GSN таркибига киради;
- NAP (ингл. *Network Access Provider*)-тармоққа уланиш провайдери;
- NSR (ингл. *Network Service Provider*) - тармоқ хизматлари провайдери;

Тармоқ тугунларига бўлиш мантиқий даражада ва ҳар бир мантиқий тугунларда амалга оширилган. MS, ASN ва CSN гуруҳли функционалликдан иборат бўлиши мумкин. Бунда тармоқ функциялари функциялар бўлинган ҳам бир, ҳам бир неча аппаратларида ишлатилиши мумкин. Ускунада функцияларни бўлиш ёки бирлаштириш тизимни интеграция модели билан аниқланадиган ёки тизимнинг характеристикаларига кўйиладиган талабларни танлаш ҳисобланади. Тизим ичида ўзаро таъсирлашиш тармоқнинг функционал тугунлари орасидаги ўзаро таъсирлашиш протоколларини аниқлашда қурилади.

5.3.2. WiMAX тармоғи тугунларнинг функционалигини

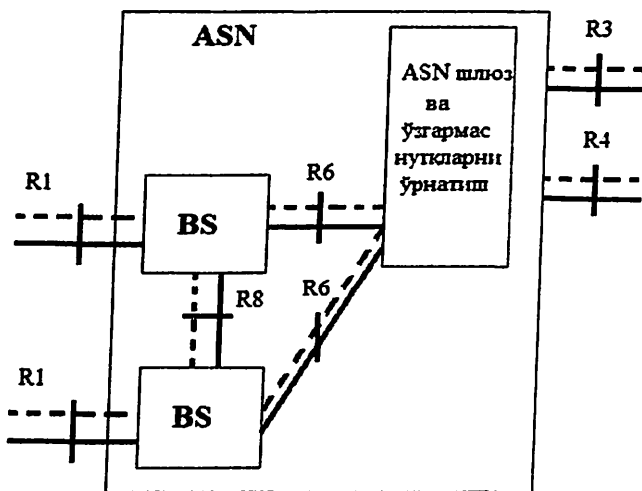
5.3.2.1. Абонент ускуналари

Абонент ускуналари WiMAX тармоғига ва ташқи IP-тармоқларга таянч станцияларга радиоканал буйича уланиш орқали уланиш олади. Улар стационар, кўчма ва мобил режимларда ишлатилиши мумкин ва мос равишда ҳам бино ичида, ҳам бино ташқарисида ишлатиш учун мўлжалланган. Бино ичида фойдаланишга мўлжалланган АҚ лар ташқи ускуналарга қараганда ТС дан сезиларли кичик масофаларда ишлашга қодир ва шунинг учун тармоқ инфратузилмасида кўп сонли ТС лардан фойдаланишни кўзда тутати. «мобил WiMAX» пайдо бўлиши билан йўналиш (урғу) мобил смартфонлар, USB-модуллар ва PC-карталар кўринишида мобил АҚ ларни ишлаб чиқаришга қаратилади.

5.3.2.2. ASN рухсат олишни тақдим этиш тармоғи

ASN тугуни коммутация даражаси ва уланишни тақдим этиш даражасини мантиқий чегарасини аниқлайди ва уланишни тақдим этишга жавоб берадиган функционал тугунлар орасида ўзаро таъсирлашиш ва хабарларни алмаштиришнинг қулай усулини таклиф қилади. ASN бир ёки бир неча мижозлар билан бир ёки бир неча TC лардан иборат. ASN мижозлар CSN коммутация тармоғи билан у орқали бошқа транспорт IP-тармоқлар билан алоқани таъминлайди. Фактик бу тугун IEEE 802.16 радио уланиш тармоғини ташқи IP-тармоқлар билан боғлайди. NRM моделида ўрнатилишларга мувофиқ ASN тармоқлари чегараларида функционал ва мантиқий коммутация турли усулларда амалга оширилиши мумкин. Хусусан ASN - шлюз бир неча TC лар ишини бошқариши мумкин, лекин ҳар бир TC ҳам бир эмас, бир неча ASN-шлюзларга боғланган бўлиши мумкин.

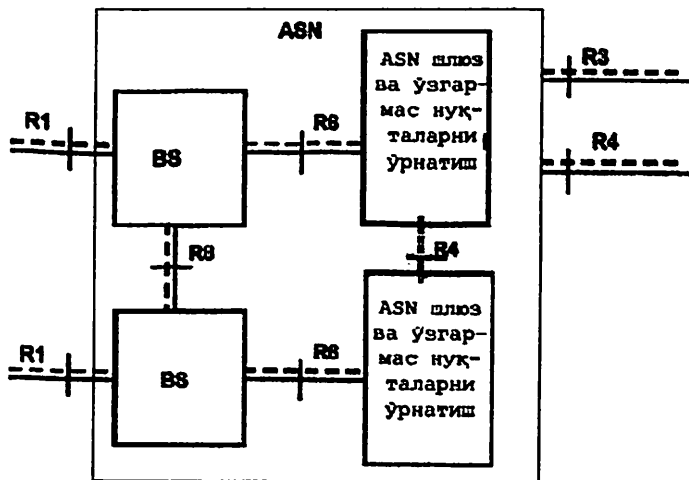
Бундан ташқари, TC ҳам, ASN-шлюзлар ҳам тўғридан-тўғри бир-бирларига боғланган бўлиши мумкин. WiMAX Форуми ишлаб чиқарувчилар жиҳозларнинг хилма-хиллигини қўллаб-қувватлаш ва уларни ўзаро таъсирлашиш имкониятларини ҳисобга олганда тармоқнинг спецификациясини аниқлайди. ASN тузилмаси 5.4-расмда келтирилган.



5.4-расм. ASN тузилмаси

ASN тугуни АҚ лари билан уланиш учун R1 таянч нуктасидан, CSN тугун билан уланиш учун R3 таянч нуктасидан, бошқа ASN тугунлар билан уланиш учун R4 таянч нуктасидан фойдаланади. Бевосита ASN тугуни TC лар ва уларга уланган ASN-шлюзлардан иборат (5.5-расм).

ASN тугуни элементларининг ўзаро таъсирлашиши R6, R7, ва R8 махсус интерфейсларини таянч нуқталарини сифатида ишлатиши ҳисобига амалга оширилади. Агар ASN тугуни бир неча ASN – шлюзларни ишлатган ҳолда, унда бошқариш сигналларини алмаштириш R4 таянч нуқтасидан орқали амалга оширилади. TC IEEE спецификацияларида аниқланган параметрлар буйича мос ҳисобланадиган абонент ускуналарига ва Интернетга симсиз уланишни таъминлайди. TC АУ ва Интернет тармоғи орасида IP-трафикни WiMAX стандарти радиоинтерфейсли орқали маршрутлаштиради.



5.5-расм. ASN таянч нуқталари

Таянч станция тавсифи

WiMAX Таянч Станцияси (баъзан “уланиш нуқтаси” сифатида белгиланади) бу IEEE 802.16 стандартга мувофиқ PHY ва MAC даражаларига муносабатта эга мантиқий ускунадир. Бу шунинг билдирадигани, турли БСлар турли функцияларга эга бўлиши мумкин. WiMAX тармоғидан мантиқий TC ўз частота ресурсини бир маълум сектор ҳисобланади. Яъни реал TC бир нечта мантиқий TC лар билан бирлашмасидан иборат. Юқламани бир текис тақсимлаш ёки TC тизимининг тўлиб қолиши учун TC бир неча ASN – шлюзлар орқали уланиши мумкин.

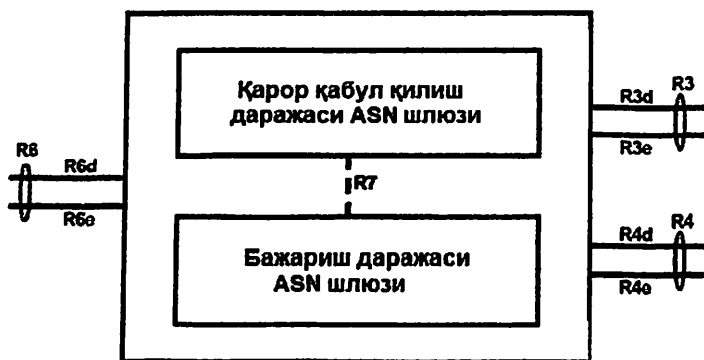
ASN–шлюз тавсифи

ASN–шлюз мазкур мантиқий ускуналарнинг қисмини ўзига олиш билан ASN ва CSN тугунлар орасида ўзаро таъсирлашишни бўйича функцияларни бажарадиган мантиқий ускуна ҳисобланади. Шунингдек, ASN – шлюз бир ASN тугуни TC ини бошқа ASN тугунлар ва CSN тугун билан боғлайди. Бунда алоқа ҳам трафик каналлари даражасида таъминланади. Юқламани бир текис тақсимлаш ва тармоқнинг

ишончилигини таъминлаш учун ASN тугунда бир неча ASN – шлюзлар бўлиши мумкин.

ASN–шлюзнинг функционаллиги

ASN нинг функционаллик имкониятлари асосан ASN–шлюзга қўйилган, у опционал жиҳатдан иккита DP (ингл. *Decision Point*) қарорни қабул қилиш ва EP (ингл. *Enforcement Point*) бажариш даражасига бўлиниши мумкин. Бундай бўлиниш тармоққа ASN – шлюзларни қулай жорий этиш учун махсус қилинган. DP ва EP даражалар R7 таянч нуқтасидан орқали бир-бирлари билан таъсирлашади. Бунда DP даража биттадан ортиқ EP даражалар билан (яъни ASN–шлюз билан) ўзаро таъсирлашиши мумкин. EP даража трафикни узатиш функциясини, DP даража эса бошқариш функциясини бажаради. R3, R4, R6 таянч нуқталарга қўйилган ASN – шлюзлар функциялари 5.6-расмда келтирилган.



5.6-расм. ASN – шлюзнинг таянч нуқталари

Мисол учун, R6 d ва R6 c таянч нуқталари TC ва ASN – шлюзнинг DP ва EP даражалари орасидаги интерфейс ҳисобланади. TC ва ASN – шлюзлар орасида функцияларни тақсимланиши ASN профиллар (A, B ва C профиллар) томонидан аниқланади.

5.3.2.3. CSN коммутация тармоғи

CSN тугуни ҳам WiMAX тармоғи ичида, ҳам ташқи IP-тармоқлар билан абонентларга алоқа хизматларини тақдим этадиган бевосита WiMAX оператори тармоғи ҳисобланади. CSN да IP-маршрутлаштириш, RCRF ва абонентлар продгилларини сақлаш, ASN тугунлар билан трафикни алмаштириш AIS ASN худуди чегараларидан чиққанда мобилликни бошқариш, «роуминг» да турли CSN тугунлари орасида трафикни туннеллаштириш, «биллинг» ва «роуминг» ҳисоблари, мультимедиа сервислари, қонуний ушлаш (рус. “Законный перехват”) ва бошқалар каби кўп сонли функциялар ижратилади. CSN тугун

маршрутизаторлар, AAA прокси-серверлар, абонентлар маълумотлари базаси ва ўзаро таъсирлашиш шлюзлари каби тармоқ элементларини ўз ичига олиши мумкин. CSN тугуни яна яратиладиган тармоқ ёки мавжуд WiMAX хизматлари провайдери тармоқлари қисми сифатида ишлатилиши мумкин.

IEEE 802.16 стандартига мобилликни киритилиши билан NRM таянч моделга NSP (ингл. *Home NSP* ва *Visited NSP*) тармоқ хизматлари провайдерининг уй ва меҳмон тугунлари киритилди. Уй HSP бу АУ га алоқа хизматларини тақдим этадиган оператор, меҳмон HSP эса АУ га «роуминг» хизматларини тақдим этадиган оператордир. Бунинг учун уй ва меҳмон HSP ўзаро «роуминг» ҳақида шартнома имзолайди. Ҳам уй ва ҳам меҳмон HSP AAA функцияларини бажаради. АУ га тармоқнинг ёзилган хизматларига тақдим этишни тақдим этади, лекин «биллинг» ва абонент тўловини ҳисоб-китоби уй NSP орқали амалга оширилади. «Роуминг»да АУ учун трафикни маршрутлаштириш ҳам уй NSP орқали, ҳам тўғридан-тўғри меҳмон NSP орқали амалга оширилиши мумкин.

5.3.2.4. Таянч нуқталарининг функциялари

Таянч нуқтаси икки турли тармоқлар гуруҳларида жойлашган иккита функционал тугунлар орасида ўзаро таъсирлашиш нуқтаси ҳисобланади.

Бунда қуйидаги шартлар тўғри:

- Мазкур таянч нуқтасининг протоколлари доим ҳам бир функционал гуруҳга бирлаштирилмаган;
- таянч нуқтаси орқали бирлаштирилган иккита тугун турли функционал гуруҳларда бўлади.

R1 таянч нуқтаси

R1 таянч нуқтаси IEEE 802.16 стандарти спецификацияси буйича радиоинтерфейс орқали АУ ва ASN тугуни орасидаги протоколлар ва жараёнлардан ташкил топган R1 таянч нуқтаси бошқариш режасига муофиқ қўшимча протоколларни ўз ичига олиши мумкин.

R2 таянч нуқтаси

R2 таянч нуқтаси NSP уй тармоғи билан таъсирлашадиган АУ ва CSN тугуни орасидаги протоколлар ва жараёнлардан ташкил топган R2 аутентификациялаш, авторизация ва IP-конфигурациялаш функцияларини бажарадиган мантиқий инерфейс ҳисобланади.

R3 таянч нуқтаси

R3 таянч нуқтаси AAA хизматларни, бошқариш сиёсати ва мобилликни бошқариш қўллаб-қувватлаш учун ASN ва CSN тугуни орасидаги назорат протоколи тўпламидан иборат. У шунингдек, ASN ва CSN тугунлар орасида трафикни узатиш функциясини бажаради.

R4 таянч нуқтаси

R4 таянч нуқтаси назорат ва хизмат протоколлари ҳамда ASN ишига боғлиқ турли функционал жараёнлардан ташкил топган ва ASN мижозлар орқали ASN тугунлар орасида ўзаро таъсирлашишни таъминлайди.

Бинобарин R4 таянч нуқтаси орқали бир жинсли (гетерогин) ASN тугунлар орасидаги ўзаро таъсирлашиш протоколини таъминлайди.

R5 таянч нуқтаси

R5 таянч нуқтаси уй ва меҳмон NSP провайдер тармоқларига кирадиган CSN тугунлар орасидан назорат протоколлари тўпламидан иборат.

ASN таянч нуқталари

R6 таянч нуқтаси

R6 таянч нуқтаси TC ва ASN - шлюз орасида ўзаро таъсирлашиши учун назорат ва бир томонга йўналган каналлардан ташкил топган. Тескари алоқа канали TC ва ASN - шлюз орасида ASN тугуни канали ичидаги ахборотни канали ҳисобланади. Назорат матрицаси ахборот каналлини ташкил этиш протоколлари, мобил абонентлар AU лари учун назорат каналлини тақдим этиш ва ўзгартиришни ўз ичига олади. R6 R4 билан комбинацияда R8 нуқта орқали алмаштириш имкониятига эга бўлмаган таянч станциялар орасида MAC-ҳолатларни алмаштириш учун “туннел бўлиб” хизмат қилиши мумкин.

R7 таянч нуқтаси

R7 таянч нуқтаси ASN-шлюздаги бошқариш сиёсати ва AAA функциялар учун назорат протоколлари опционал матрицасидан ташкил топган.

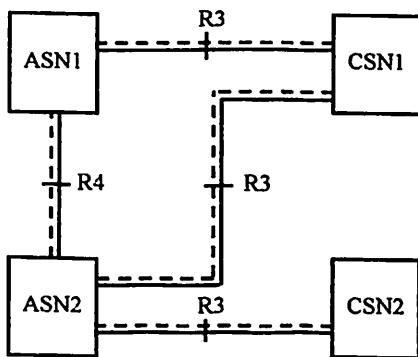
R8 таянч нуқтаси

R8 таянч нуқтаси AU хизмат кўрсатишни тез ва сезиларсиз узатилиши бўлган “жэндовер” учун TC орасида трафикни узатиш опционал интерфейси ва бошқарувчи хабарлар ва оқимлар интерфейсларидан ташкил топган.

5.3.2.5. Радиоулашиш тармоғи ва коммутация тармоғининг ўзаро таъсирлашиши. WiMAX тизими архитектурасининг бошиқа ўзига хос хусусиятлари

5.7-расмда ASN ва CSN тугунлар бир операторга тегишли бўлмаган ҳолда уларнинг ўзаро таъсирлашиши мумкин ва аксинча, бир нечта CSN тугунлари битта ASN тугунига кўринадиган бўлиши мумкин.

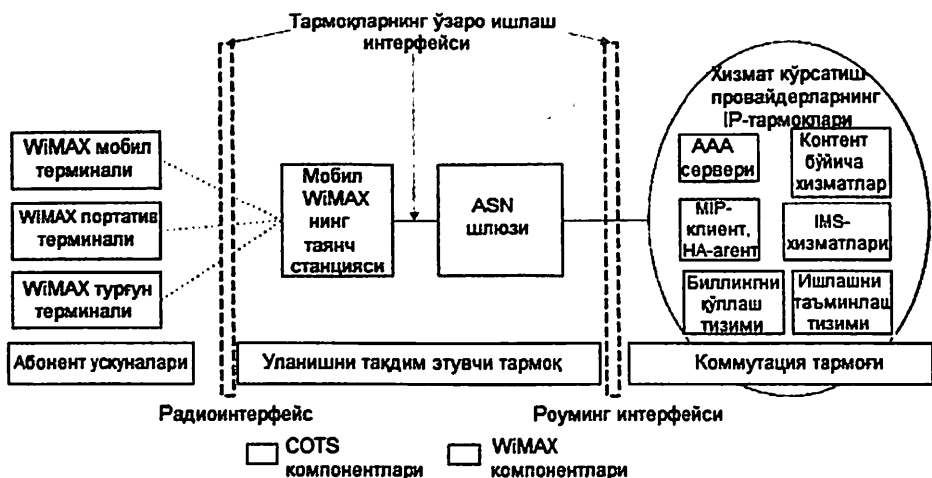
WiMAX тизими архитектураси бир тармоқ платформасида IP ва Ethernet хизматларини тақдим этишга имконият беради. WiMAX тармоқ компонентларини ихчамлиги ва мослашувчанлиги операторларга, шунингдек, аралаш тармоқларда ҳам ташкил этиш учун турли ишлаб чиқарувчиларнинг фойдаланиш қулайлигини беради.



5.7-расм. WiMAX таянч тармоғи тугунларининг ўзаро таъсирлашиши

WiMAXWiMAX архитектурасининг универсаллиги қуйидаги турли хизматлар ва иловаларни қўллаб-қувватлашга имкон беради:

- Товуш ва мультимедиа иловалари, шунингдек, авария чақирувлари ва қонуний ушлаш турларидаги мажбурий хизматлар;
- Турли хизмат кўрсатиш тармоқларига мустақил уланиш;
- IP буйича товушга асосланган мобил товушли алоқа (VoIP);
- IP буйича SMS, IP буйича MMS ва бошқа хизматлар;
- Гуруҳли ва кенг узатишли алоқа ўзаро таъсирлашиш ва «роуминг» хизматлари и WiMAXWiMAX тармоқларининг муҳим функционаллиги ҳисобланади. Хусусан, WiMAXWiMAX тармоқлари 3GPP ва 3GPP-2 симсиз тармоқлар, шунингдек, IETF протоколлари асосидаги DSL ва MSO симли тармоқлар билан ўзаро таъсирлашиши мумкин. WiMAXWiMAX тармоқлари билан “глобал роуминг” хизматлари ўша бир АУ идентификаторларидан фойдаланиш имкониятларини AAA ва «биллинг» ягона функцияларини, “ном/пароль” бирлашмаси, рақамли сертификатлар, SIM-карталар, универсал USIM-карталар ва RUIM (ингл. *Removable User Identify Module*) абонентни идентификациялашнинг олиннадиган модуллари каби турли аутентификациялаш форматларини қўллаб-қувватлаш имкониятларини ўз ичига олади. Кўп даражали тузилмали WiMAXWiMAX тизими архитектурасининг модели 5.8-расмда келтирилган.



5.8-расм. IP асосидаги WiMAX тармоғи архитектураси

5.3.3. IEEE 802.16 стандартидаги иш режимлари

Аввал таъкидлаганимиздек IEEE 802.16 стандарти WiMAX тармоқлари учун физик ва MAC даражаларни тавсифлайди. Бу сатҳларда радиоинтерфейслар технологиялари, каналларга уланиш ва модуляция усуллари, оқимларни бажариш тизимлари, узатиладиган ахборотлар тузилмаси, юқори даражалар маълумотларни узатиш протоколларини (аввало ATM ва IP) WiMAX тармоқларининг пастки (физик) даражалари протоколлари уйғунлаштириш механизмлари аниқланади. IEEE 802.16 стандарти 5.5-жадвалда келтирилган.

Жадвалдан кўришиб турибдики, фақат битта элтувчидан фойдаланадиган WirelessMAN-SC (ингл. *Wireless Metropolitan Area Network-Single Carrier*) режими 10-66GGs диапазонда ишлаш учун мўлжалланган ва 25MGs канал кенглигида ва 120Mbit/сек маълумотларни узатиш тезликли тўғри кўриниш соҳасида ишлайдиган магистрал тармоқларга йўналтирилган (мўлжалланган). Қолган режимлар 11GGs дан паст диапазонлар учун ишлаб чиқилган. WirelessMAN-SCa бу WirelessMAN-SC режимининг “паст частотали” версиясидир (қатор кўшимча механизмли, хусусан, 256-QAM квадратурали-амплитудавий модуляцияга рухсат этилади).

WirelessHUMAN (ингл. *High Speed Unlicensed Metropolitan Area Network*) режими лицензиясиз диапазонларда ишлаш учун мўлжалланган (бундай диапазонлар AQSH да ва қатор Европа давлатларида кўзда тутилган). WirelessHUMAN режимининг ўзига хос хусусиятлари фақат TDD, DFS (ингл. *Dynamic Frequency Selection*) частоталарни динамик тақсимлаш функциясидан ва частота каналларини нашрлаштириш механизмидан фойдаланиш ҳисобланади.

IEEE 802.16 стандартининг асосий режимлар

Режим	Частота диапазони, GGs	Опциялар	Дуплекслаш усули
WirelessMAN-SC	10-66		TDD/FDD
WirelessMAN-SCa	< 11	AAS/ARQ/STC	TDD/FDD
WirelessMAN-OFDM	< 11	AAS/ARQ/STC/Mesh	TDD/FDD
WirelessMAN-OFDMA	< 11	AAS/ARQ/STC	TDD/FDD
WirelessHUMAN	<11, лицензиялаштирилмайдиган диапазон*	DFS/AAS/ARQ/Mesh/STC	TDD/FDD

* АҚШ ва Европада

WirelessMAN-OFDM ва WirelessMAN-OFDMA каналларни ортогонал бўлишга асосланган ва IEEE 802.16-2001 стандартга нисбатан принципиал янги усуллардир. Олдин бу режимлар IEEE 802.16a стандартига кирган, лекин қатор ўзгартиришларга учради ва натижада IEEE 802.16d стандарт IEEE 802.16e стандартларига кирди.

11GGs дан паст диапазонлардаги барча режимларда ўта такомиллаштирилган сигнални қайта ишлаш технологиялари қўлланилади:

- ARQ-такрорий узатишни автоматик сўров механизми;
- AAS - адаптив антенна тизимлари билан ишлашни қўллаб-қувватлаш;

- AAS тизимлари билан ишлашда STC-Фазовий-вақтли кодлаш.

Шунингдек, WirelessMAN-OFDM режимида “нуқта-кўп нуқта” марказлаш турига топологиясига кўшимча режимда mesh-тармоқ архитектурасини қўллаб-қувватлаш кўзда тутилган (тармоқ терминяллари фақат АУ функцияларини бажаришдан ташқари, трафикни ретрансляцияниши мумкин бўлган марказлаштирилмаган топология).

5.3.4. IEEE 802.16 стандарти тармоғи физик даражасининг тавсифи

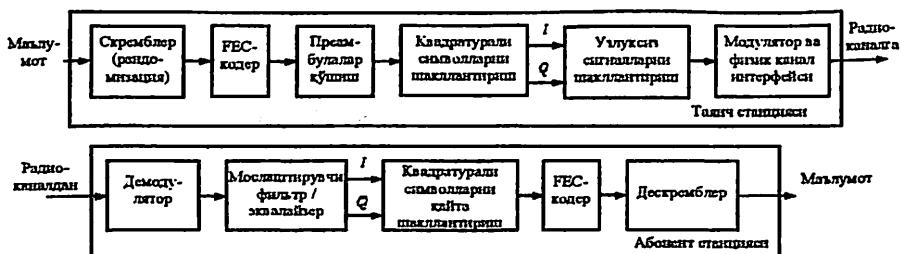
IEEE 802.16 стандартининг физик даражаси WiMAXWiMAX тизимлари турли иш режимларининг қўллаб-қувватлашини ҳисобга олиб ишлаб чиқилган ва шу мақсадда учига принципиал фарқли сигналларни қайта ишлаш усулларини кўзда тутди:

- SC-FDMA бир элтувчи модуляция усули (WirelessMAN-SC ва WirelessMAN-SCa режимлари);

- OFDM ортогонал элтувчилар орқали мультплексорлаш усули (WirelessMAN-OFDM ва WirelessHUMAN режимлари);
 - OFDMа ортогонал элтувчилар орқали кўтлаб уланиш усули.
- Бу усулларни атрофлича кўриб чиқамиз.

5.3.4.1. SC-FDMA бир элтувчили модуляция усули

SC-FDMA усули WirelessMAN-SC ва WirelessMAN-SCa режимлари қўлланилган. “Юқорига” ва «пастга» линиялар учун WirelessMAN-SC режимида сигнални қайта ишлаш жараёни бир неча операциялардан ташкил топган ва 5.9-расмда кўрсатилганидек, кўринишда бўлади.



5.9-расм. WirelessMAN-SC режимида сигнални қайта ишлаш тракт

Кириш маълумотлари оқими дастлаб рандомизацияга учрайди. Рандомизация (шунингдек, “скремблирование” атамаси қўлланилади) –бу усул орқали қабул қилинган маълумотлар тасодикийга ўхшаганга ўзгартирилади. Бунга маълум математик механизм буйича ПТК генератори ишлаб чиқарадиган қандайдир псевдо тасодикий кетма-кетликка маълумотлар оқимини кенгайтириш ҳисобига эришилади.

Кейин скрембланган маълумотлар FEC (ингл. *Forward Error Correction*) хатоликлар тузатиш усулидан фойдаланиб халақитбардош кодлар ёрдамида ҳимоя қилинади. WirelessMAN-SC режимида иккита FEC кодлаш алгоритми мажбурий алгоритми ҳисобланади:

Галуа FEC GF(256) майдонидаги символларни Рида-Соломон кодлашли ва Рид-Соломон ташқи кодли каскадли код ва ички сверткали код ($\kappa = 7$ кодли чеклашли, $2/3$ кодлаш тезлигили) ва Витерби алгоритми буйича декодлаш. Опционал равишда бошқа иккита алгоритм қўлланилиши мумкин: Рида-Соломон ташқи кодли ва жуфтликка текширилиши ички кодли каскадли код (8,6,2) ва блокли турбо код.

Скремблaш механизмлари ва каскадлаш алгоритмлари ҳақида ахборотлар кадр преамбуласига киритилади ва кейин модуляция учун йуналтирилади. WirelessMAN-SC усулида уч турдаги QPSK ва 16-QAM (мажбурий), шунингдек, 64-QAM (опционал) квадратуралі модуляциядан фойдаланилади. Кодланган битли кетма-кетлик модуляцион символларга ўзгартирилади. (хар бир $2/4/6$ бит QPSK/16-QAM/64-QAM бир символлини аниқлайди). $2/4/6$ битдан иборат хар бир гуруҳга мос равишда синфаз (I)

ва квадратурали (Q) координаталар қўйилади. Кейин I ва Q каналлардаги дискрет қийматлар кетма-кетлиги SQRT-фильтр (ингл. *Square-root Raised Cosine Filter*-АЧХ косинусоидал силликланишли фильтр) ёрдамида узлуксиз сигналларга ўзгартирилади. $I(t)$ ва $Q(t)$ филтрланган оқимлар тўғридан-тўғри квадратурали модуляторга берилади. Унинг чиқишида куйидаги чиқиш сигнали шаклланади:

$$S(t) = I(t) \cos(2\pi f_c t) - Q(t) \sin(2\pi f_c t),$$

бу ерда, f_c – элтувчи частота.

Кейин сигнал кучайтирилади ва эфирга узатилади. Қабул қилиш томонида барча жараёнлар тескари тартибда бўлиб ўтади. Натижада, каналнинг кенглигига ва модуляциялаш усулига боғлиқ равишда маълумотларни турли узатиш тезликлари шаклланади (5.6-жадвал).

5.6-жадвал

WirelessMAN-SC режимида каналнинг кенглиги ва модуляция турига боғлиқ равишда маълумотларни узатиш тезликлари

Каналнинг кенглиги, MGs	Символлар тезлиги, Mbod	Физик маълумотлар оқими тезлиги, Mbit/sek		
		QPSK	16-QAM	64-QAM
20	16	32	64	96
25	20	40	80	120
28	22,4	44,8	89,6	134,4

WirelessMAN-SC режимидаги физик каналда кадрнинг тузилмаси

WirelessMAN-SC режимида физик даражада маълумотларни узатиш узлуксиз кетма-кетликдаги кадрлар ёрдамида амалга оширилади. Кадрлар 0,5; 1 ва 2 ms турғун узунликларга эга бўлиши мумкин. Кадрнинг преамбуласи (32 QPSK-символлардаги синхрон кетма-кетликдаги узунликда), бошқарувчи секция ва маълумотлар майдонидан иборат. Преамбула ва бошқарувчи секциялар хабарлари ҳар доим QPSK-модуляция ёрдамида узатилади, маълумотлар майдони учун эса юқорида кўрсатилган учта модуляция усулларида бири қўлланилаши мумкин. Вақтли ва частотавий дублексирлаш усулларида кадрнинг тузилмаси сезиларсиз фарқ қилади. TDD режимида кадр “пастга” ва «юқорига» субкадрларга бўлинади, улар орасида эса махсус интервал қолдирилади. “Пастга” ва «юқорига» субкадрлар орасидаги муносабат зарур ўтказиш полосасига боғлиқ равишда ихчам ўзгариши мумкин. FDD режимида

«пастга» ва «юкорига» каналлар бир-бирларидан ажратилган элтувчи частоталардан фойдаланилади (5.10-расм.)



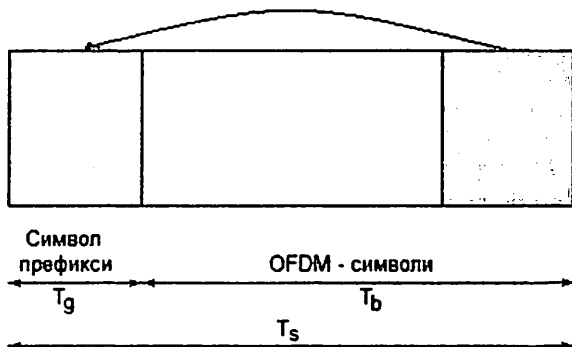
5.10-расм. Каналларни вақтли (а) ва частотавий (б) дублекслашми тизимлар учун IEEE 802.16a стандартидаги кадрлартузилмаси

5.3.4.2. OFDM ортогонал элтувчилар ёрдамида мультплекслаш усули

[3.4.1] да атрофлича ёритилганидек, OFDM бу кўп сонли ортогонал қисқа поласали нимэлтувчи частоталарга бўлинган бир кенг поласали частотавий каналда маълумотлар оқимини мультплексорлаш технологиясидир. Ортогонал элтувчилар орасидаги масофа OFDM-символнинг T_s узунлиги ҳисобланади. OFDM-символга шунингдек, T_d узунликдаги CP (циклик префикс) ҳимоя интервали қўшилади, унда OFDM-символнинг умумий узунлиги $T_s = T_b + T_d$ ни ташкил этади. (5.11-расм). CP ҳимоя интервали символнинг охириги фрагменти нусхаси ҳисобланади ва унинг T_d узунлиги T_b дан 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 қисмини ташкил этиши мумкин.

Ҳар бир ним элтувчи мустақил равишда фазавий ёки квадратурали амплитудавий модуляция ёрдамида модуляцияланади ва умумий сигнал тескари Фурье тезкор ўзгартириш усули билан ҳисобланади. IEEE 802.16d стандартида OFDM режими учун $N=200$ ним элтувчилар сони ва мос равишда $N_{\text{ОБПФ}}=256$ га тенг бўлган разрядлар сони кўзда тутилган. Улардан 55 таси ($k = -128 \dots -101$ ва $101 \dots 127$) частота канали чегараларида ҳимоя интервалларини ташкил этади. Каналнинг марказий частотаси ($k = 0$) ва ҳимоя интерваллари частоталари сигнални узатиш учун ишлатилмайди (яъни, уларга мос сигналлар амплитудалари нолга тенг). Қолган 200 та ним элтувчиларда саккизта частота пилот ($\pm 88, \pm 63 \pm 38, \pm 13$ индекслари) қолганлари 12 та ним элтувчилардан иборат 16 та субканалларга бўлинади, уларнинг ҳар бирида частоталар бир тартибда жойлашмаган. Масалан, 1-субканални -100, -99, -98, -37, -36, -35, 1, 2, 3, 64, 65, 66 индексли нимэлтувчилар ташкил этади. Субканалларга бўлиш зарур, чунки WirelessMAN-OFDM режимида (опционал) ҳарча 16 та субканалларда эмас, балки 1, 2, 4, 8 субканалларда ишлаш имконияти кўзда тутилган.

Бунинг учун ҳар субканал ва ҳар бир субканаллар гуруҳи ўз индексларига эга бўлади (0 дан 31 гача). OFDM-символнинг фойдали қисмини T_b узунлиги канал полосасининг узунлигига ва тизимий такт частотасига (дискретлаштириш частотаси) боғлиқ.



5.11-расм. OFDM-символнинг тузилмаси

OFDM-мультиплекслашда СР ҳимоя интервалидан фойдаланиш шаҳар шароитларидаги қайта жипсланишлар ва сигналнинг кўп нузли тарқалиши натижасида вужудга келадиган САИ (символлараро интерференциядан) қутқаради. Бироқ, бу механизм OFDM-символ T_b фойдали қисми узунлигининг чегараларида фазавий кечикиш билан келадиган ўша бир символдаги сигналларнинг устма-уст тушиши бўлган ички символли интерференцияни (ИСИ) олдини ололмайди. Натижада ахборот тўлиқ бузилади. Ёки бутунлай йўқолади (масалан, 180° га фазавий сурилишда). ИСИ га қарши туриш ва алоҳида символлар ёки уларнинг фрагментлари йўқотилганда маълумотларни йўқотилишининг олдини олиш учун IEEE 802.16 стандартида каналли кодлашнинг самарадор воситалари қўлланилади. Физик даражада маълумотларни кодлаш учта рандомизация, халақитбардош кодлаш ва ўрин алмаштириш босқичларини ўз ичига олади.

Рандомизация маълумотлар блоқини ПТКК генератори шакллантирадиган псевдо тасодифий кетма-кетликка кўпайтириш йўли билан амалга оширилади. Бу жараён билан “маълумотлар оқимини оқартириш” дейилади.

Қабуллаш томонида кейин дастлабки тузилмалаштирилган кетма-кетликни олиш мақсадида бу тасодифий кетма-кетликни тескари ўзгартириш бажарилади.

Маълумотларни кодлаш Рид-Соломон ташқи кодери ва ички сверткали кодердан иборат иккита босқичдаги каскадли кодларнинг қўлланилишини кўзда тутди. Рид-Соломон кодери BPSK икки позицияли модуляция билан ва OFDM субканаллари ишлатиладиган ҳолларда қўлланилмайди. Тавсифланган кодлаш механизмидан ташқари, стандарт блокли турбокодларни (Хемминг кодларига ва жуфтликни назорат

қилишга асосланган) ва сверткали турбокодларни опционал қўлланилишини кўзда тутди.

Кодлашдан кейин ўрин алмаштириш жараёни (шунингдек, “интерливинг” атамаси қўлланилади) келади. Бу OFDM символга мос келадиган маълумотларни кодлаш блоки чегараларида битларни ўрин алмаштириши ҳисобланади. Бу операция иккита босқичда амалга оширилади. Дастлаб қўшни битлар қўшни бўлмаган элтувчиларга тарқатилади, кейин эса қўшни битлар турли ярим кетма-кетликларга тарқатилади. Ўрин алмаштиришдан мақсад шундаки, символдаги гуруҳли хатоликларда қўшни бўлмаган битлар зарарлансин ва шундай қилиб, битларни қайта тикланиш даражаси ортсин.

Ўрин алмаштиришдан кейин модуляция босқичи бошланади. Танланган модуляция схемасидан(BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM) келиб чиқиб, блок модуляцион символларга мос равишда битлар гуруҳлари кетма-кетлигидан (1/2/4/6 битлар) иборат бўлади.

5.7-жадвал

Қўллаб-қувватландиган кодлаш ва модуляция усуллари

		«Пастга»	«Юқорига»
Модуляция		QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Кодлаш тезлиги	СС	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	СТС	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	Қайтарилиш	x2, x4, x6	x2, x4, x6

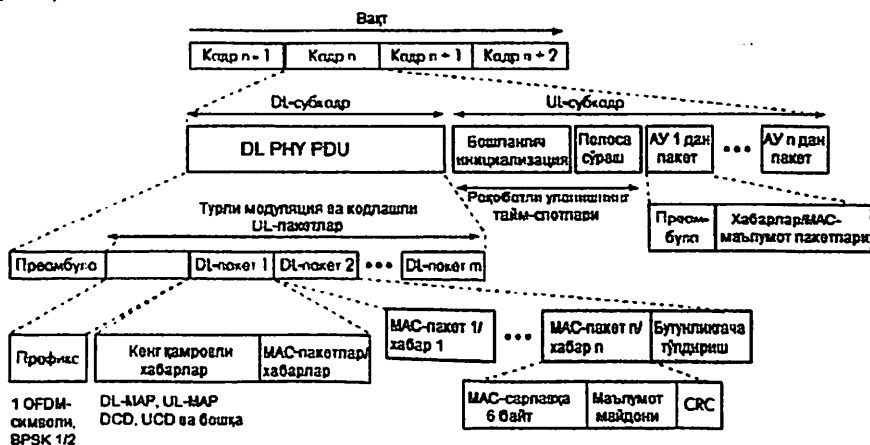
Ҳар бир гуруҳга кейинчалик улар элтувчини бевосита модуляциялашда ишлатиландиган Грей вектор диаграммаларидан мос равишдаги Q ва I қийматлар қуйилади. Квадратурали символлар амплитудаларини ўртачалаштириш учун Q ва I меъёрлаштирилган қийматлар ишлатилади. (яъни, с коэффицентларга кўпайтирилган: QPSK учун $c=1/\sqrt{2}$, 16-QAM учун $c=1/\sqrt{10}$, 64-QAM учун $c=1/\sqrt{42}$).

ТФТЎ механизидан фойдаланиб модуляцион символлар аниқланганидан кейин радиосигналнинг ўзи ҳисобланади ва узаткичга узатилади. Қабуллашда барча жараёнлар тескари тартибда амалга оширилади.

WirelessMAN-OFDM режимидаги кадрнинг тузилмаси

OFDM режимида физик даражада “нуқта-кўп нуқта” архитектурали тармоқлар учун кадрли узатиш тузилмаси WirelessMAN-SC режимидагидан принципиал кам фарқ қилади. Ахборотларни алмаштириш

хам FDD ёки TDD асосида «пастга» ва «юқорига» субкадрларга бўлинадиган кадрлар кетма-кетлиги ёрдамида амалга оширилади. (5.12-расм).



5.12-расм. TDDли OFDM-кадрнинг тузилмаси

«Пастга» субкадр преамбула, кадр сарлавҳасини бошқарувчи (ингл. *Frame Control Header, FCH*) ва маълумотлар пакетлари кетма-кетлигини ўз ичига олади. Преамбула «пастга» каналда икки OFDM-символлардан иборат (узун преамбула), кадрларни синхронлаштиришга мўлжалланган ва QPSK ёрдамида модуляцияланади. Преамбуладан кейин стандарт кодлаш схемасини BPSK ёрдамида модуляцияланадиган ва битта OFDM-символдан иборат кадр сарлавҳасини бошқарувчи келади. Сарлавҳа DL-субкадрдаги биринчи пакет (ёки бир неча бошланғич) узунлигини ва профилини тавсифлайдиган «пастга» канал кадрининг префиксидан (ингл. *Downlink Frame Rrefix, DLFP*) иборат. Биринчи пакетга кенг узатишли хабарлар, «пастга» ва «юқорига» линияларда пакетларнинг жойлашиш харитаси (DL-MAP/UL-MAP) «пастга»/«юқорига» каналлар дискрипторлари⁴³ ва бошқа хизмат ахборотлари киради.

«Пастга» субкадр АУ бошланғич инициализациялаш учун (тармоққа уланишни олиш учун) ва узатишга каналга сўров учун даврларни ўз ичига оладиган рақобатли рухсат интервалдан иборат. Кейин TC маълум АУ ларга узатиш учун тайинланган вақт интерваллари келади. Бу интервалларнинг тақсимланиши ҳақида ахборотлар (бошланиш нуқталари ҳақида) UL-MAP хабарларида жойлашади. АУ ўз вақт интервалида қисқа преамбулани (битта OFDM-символ) узатиш билан трансляцияни

⁴³ Канал дескриптори—каналдаги пакетлар профилилари руйхати. Ҳар бир пакет ўз профилига эга (кодлаш схемаси, модуляция усули ва бошқалар) ва бутун сонли OFDM символлар ёрдамида узатилади.

бошлайди, ундан кейин MAC-даражада шаклантирилган ахборот пакети узатилади. OFDM-кадрларининг узунликлари 2,5; 4; 5; 8; 10; 12,5; ва 20 ms ларни ташкил этиши мумкин. TC белгиланган кадрларни куриш даврини ўзгартириб бўлмайди, чунки бу ҳолда барча АУ ларни ресинхронлаштириш талаб қилинади. Уланишларни ўрнатилишига сўров умумий қабул қилинган IEEE 802.16d стандартидан фарқ қилмайди. Лекин, OFDM режимида канал ресурси фақат вақт соҳасида эмас, балки частота соҳасида ҳам, яъни алоҳида кубканалларда тақдим этилиши мумкин. TC ва АУ бундай имкониятларни қўллаб-қувватлайдиган шароитларда.

5.3.4.3. OFDMA - ортогонал элтувчилар ёрдамида кўплаб уланиш усули

Модуляция символларининг шаклланиши нуқтани назаридан WirelessMAN-OFDM ва WirelessMAN-OFDMA режимлари бир хил. Фарқ каналларни ажратиш механизмларидан иборат (кўп сонли уланиш). OFDMAда мантиқий канал физик каналнинг барча рухсат этиладиган частоталар диапазонига тақсимланган элтувчиларни танлаш (тўплами) билан ташкил қилинади. OFDM режимида эса бу механизм соддалаштирилган кўринишларда опционал фойдаланилади, унда каналли 16 та субканалларга бўлиш амалга оширилади.

OFDMA да физик каналнинг кенглиги меъёрлаштирилмаган бўлсада, реал тармоқларда 5MGs дан паст частотали каналлар самарадор бўлмайди. OFDMAда элтувчилар сони 2048 тагача бўлиши мумкин, мос равишда субканаллар сони тармоқнинг ишини ташкил этиши учун етарли бўлиб қолади. Турли режимларда улар 32 тадан 70 тагача, ҳар бирида эса 24 ёки 48 тадан ним элтувчилар бўлиши мумкин. Бунда тизим такт частотаси канал кенглигининг 8/7 қисмини ташкил этади. Сигнални шаклантириш усули, OFDM-символлар тузилмаси ва канални кодлаш механизми OFDM ва OFDMA режимларида деярли бир хил. Рандомизациялаш усули фақат ПТК генераторининг инициализацияловчи векторини шаклантириш усули билан фарқланади. Ва OFDMA даги халақитбардошли кодлар мажбурий сифатда фақат битта кодлаш босқичини сверткали коддан фойдаланишни кўзда тутати (OFDM даги каби кодлаш тезликлари тўплами билан).

OFDM ва OFDMA режимларидаги модуляция схемалари деярли мос тушади, фарқ шундаки, OFDMA да кўзда тутилган усуллар тўплами $\frac{1}{2}$ ва $\frac{3}{4}$ кодлаш тезликлари QPSK ва 16-QAM, опционал эса $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ ва $\frac{3}{4}$ кодлаш тезликли 64-QAM усулларини ўз ичига олади. Шунингдек, OFDMA режимида квадратурали модуляция символлари шаклантирадиган ва уларнинг амплитудалари ўртачалаштирилганидан кейин ҳар бир элтувчидаги символлар кетма-кетлиги OFDM режимида генерацияланганидек бинар ПТК га W_k га кўпаяди. Ҳар бир k -нчи нимэлтувчи $1-2W_k$ қийматга кўпаяди (яъни, агар $W_k=0$) у ҳолда $1-2W_k=1$, ва символ ўзгармайди; агар $W_k=1$, у ҳолда символ -1 га кўпаяди. Пилот нимэлтувчилар символлари BPSK усулида модуляцияланади, уларнинг қийматлари ҳам $C_k=1-2W_k$ орқали ҳисобланади, лекин пилот ним

элтувчилар сигналлари қуввати, ахборотлар нимэлтувчилари ўртача қувватидан 2,5dB га ортиқ бўлиши керак, у ҳолда C_r қиймат қўшимча 4/3 га кўпайтирилади.

WirelessMAN-OFDMA режимидаги кадрнинг тузилмаси.

WirelessMAN-OFDMA режимидаги кадрнинг тузилмаси кўп жиҳатдан юқорида кўриб чиқилган кадрлар тузилмаларига ўхшаш, лекин ўзининг фарқларига ҳам эга. Кадрнинг узунликлари 2; 2,5; 4; 5; 8; 10; 12,5; ва 20 ms ларни ташкил этиши мумкин. OFDMA кадри субканаллар тўпламини ўз ичига оладиган OFDMA-символлар кетма-кетлигидан иборат. OFDMA-символлардан иборат маълумотлар пакетлари турли субканалларда бир вақтда узатилиши мумкин. Субканаллар буйича нимэлтувчиларни тақсимлаш (яъни бир субканалга нимэлтувчиларни тақсимлаш) узатиш йўналишга ва нимэлтувчиларни тақсимлаш усулига боғлиқ. IEEE 802.16 стандарти ҳам «пастга», ҳам «юқорига» каналда нимэлтувчиларни тақсимлашнинг бир неча усулларини тавсифлайди. Принципиал жиҳатдан улар FUSC (ингл. *Full Usage of the Subchannels*) TC узаткичи томонидан томонидан тўлиқ ишлатиладиган ва PUSC (ингл. *Portial Vsage of the Subchannels*) субканаллар қисман, яъни бутун рухсат этиладиган диапазон тўлиқсиз ишлатиладиган турларга ажратилади. PUSC ва FUSC усулларида (ва уларнинг вариацияларида) ҳар бир субканалга барча рухсат этиладиган физик канал бўйича бир текис тақсимланган нимэлтувчилар тақдим этилади. Лекин бошқа ёндашув субканалларда кетма-кет (қўшни) нимэлтувчи частоталар тўпламидан фойдаланишдан фойдаланилади. Бундай ёндашув адаптив антенна тизимларида ишлаш учун мўлжалланган AMC (ингл. *Adaptive Modulation and Coding*) услубида ишлатилган. AMC усулида ҳам 2048 та нимэлтувчи ишлатилади, улардан 160 таси пастки ва 159 таси ҳимоя интервалларини ташкил этади, марказий частота эса ишлатилмайди. Қолган ним элтувчилар ҳар бири 9 та нимэлтувчидан бўлган 192 та частота гуруҳларига (ингл. *bin*) кетма-кет бўлиб чиқилади. Ҳар бир гуруҳдаги марказий (бешинчи) нимэлтувчи пилот ҳисобланади. AMC режимида субканал бир частота гуруҳини вақт бўйича олтига кетма-кет OFDM-символларни ёки икки частота гуруҳини ва учта OFDMA-символларни ишлатади. AMC-субканалларнинг тузилмаси «пастга» ва «юқорига» субкадрларда бир хил. Бунда нимэлтувчиларни қайта ўрнатиш субканал чегараларида амалга оширилади.

Таъкидлаймизки, битта субкадр чегараларида субканаллар буйича нимэлтувчиларни тақсимлаш турли PUSC, FUSC, AMC ва бошқа тақсимлаш механизмларидан фойдаланиш мумкин. Стандартда “қайта ўрнатиш ҳудудлари” чегаралари (ингл. *Permutation Zone*) DL-MAP ва UL-MAP субкадрлар карталарида аниқланади.

OFDMA-режимида маълумотларни узатиш учун минимал ресурс “слот” ҳисобланади. Слот бир субканални ва биттадан ўртача OFDMA-символлар кетма-кетлигини эгаллайди.»пастга» субкадрда слотнинг узунлиги FUSC режимда бир символга PUSC режимда эса иккита символга

тенг. «юқорига» субкадрда слотнинг узунлиги доимо учта OFDMA-символларга тенг. WirelessMAN-OFDMA режими учун PHY даражасининг асосий кўрсаткичлари 5.8-жадвалда келтирилган.

5.8-жадвал

WirelessMAN-OFDMA режими учун PHY даражасининг асосий кўрсаткичлари

Параметрлар		“Пастга”	“Юқорига”	“Пастга”	“Юқорига”
Канал кенглиги		5MGs		10MGs	
FFT сони		512		1024	
Нол нимэлтувчилари		92	104	184	184
Пилот нимэлтувчилари		60	136	120	180
Маълумот нимэлтувчилари		360	272	720	560
Субканаллар		15	17	30	35
Символ даври, T_s		102,9 микросекунд			
Кадр вақти		5 миллисекунд			
OFDM символлар/кадрда		48			
Маълумот OFDM символлари		44			
Модуляция тури	Кодлаш тезлиги	5MGs ли канал		10MGs ли канал	
		“Пастга” узатиш тезлиги, Mbit/sek	“Юқорига” узатиш тезлиги, Mbit/sek	”Пастга” узатиш тезлиги, Mbit/sek	“Юқорига” узатиш тезлиги, Mbit/sek
QPSK	1/2 СТС, 6x	0,53	0,38	1,06	0,78
	1/2 СТС, 4x	0,79	0,57	1,58	1,18
	1/2 СТС, 2x	1,58	1,14	3,17	2,35
	1/2 СТС, 1x	3,17	2,28	6,34	4,70
	3/4 СТС	4,75	3,43	9,50	7,06
16-QAM	1/2 СТС	6,34	4,57	12,67	9,41
	3/4 СТС	9,50	6,85	19,01	14,11
64-QAM	1/2 СТС	9,50	6,85	19,01	14,11
	2/3 СТС	12,67	9,14	25,34	18,82
	3/4 СТС	14,26	10,28	28,51	21,17
	5/6 СТС	15,84	11,42	31,68	23,52

“Мобил WIMAX” бошланғич версияларида фақат TDD вақтли дуплекс қўллаб-қувватлайди. WIMAX Форуми IEEE 802.16 стандартининг версияларида TDD дан фойдаланиш таъқиқланган ёки FDD нинг қўлланилаши афзалроқ бўлган бозорларни ўзлаштириш мақсадида FDD услубини киритиш исталди. TDD усули ишлатишда мураккаб ҳисоблансада (чунки у барча тизим чегараларида вақтли синхронлаштиришни талаб қилади), барибир у қуйидаги сабаблар буйича афзал бўлиб қолади:

- TDD «пастга» ва «юқорига» каналлар муносабатларини динамик бошқариш имкониятини беради ва бунинг ҳисобига ассиметрик трафикни самарали қўллаб-қувватлайди. FDD эса “пастга” ва “юқорига” турғун каналлар билан ишлайди, шунга кўра симметрик трафикка эга.

- TDD тескари алоқани талаб қиладиган MIMO ва бошқа такомиллаш антенна технологиялари, каналлар мослашишини қўллаб-қувватлаш учун каналнинг параметрлари буйича энг яхши тескари алоқани таъминлайди.

- Жуфт частота каналлари талаб қилинадиган FDD дан фарқли равишда TDD усули “пастга” ва “юқорига” каналлари учун бир частота каналдан фойдаланади, мос равишда, эга бўлган радиочастота ресурсига нисбатан ихчам ҳисобланади.

- TDD усули учун таянч станция конструктив жиҳатдан камроқ мураккаб ва мос равишда арзон туради.

5.13-расмда TDD усули ишлатилган OFDM кадрининг тузилмаси келтирилган.

Ҳар бир кадр “пастга” ва “юқорига” линиялари орасида коллизияларнинг олдини олиш учун бир-бирлари билан ҳимоявий вақт интерваллари билан ажратилган «пастга» ва «юқорига» субканалларга (узатиш ва қабуллаш режимларининг белгиланиши учун мос равишда TTG ва RTG).

Кадрда тизимнинг оптимал ишлашини таъминлаш учун қуйидаги бошқариш майдонлари ишлатилади:

- Преамбула-OFDM кадрининг биринчи симболи ҳисобланади ва кадрларни синхронлаштириш учун ишлатилади.

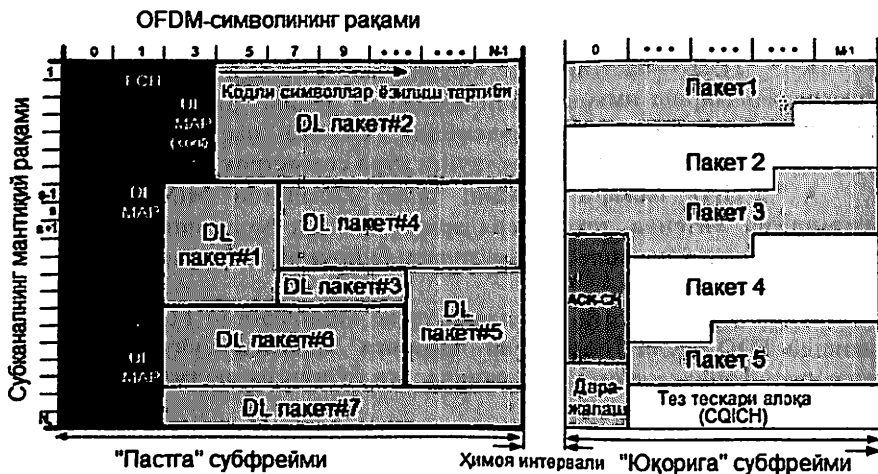
- FCH кадрни бошқариш сарлавҳасидан кейин келади ва ўзида MAP хабарнинг узунлиги, кодлаш схемаси ва бўш субканаллар номерлари ва бошқалар каби кадр конфигурацияси ҳақида ахборотни ташийди.

- DL-MAP “пастга” ва UL-MAP “юқорига” каналлар субкадрлари карталарининг хабарлари-мос субкадрлар учун DL-MAP, UL-MAP субканалларини ва бошқа назорат ахборотларининг тақсимланишини таъминлайди.

- «юқорига» сигнали ишлов бериш майдони (ингл. *UL Ranging*). UL Ranging майдони вақт, частота ва сигнал қуввати буйича ўрнатишларни бажариш, шунингдек, берк алоқа режимида ўтказиш полосасига сўров учун АУ га ажратилади.

- Канал сифати индикатор “юқорига” канал (ингл. *ULCQICH*)-радиоканалнинг ҳолатини баҳолаш буйича ТС билан тескари алоқа учун АУ га ажратилган.

- “Юқорига” канални тақсимлаш майдони (ингл. *UL ACK*)-пакетнинг олинганлигини тасдиқлаш учун АУ га ажратилган.



5.13-расмда TDD усули ишлатилган OFDM кадрининг тузилмаси

IEEE 802.16-2005 стандарти қўлаштирашга асосланган. Бундай танлаш S-OFDMA технологияси турли ўтказиш полосаларини қўллаб-қувватлаш мумкинлиги туфайли амалга оширилган, бу АУ нинг турли иш режимларига ихчам хизмат кўрсатиш ва мавжуд частота ресурсларига мос келиши учун зарур бўлади. Технологиянинг қўламлигига нимэлтувчи частота кенглиги тургун ва 10,94 kGs тенг қолганда массивни ФТТЎ ўзгартирилиши ҳисобига эришилади.

Нимэлтувчи кенглиги ва OFDM-символ давомийлиги ўзгармас қолиши ҳисобига канални ўтказиш полосасининг қўлаштиралишида юқорироқ даражаларга таъсир этиш минимал бўлиб қолди. S-OFDMA параметрлари 5.9-жадвалида келтирилган.

Кўламлаштирилган OFDMA параметрлари

Параметрлар	Қийматлар			
	1,25	5	10	20
Канал кенглиги (MGs)	1,25	5	10	20
Дискретизация частотаси (F_p , MGs да)	1,4	5,6	11,2	22,4
FFT сони (N_{FFT})	128	512	1024	2048
Субканаллар сони	2	8	16	32
Нимэлувтчиларнинг кенглиги	полоса 10,94 kGs			
Символнинг фойдали вақти ($T_b=1/f$)	91,4 микросекунд			
Ҳимоя интервали ($T_g=T_b/8$)	11,4 микросекунд			
OFDMA символининг вақти ($T_s=T_b+T_g$)	102,9 микросекунд			
Кадрда OFDMA символлар сони	48			

5.3.5. MAC даражасининг ишлатилиши

Юқорида кўрганимиздек, IEEE 802.16 стандартининг физик даражаси радиоканал бўйича ТС ва АУ орасида маълумотларни алмаштириш вазифасини бажаради. MAC-даражада бу маълумотларнинг тузилмасини шакллантиришга боғлиқ функциялар, шунингдек, WiMAXWiMAX тизими ишини бошқариш ишлатилади. IEEE 802.16 стандарти жиҳози турли иловалар (сервислар) учун транспорт муҳитини шакллантиришга чақирилган, шунинг учун стандартдаги биринчи ечиладиган масала бу юқори даражалар хилма-хил сервисларини қўллаб-қувватлаш механизми бўлди. Шунинг учун стандартни ишлаб чиқувчилар вазифаси барча иловалар учун физик даражанинг қурилишини ўзига хос бўлган хусусиятларига боғлиқ бўлмаган MAC даражасининг ягона протоколени яратиш бўлди.

Ўз навбатида IEEE 802.16 стандартининг MAC-даражаси учта нимдаражага бўлинади (чиқувчи бўйича):

- CS (ингл. *Convergence Sublayer*) - сервисни ўзгартириш нимдаражаси;

- CPS (ингл. *Common Part Sublayer*) - асосий нимдаража;

- PS (ингл. *Privacy Sublayer*) - ҳимоя нимдаражаси.

CS нимдаражада IEEE 802.16 тармоғи орқали узатиш учун юқори даражадан маълумотлар оқимларини трансформациялаш амалга оширилади. IEEE 802.16 стандартида ҳозирча иккита сервис пультаари турлари ATM ва пакетли узатиш (IP, Ethernet, виртуал-VLAN) тавсифланган. CS нимдаражанинг мақсади бу хусусиятлари ҳисобга олинганда юқори даража иловаларини узатишни оптималлаштиришдир.

Шунинг учун CS нимдаражасининг муҳим вазифаси пакетлар классификацияси ҳисобланади. CPS асосий нимдаражанинг асосий вазифаси ягона узатиш муҳити-радиоэфирга кўплаб фойдаланувчиларга уланишни таъминлаш ҳисобланади. Бунда 2 та топология ишлатилиши мумкин:

- фақат TC-AU алоқаси мавжуд бўлган “нуқта-кўп нуқта топологияси”;
- TC-AU алоқасидан ташқари, AU-AU тўғридан-тўғри алоқа мавжуд бўлган “меш-топология” топологияси”.

PS ҳимоя нимдаражасида маълумотларни криптоҳимоялаш функцияси ва санкцияланмаган уланишни аутентификациялаш/олдини олиш механизмлари ишлатилади.

IEEE 802.16 стандартида “сервис оқими” тушунчаси ва унга боғлиқ бўлган “уланиш”, “уланиш идентификатори” ва “сервис синфи” тушунчалари ишлатилади. IEEE 802.16 стандартида сервис оқими деганда маълум иловага (сервисга) боқлиқ бўлган маълумотлар оқими тушунилади. Мос равишда сервис оқимига QoS бўйича яъни каналнинг талаб этиладиган ўтказиш қобилиятига, илқорлик даражасига (1дан 7 гача), откликнинг уланиш вақтига ва джиттер даражасига талаблар қўйилади. Тармоқдаги ҳар бир сервис оқими махсус сервис оқимига боғлиқ бўлган зарур уланиш параметрларини TC-AU ўрнатишига асосланиб ўз SFID (ингл. *Service Flow ID*) 32 разрядли идентификаторига эга бўлади.

IEEE 802.16 терминологиясида “уланиш” тушунчаси (шунингдек, “транспорт уланиш” атамасини ишлатилади) сервис оқимини узатиш учун MAC-далажада мантиқий алоқанинг ўрнатилишини билдиради. Ҳар бир уланиш уланиш тури ва характеристикаси боғлиқ бўлган ўз CID (ингл. *Connection ID*) 16 разрядли идентификаторига эга бўлади. Ҳар бир АУга тармоқдаги бошланғич инициализацияда учта даражадаги хизмат хабарлар учун учтадан CID тайинланади. Шундай қилиб АУ турли иловалар учун (масалан, телефония, телеведения, Интернетга уланиш ёки корпоратив тармоқ учун) кўплаб турли уланишларни ўрнатиш мумкин. Бу иловалардан ҳар бирини QoS маълумотларини узатиш тезлигига CID орқали ўз талабларини қўяди ва TC мос SFID тармоқ оқимини ташкил этади.

Тармоқдаги ишини умумий стандартлаштириш учун “сервис синфи” тушунчасидан, стандарт иловалар, масалан, E1 телефон каналларини трансляциялаш учун параметрлар барқарор фойдаланишидан фойдаланилади.

Сервис оқимининг параметрларини уларнинг маълум сервис синфига тегишлилигини кўрсатиш билан бериш мумкин.

IEEE 802.16 стандарти тўлиғича пакетли коммутацияга асосланган. CPS асосий нимдаражада MAC PDU (ингл. *MAC Protocol Data Unit* – MAC протоколи маълумотлари блоқи) маълумотлар пакетлари шакллантирилади. Кейин улар физик даражага узатилади, физик пакетларга инкапсуляцияланади ва радиоканал орқали трансляцияланади (узатилади). MAC PDU пакети (кейинчалик PDU) умумий сарлавҳа ва

маълумотлар майдонини (у бўлмаслиги ҳам мумкин) ўз ичига олади, улардан кейин CRC назорат йиғиндиси келиши мумкин (5.14-расм).

Умумий MAC сарлавҳа	Маълумотлар майдони	CRC назорат йиғиндиси
---------------------	---------------------	-----------------------

5.14-расм. IEEE 802.16 нинг MAC-даражали пакети

PDU сарлавҳа 6 байтни эгаллайди ва икки турда умумий ва ўтказиш оралигини сўров сарлавҳаси (ЎОСС) бўлиши мумкин. Умумий сарлавҳа маълумотлар майдони бўлган пакетларда ишлатилади. Бу сарлавҳа CID уланиш идентификатори, сарлавҳанинг тури ва назорат йиғиндиси кўрсатилади, шунингдек, маълумотлар майдонида нимсарлавҳалар ва ARQ тескари алоқа хабарлари мавжудлиги ҳақида ахборотлар келтирилади.

ЎОСС АУ БСдан «юқорига» каналда ўтказиш полосасини ажратиш ёки ошириш ҳақида сўраган ҳолларда қўлланилади. Бунда сарлавҳа CID ва талаб қилинадиган полосанинг ўлчами (физик пакетлар сарлавҳаларини ҳисобга олмасдан, байтларда) кўрсатилади.

Маълумотлар майдони MAC нимсарлавҳалари, бошқарувчи хабарлар ва CS нимдаражада ўзгартирилган юқори даражалар иловалари маълумотларидан иборат. MAC нимдаражалари бешта турда қадоқлаш, фрагментация, каналнинг тақдим этилишини бошқариш, шунингдек Mesh – тармоқ нимсарлавҳалари ва тез тескари алоқа канали (ингл. *Fast Feedback*) бўлиши мумкин. Бошқарувчи хабарлар бу IEEE 802.16 тизимини асосий бошқариш механизми ҳисобланади. Улар орқали барча бошқариш, рухсат этишни тақдим этиш, сўров ва тасдиқлаш (масалан, пакетлар трафиклари тавсифи, рухсат этишни бошқариш, крипто ҳимоя механизмлари, тизим ишини динамик ўзгартириш ва бошқалар) ишлатилади. «пастга»/«юқорига» каналлар карталари ҳам (UL-MAP/DL-MAP) бошқарувчи хабарлар ҳисобланади. Умуман 256 турдаги бошқарувчи хабарлар захираланган, улардан 48 таси ишлатилади. Бошқарувчи хабарлар формати оддий бўлиб, у хабар тури майдони (1 байт) ва ихтиёрий узунликдаги маълумотлар (параметрлар) майдонидан иборат.

IEEE 802.16 стандартида сўров бўйича каналга рухсат этишни тақдим этиш услуги ишлатилади (ингл. *Demand Assigned Multiple Access, DAMA*). Бунда каналга рухсат этиш АУ дан олдиндан сўров бўйича фақат таянч сианция томонидан тақдим этилди. Бунда TC ААУ га «юқорига» каналда вақт интервалини ажратади ва унинг UL-MAP картадаги жойлашишини кўрсатади, АУ нинг бошланғич инициализацияси ва каналга сўров аниқ рухсат этиш механизми асосида улар учун махсус ажратилган вақт интервалларида амалга ошади. TC АУ га SFID сервис оқими турига боғлиқ равишда каналга рухсат этиш вақтини ва давомийлигини тайинлайди. АУ ҳам каналдаги маълум полоса ўлчамини сўраши, ҳам унга берилган канал ресурсини ўзгартирилиши ҳақида сўраши мумкин. Аниқ АУ нинг канал ресурси АУ томонидан махсус бошқарувчи

хабарлар ёрдамида ёки канал ресурсларига барча АУ лардаги зарурат борлигига ТС томонидан сўровлар (ингл. *polling*) орқали навбатдаги уланишда ўзгариши мумкин.

Стандартда иккита ҳар бир алоҳида боғланиш учун ва маълум АУ нинг барча уланишлар учун рухсат этиш режимлари кўзда тутилган. Биринчи режимда канал ресурсларидан фойдаланишда катта ихчамлик ва тежамкорлик таъминланади. Иккинчи режим хизмат ахборотлари сизимини сезиларли камайтиради ва алоҳида АУ учун QoS ягона даражасини кафолатлайди.

5.3.6. QoS - хизмат кўрсатиш сифати

IEEE 802.16 стандартида QoS параметрлари маълумотларни узатиш бўйича маълум хизмат кўрсатиш даражалари билан (ингл. *Data Delivery Service, DDS*) асосланади. DDS даражалари қуйидагиларга бўлинади:

- Сервисни сўзсиз тақдим этиш (ингл. *Unsolicited Grant Service, UGS*) маълум даврийлик шакллантирилган турғун ўлчамлардаги пакетлардан иборат маълумотлар пакетларини реал вақт режимида узатиш учун мўлжалланган (масалан T1/E1 товуш каналлари ёки “IP бўйича товушлар” (VoIP) каналлари);

- Реал вақт кўламида сервисни тақдим этиш (ингл. *Real Time Variable Rate, RT-VR*) маълум даврийликда шакллантирилган ўзгарувчан ўлчамли пакетларнинг узатилишини кўзда тутаяди;

- Шунингдек, “Реал вақт кўламида сервисларни кенгайтирилган тақдим этиш” (ингл. *Extended Real-Time Variable-Rate, ERT - VR*) қўшимча даражаси мавжуд. ERT – VR даражаси UGS ва RT-VR хизматларнинг комбинацияси ҳисобланади. Унинг вазифаси кафолатланган узатиш тезликлари ва кечикиш вақти қийматларини талаб қиладиган, лекин ўзгарувчан тезлик билан характерланадиган юқори илғор иловалар ҳисобланади (масалан, IP–телефония);

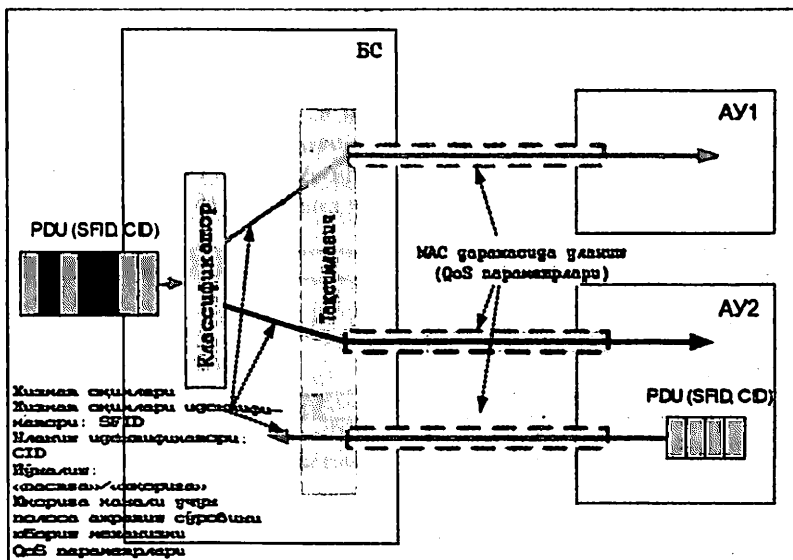
- Реал бўлмаган вақт кўламида сервисни тақдим этиш (ингл. *Non Real-Time Variable-Rate*) минимал узатиш тезликларини талаб қиладиган ва ўзгарувчан ўлчамларни пакетларга эга бўлган, вақт кечиктиришларига критик бўлмаган маълумотларни узатиш учун фойдаланилади (масалан, FTP файллари);

- “Имконият бўйича” сервис (ингл. *Best Effort, BE*) кафолатланган узатиш каналларини талаб қилмайдиган ва уларни бўш слотлар пайдо бўлиши бўйича узатиш мумкин бўлган маълумотлар оқимини узатиш учун мўлжалланган.

IEEE 802.16 стандарти “мобил” версиясининг пайдо бўлиши WiMAX тармоқларида ўз талабларини ва QoS хизмат кўрсатиш сифатига талабларни аниқлаштирди. Радиорухсат этиш тармоғи юқори ўтказиш қобилияти, ассиметрик «паства»/«юқорига» трафик хизмат кўрсатиш имконияти, каналларни қасрлаштирилган тузилмаси ва канал

ресурсларини тақсимлашнинг ихчам механизми турли иловали ва сервисли «мобил WiMAX» нинг самарали ишлашни таъминлайди.

IEEE 802.16e стандартида QoS хизмат кўрсатиш сифати MAC даражадаги сервис оқимлари ҳисобига ҳам таъминланади. Бу 5.15-расмда келтирилган.



5.15-расм. IEEE стандартида QoS ни қўллаб қуватлаш

Мобиллик ва «роуминг» имкониятларининг пайдо бўлиши билан IEEE 802.16e стандартида “глобал сервис синфи” тушунчаси киритилди. Мавжуд сервис синфи тушунчасидан у шундай фарқланадики, глобал сервис синфи номи барча ТС лар учун ягона ва ўзгармас бўлиб қолди ва ҳеч қандай алоҳида ТС уни ўзгартира олмайди. Шундай қилиб, глобал сервис синфи бу глобал тармоқ доирасидаги.

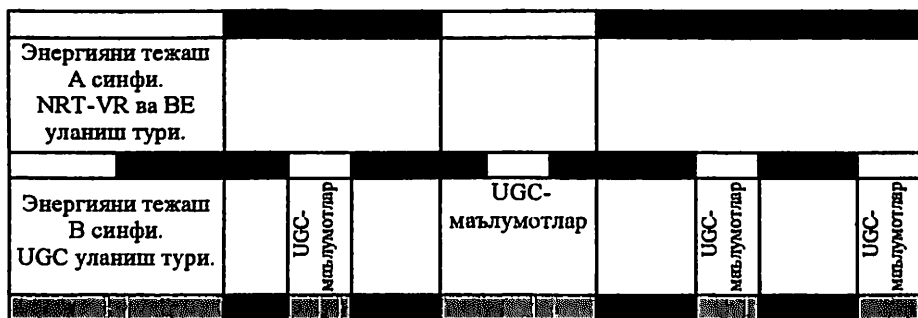
QoSни бошқариш куроли ёки бир неча тармоқларни бирлаштирилишда ҳисобланади. Глобал сервис синфи номи 32 бит узунликдаги саккизта параметрлар (яна битта захирада) тўплами ҳисобланади.

5.3.7. Мобилликни бошқариш

Кўрииб турибдики, мобилликни бошқариш функцияси фақат IEEE 802.16e стандарти учун долзарб эмас. Абонент қурилмаларининг мобиллик деганда кўпинча “хэндовер”ни ташкил этиш бўйича чоралар ва АУ батареяларининг хизмат муддатини ошириш тушунилади.

“Мобил” WiMAX да энергияни тежаш нуқтаи назаридан иккита ухлаш (ингл. *Sleep Mode*) ва кутиш (ингл. *Idle Mode*) режимларини қўллаб қуватлайди.

1) Уйқу режими ҳар бир ТС ни қўллаб қуватлаш учун мажбурий ва АУ учун опционал. Уйқу режимида ТС билан мослаштирилган АУ вақт интервалида БСдан узилади (бунда ТС да руйхатдан ўтган ҳолда қолади), бу радиоинтерфейс ресурсларини ва АУ батареяси энергиясини тежашга имкон беради. Бунда АУда маълум даврий жараёнларга рухсат этилади, масалан, ишлов бериш (алоқа каналидаги шароитларни ва мос параметрлар бўлган кечикиш вақти, нурланиш қуввати ва бошқаларни аниқлаш). Уйқу режимида етиш (ингл. *Unavailability Interval*) етмаслик интервал билан (*Availability Interval*) ва бу интервалларда АУнинг ўзини тутиши унинг ишлаши оддий режимдан ҳеч қандай фарқ қилмайди (5.16-расм).



□ Эшитиш ойнаси
■ Ухлаш ойнаси

■ Етиш интервали
■ Етмаслик интервали

5.16- расм. Иккита энергияни тежаш синфларини АУ ни ишлашига мисол

Етмаслик интервалида АУ БСдан ҳеч қандай маълумотларни олмайди, бу даврда келган маълумотлар эса ўчирилади ёки АУнинг етиш давригача кейинги узатиш учун БСда ўзгартирилади. Етмаслик интервали ўз навбатида навбат алмашадиган эшитиш (ингл. *Listen Window*) ва уйқу (ингл. *Sleep Window*) ойналаридан иборат. Listen ва Sleep ойналарининг навбат алмашиши параметрлари PSC (ингл. *Power Saving Class*) энергияни тежаш синфлари билан характерланади. Ҳар бир актив уланиш учун ўз PSC синфи тайинланади. Қуйидаги учта PSC синфи қўлланилади:

- 1 синф BE, NRT-VR QoS даражалар билан уланиш учун тавсия қилинади. 1 синфда Sleep ойнаси ҳар бир билан ошади (масалан, иккиланади), лекин маълум чегарадан ортмайди. Listen ойнаси вақтида ТС АУ га узатишни кутаётган унга манзиллаштирилган маълумотларнинг мавжудлиги хабар қилади. АУ бундай хабарни қабул қилиб ТС га BR (ингл. *Bandwidth Request*) канални ажратилишига сўровни юборади.

- **2 синф** UGS, RT-VR QoS даражалар билан уланиш учун тавсия қилинади. Унда кетма-кет навбат алмашадиган Sleep ва Listen ойналари доимо бир хил узунликка эга. 1 синфдан фарқли равишда бу синфда АУ Listen ойнаси вақтида маълумотларни олиши ва узатиши мумкин.

- **3 синф.** Гуруҳли ўзатиш учун (multicast), шунингдек, даврий ишлов бериш бошқарувчи хабарлари ва хизматларни динамик ўзгартириш ва бошқалар учун тавсия қилинади. Масалан, агар ТС гуруҳли кўрсатиш учун маълумотларни келиш даврийлигини билса, у ҳолда бутун бу давр мобайнида ТС АУ га 3 синфдаги ухлаш режимини тайинлайди.

Ҳар бир АУ бир неча PSC синфлари билан бир вақтда уланишни қўллаб қуватлайди. Агар АУ да ўрнатилган уланиш ҳеч қандай PSC синфига тегишли бўлмаса, у ҳолда бу уланиш доимо актив ҳисобланади (яъни, унда Sleep ойнаси бўлмайди). Ухлаш режимини активлаштириш (шунингдек, ноактивлаштириш) PSC синфи ва унинг параметрлари кўрсатилган АУ дан хабар орқали амалга оширилади. Жавоб хабаринда ТС ухлаш режимини активлаштириш ҳақида хабарга (манфий ва салбий жавоб билан) жавоб беради ва шунингдек, унинг параметрларини аниқлайди. Ухлаш режимдан чиқиш маълум ҳодислар (масалан, ТС дан сигнални максимал қийматини детекторлаш) ёки жадвал бўйича махсус бошқариш хабари орқали бўлиши мумкин.

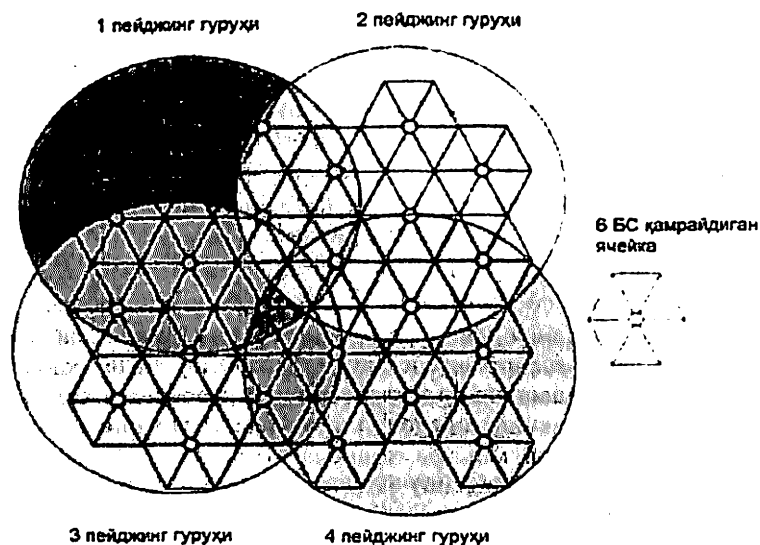
2) Маълумотларни алмаштириш бўлмаганида АУ кутиш режимга ўтиши мумкин (АУ ни бу режимни қўллаб қуватлаши мажбурий бўлмасада). Бу режимда АУ фақат кенг узатишли каналдан ТС дан келадиган ахборотларни даврий равишда эшитади. Бунда АУ учун у жойлашган таъсир этиш (ишлаш) зонасида (худудиди) БСда рўйхатдан ўтказишга зарурат йўқ. Масалан, АУ кўп сонли БСларни узун худудда ҳаракатланганида ахборотларни узатмаслиги ва ТС унинг манзилига трафик келган ҳақида махсус хабар билан уни чақирмагунча массив келиши мумкин.

Бу “хэндовер” жараёнини бўлмаслигини ва актив бўлмаган режимда жойлашган абонент қурилмаларининг радиоресурсларни ишлатишини камайтириш имкониятини беради. АУ учун маълумотлар келганида ТС “пейджинг” (ингл. *Paging*) кенг узатишли канал бўйича хабар юборади. Кутиш режимини ишлатиш учун барча ТС лар маълум минтақани радиоқамраб олишни таъминлайдиган ўз ID ларли (LTE тизимидаги *Tracking Area* каби) пейджинг гуруҳларга мантиқий бирлаштирилади (5.17-расм).

Бунда АУ ни чақириш пейджинг гуруҳга кирадиган барча ТС ларда амалга оширилади. Пейджинг гуруҳ АУ унинг чегараларида қанчалик узоқ қолиши учун етарлича катта ва гуруҳларни ўзаро қоплаши ортиқча бўлмаслиги учун етарлича кичик бўлиши керак. Кутиш режимда бўлган АУ даврий равишда ТС дан пейджинг учун интервални эшитади.

Пейджинг интерваллари пейджинг учун етарли бўлмаган интерваллар билан алмашади. У давомида АУ таъминотни камайтириши ёки қўшни ТС ларни сканерлаши ёки ишлов беришни амалга ошириши

мумкин. АУ харакатланганида радиоканалнинг яқин RSCI, CINP характеристикаларини ТС ни танлашни амалга оширади.



5.17-расм. БСни пейджинг гуруҳларга бўлиниши

АУ кутиш режимида бўлганида ўзи жойлашган ўрни ҳақида хабар қилади (ингл. *Location Update*) ёки ўз хоҳишига кўра, ёки қуйидаги ҳолларда:

- АУ жойлашган ТС таъсир этиш (ишлаш) худуди янги пейджинг гуруҳига тегишлилиги аниқланса;
- кутиш режимининг тугаши бўйича (4096 секунд);
- чақирувлар гуруҳидан АУ ҳақида ахборотлар ўчирилганда АУ нинг ўчирилишида;
- бу АУ га тегишли бўлмаган ТС томонида пейджинг чақирувлари сони бўйича чегараларга етганида (ингл. “*MAC hash skip threshold*” деб номланган жараёни).

IEEE 802.16e стандартида АУ жойлашган ўрни ҳақида маълумотларни иккита янгиланиши турини қўллайди (ингл. *Location Update, LU*):

- ҳимояланган – ТС ва АУ орасидаги хизмат ахборотларини ҳимоялаш активлаштирилган;
- ҳимояланмаган – ТС ва АУ контекстни актив ҳимоялашга эга эмас ёки ТС у ёки бу сабабларга кўра LU ҳимояланган турни танлайди.

Тармоқда кутиш режимини қўллаб-қувватлашнинг барча функцияларини махсус тугун бўлган пейджинг назоратчиси бажаради.

Назоратчи (контроллер) барча БСларга кутиш режимида бўлган АУ лар рўйхати бўлган махсус хабарларни юборади, уни актив режимга тез қайтариш учун маълум вақт интервалида АУ лар ҳақида маълумотларни сақлайди, шунингдек, тармоқнинг бошқа нуктасида АУ ни қайта рўйхатдан ўтгани ҳақида ТС га хабар қилади.

IEEE 802.16е стандартида тармоқнинг таянч модели мобилликни бошқаришни икки турини қўллаб қуватлайди:

- ASN (ингл. *ASN anchored mobility*) бошқарадиган мобиллик;
- CSN (ингл. *CSN anchored mobility*) бошқарадиган мобиллик.

ASN бошқарадиган мобиллик битта ASN шлюз билан бошқариладиган АУ ТС лар чегараларида ҳаракатланадиган ҳолларда қўлланилади (яъни “микромобиллик”). Бунда “хэндоверни” таъминлаш бўйича функция иккита ТС орасида маълумотларни маршрутлаштириш, “хэндовер” жараёнини бошқариш, контекстни узатиш/янгилаш, маълумотларни буферлаштириш ва бошқаларни қўшганда ASN даражада бажарилади. CSN тугуни бу жараёнда ҳеч қандай иштирок этмайди ва АУ IP манзили ўзгармасдан қолади. Қондага кўра, мобилликни бундай бошқариш тури кўпинча бўлиб ўтади.

CSN бошқарадиган мобиллик турли ASN шлюзлар билан бошқариладиган ТС лар орасида АУ ҳаракатланганида ишлатилади. Бу турнинг маъноси бир R3 таянч нуктасидан бошқасига маълумотларни маршрутлаштиришдан иборат. Бунда MIP (ингл. *Mobile IP*) протоколи қўлланилади. У IP манзиллар ўзгартирилишсиз тармоқлар орасида АУ ни ҳаракатланишини қўллаб қуватлайди. Бунда АУ ахборотларни алмаштирадиган қурилмалар унинг ҳаракатини пайқамайди. MIP протоколи қуйидаги функционал компонентлардан фойдаланади:

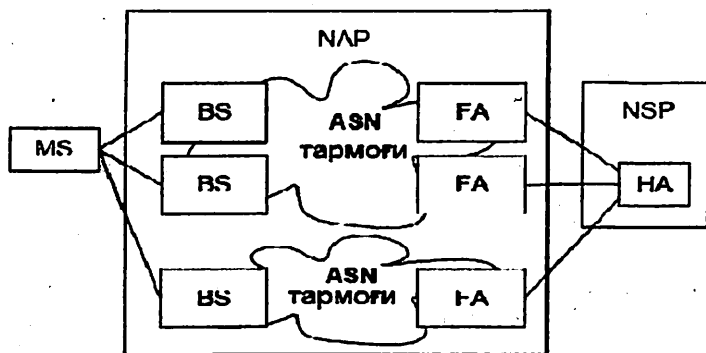
1) MIP мижоз (ингл. *MIP client*). MIP мижознинг жойлашишига боғлиқ у икки турга бўлинади:

- MIP протоколини қўллаб қуватлайдиган MIP мижоз АУ да ишлатилган CMIP (ингл. *Client MIP*);

- MIP протоколини қўллаб қуватлаш талаб қилинмайдиган MIP мижоз ASN тугунида жойлашган ва АУ номидан ҳаракат қиладиган PMIP (ингл. *Proxy MIP*).

2) FA (ингл. *Foreign Agent*) - меҳмон тармоғи агенти, ASN тугунда жойлашган ва унинг тармоғида жойлашган барча АУ лар ҳақида ахборотларга эга бўлади.

3) HA (ингл. *Home Agent*) – уй тармоғи агенти, CSN тугунда жойлашган ва CSN бошқарадиган мобилликда якор (боғловчи марказ) ҳисобланади. HA тугун у кирадиган FA тугун IP манзилига АУ нинг IP манзилининг мослик жадвалига эга бўлади. Шундай қилиб, HA да бу АУ га мўлжалланган пакетларни қаерга (қайси FA га) юбориш ҳақида ахборотга эга бўлади. 5.18-расмда WiMAX тармоғида MIP нинг шакллантирилиши келтирилган.



5.18-расм. WiMAX тармоғида MIP протоколининг шакллантирилиши

НА тугунга келган АУ учун мўлжалланган пакетлар уларни АУ га қайта юборадиган мос FA тугунга қайта юборилади. АУ янги ASN га, яъни янги FA тугунга ўтганида қайта рўйхатдан ўтказиш жараёни амалга оширилади. Янги ASN тугуннинг MIP миждози рўйхатга олишни амалга оширади, натижада НА тугундаги жадвал янгиланади. Энди АУ манзилига янги FA тугуннинг манзили мос келади. НА тугун АУ га мўлжалланган пакетларни янги FA тугунга қайта юборади.

CSN ва ASN тармоқларга боғлиқ мобилликни бошқариш турларининг ўзаро таъсирлашиши 5.19 ва 5.20-расмларда кўрсатилгандек, кетма кет ва аралаш бўлиши мумкин.

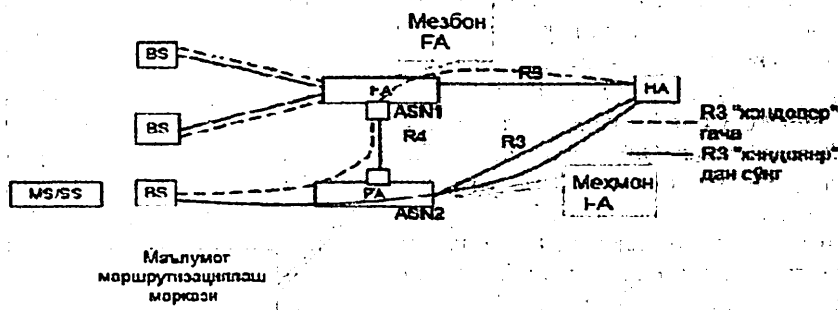
Кетма кет ўзаро таъсирлашишда АУ бир ASN тармоғидан бошқа ASN тармоғига ҳаракатланганида дастлаб ASN ичида “хэндовер” бажарилади, кейин CSN тури бўйича ASN тармоғидан бошқа ASN тармоғига R3 интерфейси қайта уланиши амалга оширилади. Бу афзал усул ҳисобланади.

Аралаш ўзаро таъсирлашишда АУ бир ASN тармоғидан бошқа ASN тармоғига ҳаракатланганда R3 таянч нуқталарининг қайта уланиши ASN бошқарадиган турларнинг жараёнини бажарилиши жараёнида, масалан, яъни ASN тугунда “хэндоверга” командаларни олишда амалга оширилади.

IEEE 802.16e стандартида мобилликни бошқаришнинг ҳар иккала турини қўллаб қуватлаш мажбурий. MIP миждоз НА агентда АУ ни рўйхатдан ўтказишни ва уни FA агент ўзгарганида, яъни АУ бошқа ASN тармоғига ўтганида қайта рўйхатдан ўтказишни амалга оширади.

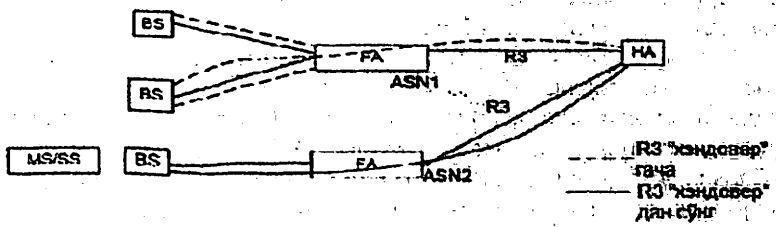
АУ рўйхатдан ўтказиш НА агентга қайси FA тугунга АУ тегишлилиги ҳақида ахборотни тақдим этиши билан тугалланади.

Тармоқ архитектураси



5.19-расм. Мобилликни бошқариш турларининг кетма кет ўзаро таъсирлашиши

Тармоқ архитектураси



5.20-расм. Мобилликни бошқариш турларининг аралаш ўзаро таъсирлашиши

IEEE 802.16e стандарти “хэндовер” жараёнини ишлатилишининг учта услубини қўллаб-қувватлайди.

- “дағал хэндовер” (ингл. *Hard Handoff, HHO*);
- TC ни тез қайта уланиши (ингл. *Fast Base Station Switching, FBSS*);
- макроажратишли “хэндовер” (ингл. *Macro Diversity Handover, MDHO*).

Улардан фақат “дағал хэндовер” усули мажбурий, TC тез қайта уланиши ва макроажратишли “хэндовер” усуллари опционал ҳисобланади. WiMAX Форуми томонидан IEEE 802.16e стандарти спецификациялари доирасида “дағал хэндовер” жараёнини оптималлаштириш учун бир неча механизмлар ишлаб чиқилди. Тақомиллаштириш аввало 50 мс дан кам “хэндовер” да 2 даражада откликни ушланиши вақтини қисқартириш мақсадида бўлди. “Дағал хэндовер” жараёнини атрофлича кўриб чиқамиз.

АУ бир TC дан бошқасига қайта уланишидан олдин, унга янги TC ни топиши ва танлаши керак. АУ учун қўшни TC ларни қидиришини осонлаштириш учун мобилликни қўллаб қуватлайдиган ҳар бир TC

қўшниларни тақдим этиш бўйича махсус хабарни даврий равишда юборди (ингл. *Neighbor Advertisement*). Бу хабарда барча қўшни ТС лар ва уларнинг профили, иш режимларини (масалан, OFDM ёки OFDMA технологияси, ФТЎ массиви ўлчами, полоса кенглиги, каналнинг тартиб рақами, частоталар тўплами, антеннадаги эквивалент қувват ва бошқалар), ҳар бир ТС учун “хэндовер” жараёнининг ўзига хос хусусиятлари, қўллаб-қувватланадиган QoS синфлари ва бошқалар санаб ўтилади. АУ сўрови бўйича хизмат қиладиган ТС унга “хэндовер” учун АУ қўни ТС ларни сканерлаш давомлилиги бўлган махсус вақт интервалларини (яъни, сканерлаш интервалларини) тайинлайди. Сканерлаш интерваллари нормал ишлаш ишлаш интерваллари билан навбат алмашиши мумкин. Сканерлаш интервалларини сўрашда АУ ТС ларни (масалан, хизмат кўрсатувчи ТС рўйхатидан) улар билан алоқа шартини у таҳлил қиладиганларини санаб ўтиши мумкин.

Сканерлашда ассоциациялаш жараёни бўлиши мумкин. Бу опционал функция бўлиб АУ га ТС сўрайдиган QoS физик параметрларини ва хоссаларини олиш ва сақлашга имкон беради. Стандарт учта ассоциациялаш турларини аниқлайди:

0–даража бу оддий (координацияланмаган) ишлов бериш. АУ сканерлаш интерваллари вақтида ТС уларга ўзининг хабари билан жавоб берадиган махсус тест хабарларини қўшни ТС ларга юбориш билан ишлов бериш жараёнини бажаради. Бунда АУ каналдаги сигнал/шовқин нисбатини қабул қилинган сигналнинг қувватини, откликни ушланиш вақтини ва бошқаларни аниқлайди. Таянч станцияларга сўров рақобат асосида берилган сўров интервалларида беради.

1–даража бу хизмат қиладиган ТС сканерлашда қатнашиши кўзда тутилдиган координацияланган ассоциациялаш. Ҳам АУ дан сўров бўйича, ҳам ТС нинг ўзи тайинланган АУ да ишлатилиши мумкин. Хизмат кўрсатадиган ТС қўшни ТС лардан улар учун қулай вақтни ишлов беришга сўрайди. Қўшни ТС лар жавобан хизмат кўрсатадиган ТС га ишлов беришга сўров ва сўровни узатиш шарти учун улкан CDMA-кодни узатади. Бу шартлар ва CDMA-кодларни хизмат кўрсатадиган ТС АУ га хабар қилади ва бунинг ўзи берилган вақтда қўшни ТС лар билан алоқа қилади.

2–даража бу тармоқ бўйича билдиришли ассоциациялаш бўлиб, у координацияланган ассоциациялашга ўхшаш, лекин ишлов беришда АУ га фақат CDMA-кодни узатиш етарлилиги ва қўшни ТС лардан жавобни кутишнинг керак эмаслиги билан фарқ қилади. Барча қўшни ТС лар сўровни олиб хизмат кўрсатадиган ТС АУ сидан алоқа каналининг физик параметрлари ҳақидаги ахборотларни узатади, хизмат кўрсатадиган ТС бу ахборотларни тўплайди ва АУ га битта хабарда узатади.

Сканерлаш ва ассоциациялаш жараёнлари бевосита “хэндоверга” олиб келади ва қўшни ТС лар рўйхатини шакллантиришга ва навбатдаги уланиш учун улардан бирини танлашга имкон беради. “Хэндовер” жараёнининг ўзи бир неча босқичларни ўз ичига олади:

- бевосита сканерлаш ва ассоциациялаш асосида ячейкани танлаш;
- “хэндовер” бошланиши ҳақида қарор ва дастурни ишга тушириш;
- танланган ТС билан синхронлаштириш;
- танланган ТС билан боғланишни ўрнатиш (рўйхатдан ўтказиш);
- хизмат кўрсатадиган ТС билан боғланишни узиш.

АУ “хэндовернинг” тугатилишини махсус финал хабари билан тасдиқлади, лекин финал хабарини юборишгача исталган моментда “хэндовер” жараёнини уза олмайди. “Хэндовер” жараёнининг бошланиши ҳақидаги қарорни АУ, хизмат кўрсатадиган ТС ёки тармоқнинг бошқариш тизими қабул қилиши мумкин. ТС зарур АУ канал ресурслари ва QoS даражасини баҳолаш асосида “хэндовер”ни амалга ошириши мумкин. АУ га бу талаблар хизмат кўрсатадиган ва қўшни ТС имкониятларига киради. Агар хизмат кўрсатадиган ТС нинг ўз ресурслари етишмаса, улар қўшни ТС да бўлса, у ҳолда у АУ ни қўшни ТС га қайта уланишига мажбурлайди.

Гуруҳли ва кенг-қамровли узатиш

IEEE 802.16e стандартида гуруҳли узатиш (кам ҳолларда, кўп нуқтали ёки кўп узатишли) тушунчаси (ингл. *Multicast*) ва кенг-қамровли узатиш тушунчаси (ингл. *Broadcast*) киритилган. Стандартда бу тушунчалар бирлаштирилган ва ягона MBS (ингл. *Multicast and Broadcast Service*) атамаси ишлатилади. У гуруҳли ва кенг-қамровли узатиш хизматларини аниқлайди. MBS хизматлари иккита бир сайтли MBS (бир ТС дан узатиш) ёки гуруҳли MBS (бир неча ТС лардан узатиш) режимларида SFID тақдим этилиши мумкин ва АУ ҳар иккала режимларни қўллаб қувватлаши керак. MBS узатишлар учун ARQ тесқари алоқа механизми кўзда тутилмаган. Олдиндан берилган трафик хоссалари ва QoS ли MBS транспорт оқимларига сервис оқимлари SFID ва мос равишда боғланишлар CID идентификаторлари берилади. Бу идентификаторлар бўйича АУ MBS хизматларни танийди. Бунда агар гуруҳли узатиш хабарларини бир неча АУ лар инкор қила олса, у ҳолда кенг узатишли узатиш хабарларини барча АУ лар қўллаб қувватлаши керак. MBS хабарларни АУ “уйқу” ва “кутиш” режимларида ҳам қабул қила олиш мумкин ҳисобланади.

Гуруҳли MBS режимида бир неча ТС лар махсус гуруҳни зонани (худудни) ташкил қилади, унинг барча ТС ларига MBS зонасининг идентификатори берилади. MBS зонасидаги барча ТС ва АУ лар ягона CID дан фойдаланади ва барча ТС лар бир частота каналида MBS хабарларни синхрон трансляция қилади (LTE дан SFN бир частотали тармоқларга ўхшаш). Бир сайтли MBS режимида MBS сервисни олиш учун АУ ТС да рўйхатдан ўтказилиши керак. Гуруҳли MBS режимида эса бундай рўйхатдан ўтказиш талаб қилинмайди. Бундан ташқари АУ MBS зонасидаги ҳеч бир ТС да рўйхатдан ўтказилмаслиги мумкин ва бунда бу

сервисни олиши мумкин. Бунда АУ тармоқда бу сервисни олувчи сифатида рўйхатдан ўтказилиши етарли бўлади. АУ ҳақидаги ахборот тармоқ инфратузилмаси орқали таянч станцияларга узатилади. Бунда МBS хизматларни олувчини рўйхатдан ўтказиш тармоқ даражасида амалга оширилади.

5.4. WiMAX тармоғини ташкил қилишнинг ўзига хос хусусиятлари, ишлаш режимлари ва профиллари

5.4.1. WiMAX профиллари

Умумий ҳолатда WiMAX тармоғи таянч станцияси ва абонент ускунаси, шунингдек ўзаро ва бошқа умумий уланиш тармоқлари билан алоқа қилувчи таянч станцияларидан иборат бўлади. ТС ва АУ орасида уланиш бир неча режимда амалга оширилади: доимий(фиксацияланган алоқа), сеансли, кўчма ва мобил. WiMAX тизими «охирги миля» муаммоларини ҳал қилиш учун ва узоклаштирилган объектлар ўртасида кенг полосали симсиз алоқани таъминлаш учун қўлланилади. Тармоқда ҳеч бўлмаганда битта ТС симли умумий фойдаланиш тармоғига чиқиш имконига эга бўлса, БСлар ўртасида алоқа ўрнатилади. IEEE 802.16 стандартлар оиласининг тармоқ тузилиши анъанавий GSM тармоқлариникига ўхшаш бўлади. ТС ўн километр масофагача сигнал узатишни амалга оширади, ТС ларни ўрнатиш учун баланс устун (рус. *вышка*) зарур эмас – ТС ларни уйларнинг томига бир-бирига тўғридан-тўғри кўриниб турадиган қилиб ўрнатиш мумкин.

WiMAX стандарти физик поғонасига тегишли барча талабларга мувофиқ равишда амалиётда " WiMAX профили " атамаси қўлланилади. Қуйидаги расмда кўрсатилгандек, бир неча WiMAX профиллари ўзаро фарқланади.

Бундан ташқари, сертификатланган профилилар ҳам мавжуд бўлиб, стандартлар талабларига мос равишда ҳар хил ускуналарни сертификатлаш мақсадида фойдаланилади. Бунда «Плагфест» (инг. *Plugfest*⁴⁴) деб номланувчи ускунадан фойдаланиб сертификатланган профилилардан бири асосида WiMAX стандартига қўйилган талабларга мос ҳолда WiMAX Форум лабораторияларида ускуналарни тестлаш амалга оширилади. Вақт ўтиши билан WiMAX стандартига тегишли бўлган профилилар тақомиллашиб бормоқда. 2007 йил бошида қуйидаги сертификацияланган профилилар тавсифлаб берилди: 5 профил доимий алоқали WiMAX учун ва 13 профил «мобил WiMAX» учун. Профилилардан баъзилари 5.11-жадвалда келтирилган.

⁴⁴*Plugfest* – бу ускуналарнинг бир-бири билан молашуви бўйича норасмий синовлар ўтказиш (сертификатлар бермаган ҳолда). Тўғридан тўғри инглизчадан «уланишлар фестивали» деб таржима қилинади.

WiMAX профиллари параметрлари

	«тургун WiMAX»	Эволюцион WiMAX	«мобил WiMAX»	
Стандарт	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16e-2005	IEEE 802.16e-2005	
Мултиплекслаш	OFDM	OFDM	OFDMA	
Нимэлтувчиларнинг номинал сони	256	256	512, 1024	
Дуплекс режими	TDD, FDD, HFDD	TDD, FDD, HFDD	TDD	
Модуляция	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM (опционал)	QPSK, 16-QAM, 64-QAM ("юқорига" каналида-опционал)	
Қувват синфлари, dBm	0 – 14	0 – 14	16-QAM	QPSK
	14 – 17	14 – 17	18 – 21	20 – 23
	17 – 20	17 – 20	21 – 25	23 – 27
	20 – 23	20 – 23	25 – 30	27 – 30
	23 дан юқори	23 дан юқори	30 дан юқори	30 дан юқори

WiMAX стандартининг сертификацияланган профиллари

WiMAX тизимлари	Сертификацияли профиллар			
	Номи	Частота диапазони, GGs	Дуплекс	Канал кенглиги, MGs
«тургун WiMAX» (IEEE 802.16-2004, OFDM)	Air1	3,4 – 3,6	TDD	3,5
		3,4 – 3,6	TDD	7
	Air2	3,4 – 3,6	FDD	3,5
		3,4 – 3,6	FDD	7
		5,725 – 5,850	TDD	10
Эволюцион WiMAX (IEEE 802.16e-2005, OFDM)	ETG8	4,935 – 4,990	TDD	5
«мобил WiMAX» (IEEE 802.16e-2005, OFDMA)	1B	2,3 – 2,4	TDD	5 ва 10
	1A	2,3 – 2,4	TDD	8,75
	3A	2,496 – 2,690	TDD	5 ва 10
	5AL	3,4 – 3,6	TDD	5
	5BL	3,4 – 3,6	TDD	7

5.4.2. WiMAX тармоғининг ишлаш режимлари

Аввал айтиб ўтилганидек, ҳозирги кунда кенг тарқалган ва асосий стандарт ҳисобланувчи WiMAX стандартининг иккита версияси мавжуд: IEEE 802.16d ва IEEE 802.16e IEEE 802.16d стандарти фиксацияланган (рус. *фиксированный*) алоқали симсиз уланишни тавсифлайди ва узоклаштирилган стационар абонентлар уланиши учун мўлжалланган. Ўз техник характеристикасига кўра (ўтказиш полосаси 20MGs частота полосасида 75Mbit/sek гача етади, алоқа масофаси 50km гача), бу стандарт турли вариантдаги симли кенг полосали абонент уланиш усулларининг алтернатив варианты ҳисобланади.

IEEE 802.16e стандарти ҳаракатдаги фойдаланувчилар учун кенг полосали “мобил” хизматларни кўрсатиш учун мўлжалланган. Ушбу стандартда максимал маълумот узатиш тезлиги 5MGs частота полосасида 20Mbit/sekни ташкил этади, алоқа масофаси – 5-10km га тенг. IEEE 802.16e стандарти ТС ва АУ орасида боғланишда мобиллик (ҳаракатчанлик) жиҳатдан айниқса тақомиллашган ҳисобланиб, шунингдек аввалги барча стандартларнинг имкониятларини ҳам ўз ичига олади ва қуйидаги режимларда ишлайди:

- Фиксацияланган алоқали (бир жойдан қўзғалмай ёки стационар ҳолатда) уланиш (ингл. *Fixed WiMAX*);
- Сеансли уланиш (ингл. *Nomadic WiMAX*);
- Кўчма ёки силжиш режимидаги уланиш (ингл. *Portable WiMAX*);
- Мобил уланиш (ингл. *Mobile WiMAX*).

WiMAX тармоғи ишлаш режимларини батафсил кўриб чиқамиз.

5.4.2.1. Фиксацияланган уланиш

Фиксацияланган уланиш ўз тузилишига кўра кенг полосали симли технологияларга (xDSL, T1/E1, оптик толали технологиялар) ўхшаш бўлади. Дастлаб IEEE 802.16 стандарти 10-66GGs частота диапазонида ишлаш учун мўлжалланган. Ушбу частота диапазони радиоалоқанинг асосий муаммоларидан бири бўлган – радиотўлқинларнинг кўп нурли (кўп ташкил этувчили) тарқалишидан сақланиш имконини беради. Ушбу частота диапазонида бу алоқа канали кенглиги билан 120Mbit/sek дан ортиқроқ тезликларда маълумот узатишга эришиш мумкин. Фиксацияланган уланиш режими IEEE 802.16d-2004 стандарти билан тавсифланган. Шунини алоҳида таъкидлаш лозимки, Фиксацияланган уланиш режимида хизмат кўрсатувчи кўпчилик операторлар тўлиқ мобил режимга ўтишни ёки иккала стандартни ҳам бир вақтда қўллашни лойиҳалаштирмақдалар.

5.4.2.2. Сеансли уланиш

Сеансли уланиш мавжуд фиксацияланган уланиш режимли WiMAX га сеанс тушунчасини қўшди. Сеанснинг мавжуд бўлиши турли таянч станциялари орқали уланишни ўрнатиш ва маълум бир давр орасида АУни

эркин кўчишига имкон беради. Ушбу режим асосан портатив ускуналар (масалан, ноутбук, чўнтак компьютерлари) учун ишлаб чиқилган ва портатив ускуналар учун жуда муҳим бўлган АУ энергия истеъмолини камайтириш имконини беради.

5.4.2.3. Кўчма уланиш

Бу режимда уланиш учун бирор WiMAX таянч станциясидан бошқа таянч станциясига алоқани йўқотмаган ҳолда абонентни автоматик улашни амалга ошириш имконияти кўшилган («роуминг»). Лекин ушбу режим учун АУ ҳаракатланиш тезлиги 40km/soat дан ошмаслиги керак. Шундай бўлса ҳам, ушбу режимдан АУ автомобилда, велосипедда ва яёв ҳолатда чегараланган тезлик билан ҳаракатланганда фойдаланиши мумкин. Ушбу режимга кириш смартфон, коммуникатор ва чўнтак компьютерлари лар учун WiMAX технологиясидан фойдаланишга мос равишда амалга оширилган. Бундай кўчма уланишли WiMAX режимда ишловчи ускуналарнинг чиқиши 2006 йилдан бошланди.

5.4.2.4. Мобил уланиш

Маълумки, ушбу режим IEEE 802.16e стандартида ишлаб чиқилган ва АУ си 120km/soat тезликкача ҳаракатланганда барқарор алоқани таъминлаш имконини берди. «мобил WiMAX» нинг асосий устунликлари ва камчиликларига қуйидагилар киради:

1. Сигналнинг кўп нурли тарқалишига ва шахсий халакитларга бардошлилиги;
2. Канал ўтказиш қобилиятининг кенгаювчанлиги;
3. Асимметрик оқимни ташкиллаштирувчи ва антенна тизимларини самарали бошқаришда фойдаланувчи вақт бўйича сигнал тарқатиш дуплекс (TDD);
4. Хизмат кўрсатиш сифати QoS да HARQ технологиясидан фойдаланилиб, АУ ҳаракат чоғида ўз йўналишини ўзгартирганда алоқани ишончли сақлаб туриш имконини беради;
5. Кутиш режимларида АУ энергия таъминотини тежайди, батареянинг ишлаш муддатини чўзади;
6. АУ қайта уланишини оптималлаштирилган технологияси – ННО каналлар орасида уланиш вақтини 50мс гача қисқартириш имконини беради;
7. MBS гуруҳли ва кенг полосали хизмат кўрсатиш хизматларини таъминлайди:
 - Битта частотада кўплаб фойдаланувчиларга сигнал узатишни таъминлаш орқали тармоқнинг юқори самарадорлигига эришиш;
 - Тармоқнинг радиочастота ресурсларидан самарали фойдаланиш;
 - Абонент ускунасининг электр сарфини камайтириш;
 - Каналлар орасида тезкор уланишларни амалга ошириш.

8. Частотани такрорлаш усуллари минимал йўқотишлар билан частотадан фойдаланиш учун каналларни устма-уст қўйиш/кесиштиришни бошқариш имконини беради;

9. MAC-кадр ўлчами 5ms да кичик пакетлардан фойдаланиб маълумот узатиш ишончлилиги ва пакетлар сонини кўпайтириш харажатлари орасида ўзаро келишувни таъминлайди.

WiMAX тармоқларига мобил ҳолатда уланиш турли даражадаги мобилликни таъминловчи ҳар хил абонент ускуналари билан таъминланади. Уларга куйидагилар киради:

- Бинолар ичида қўлланилиш учун ускуналар, шунингдек улар клиент ускуналари (ингл. *Customer Premises Equipment, CPE*) деб номланади;

- Бинолар ташқарисида қўллаш учун ускуналар, масалан, ташқи WiMAX антенналари;

- Портатив компьютерларга ўрнатиладиган PC-карталар;

- Портатив компьютерлар ичига жойлаштирилган WiMAX модуллари;

- WiMAX интерфейсига эга чўнтак компьютерлар ва коммуникаторлар

WiMAX тармоғининг ҳар хил ишлаш режимлари асосий характеристикалари 5.12-жадвалда келтирилган.

5.4.3. WiMAX тармоғини ташкил этишнинг ўзига хос хусусиятлари

Айтиб ўтилганидек, IEEE802.16 стандарти шаҳар ва районлар масшабдаги симсиз тармоқларда кенг полосали алоқа ташкил қилиш мўлжалланган (WMAN). Стандартнинг бошқа вазифаси локал, ҳудудий ва глобал тармоқлар ўртасида ўзаро алоқани таъминлаш ҳисобланади. Бу тармоқлар шунингдек симсиз шахсий тармоқлар билан ҳам биргаликда ишлайди ва симли ва симсиз тармоқлар орасида протоколларо иерархик боғланишни таъминловчи симсиз кўприкларни вужудга келтиради.

Бу вазифаларни бажариш учун WiMAX тармоғини ташкил этишнинг турли вариантлари кўриб чиқилган. Умумий ҳолатда WiMAX тармоғи топологияси 5.21-расмда тасвирланган.

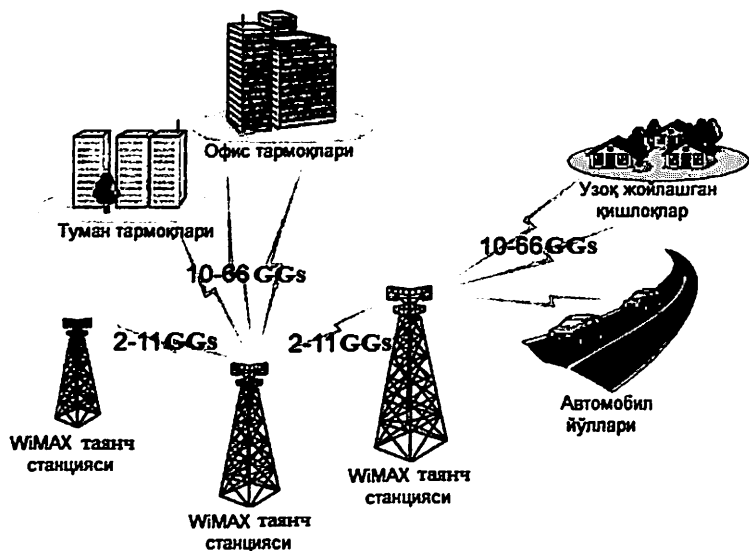
WiMAX тизимларида аввал магистрал линияларни ташкил этиш учун 10-66MGs дастота диапазонидан фойдаланиш кўзда тутилган, ҳозирги фойдаланиладиган версияларида эса 2 дан 11 MGs дастота диапазонида 3,5; 5; 7,5; 8,75 ва 10 MGs канал кенглигида ишлайди. Бунда $\pm 10^{-6}$ чегарада частота барқарорлигини таъминлаш зарур. Тармоқ таянч станциялари бинолар томларида ёки мачталарда жойлаштирилади. Шунингдек, турли баланд иншоотлардан, симёғочлардан ва, ҳаттоки, дарахтлардан таянч станцияларни ўрнатишда фойдаланиш мумкин.

WiMAX тармоқларининг ишлаш режимлари

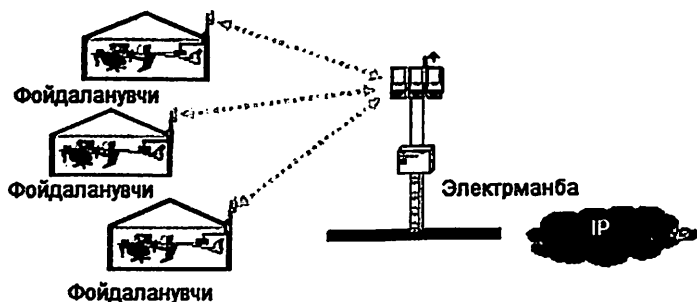
Уланиш тури	Усуна тури	Усуналар сон/абонент харакати тезлиги	“Хэндовер” ни қўллаб-қувватлаш	802.16-2004 стандарти	802.16а стандарти
Тургун уланиш	Ташқарида ва ичкарида жойлашган “хотспот” лар	Якка усуналар/ тургун абонент	Йуқ	Ҳа	Ҳа
Кўчма уланиш	Ичкарида жойлашган “хотспот” лар, портатив ШК лар учун РСМСИА-адаптерлар	Кўп сонли усуналар/ абонент тургун	Йуқ	Ҳа	Ҳа
Портатив уланиш	Портатив ШК лар учун РСМСИА-адаптерлар, кичик адаптерлар	Кўп сонли усуналар / пиёда тезлиги	Дағал “хэндовер”	Йуқ	Ҳа
Асосан мобил уланиш	Портатив ШК лар учун РСМСИА-адаптерлар, кичик адаптерлар, чўнтак компьютерлари, смартфонлар	Кўп сонли усуналар / кичик тезликда харакатланувчи транспорт воситаси	Дағал “хэндовер”	Йуқ	Ҳа
Тўлиқ мобил уланиш	Портатив ШК лар учун РСМСИА-адаптерлар, кичик адаптерлар, чўнтак компьютерлари, смартфонлар	Кўп сонли усуналар / катта тезликда харакатланувчи транспорт воситаси	Юмшоқ “хэндовер”	Йуқ	Ҳа

Бирор ҳудуддаги кўп сонли абонентларга кенг полосали симсиз маълумотлар узатиш хизматини тақдим этиш учун WiMAX таянч станциялари абонент усуналари билан “нуқта- кўп нуқта” топологияда алоқани амалга оширади (5.22-расм).

Бу чизма бўйича ТС WiMAX абоненти усуналари ёрдамида фойдаланувчилар билан боғланидилар, кейин сигнал Ethernet-кабель стандарти бўйича ёки тўғридан-тўғри аниқ компьютерга, ёки IEEE 802.11 (Wi-Fi) уланиш нуқтаси орқали қабул қилинади. Бу WiMAX орқали кабелли уланишдан симсиз уланишга ўтишда мавжуд ҳудуд ёки офис тизимидаги локал тармоқларнинг инфраструктурасини сақлаб қолиш имконини беради. Бундан ташқари компьютерлар уланиши учун стандарт технологиялардан фойдаланувчи тармоқларни ёйишни максимал даражада кенгайтириш имконини беради.

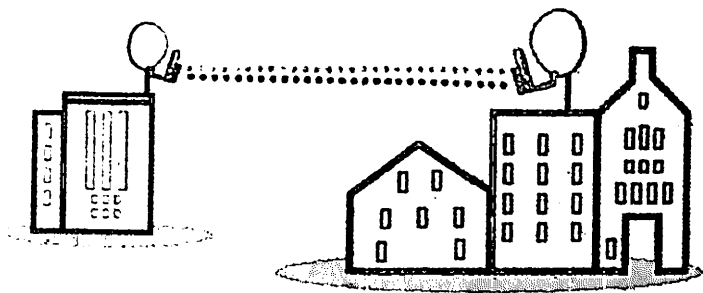


5.21-расм. WiMAX тармоғи топологияси



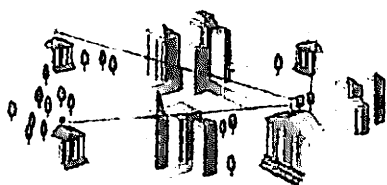
5.22-расм. «Нуқта-кўп нуқта» режимда WiMAX тармоғи топологияси

Узоқлаштирилган объектлар орасида кенг полосали симсиз алоқани ташкил қилиш учун «нуқта-нуқта» режимдан фойдаланилади (5.23-расм).

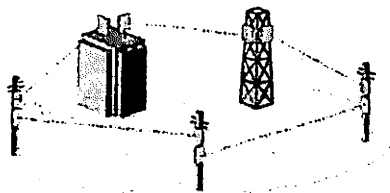


5.23-расм. “Нукта-нукта” режимидаги WiMAX тармоғининг топологияси

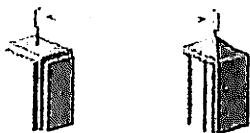
«Нукта-нукта» режимида турли тармоқ кўринишлари ва уларнинг комбинацияларидан фойдаланилади. 5.24-расмда WiMAX тизими учун қўлланилувчи турли кўринишдаги тармоқ топологиялари тасвирланган.



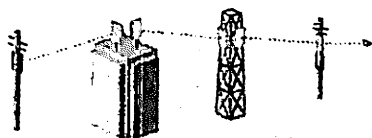
Юлдузсимон топология



Ҳалқа топология



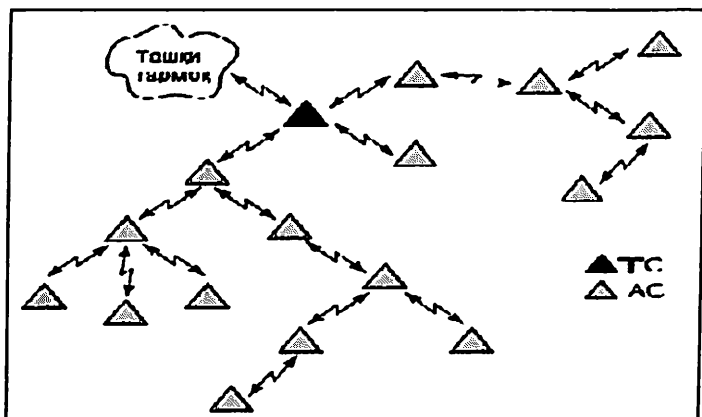
Симсиз кўприк



Чизиқли топология

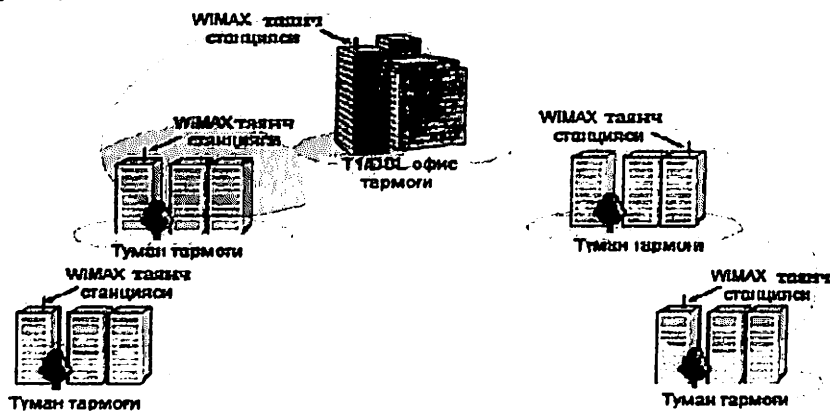
5.24-расм. “Нукта-нукта” режимидаги WiMAX тармоғининг кўринишлари

WiMAX тармоқларида шунингдек «mesh» режимида алоқа ташкил қилиш мумкин, бунда АУ тўғридан-тўғри бир-бири билан алоқани амалга оширади, таянч станцияси эса асосий тармоқлар инфраструктураси ва меш тармоқлари ўртасида коммутатор ҳисобланади. (5.25-расм). «mesh» режимини қўллаш натижасида тармоқнинг радиоқоплам зонаси юқори тезликда маълумот узатишни таъминлаш билан 50km гача ошади, бу ҳолда битта ТС нинг оддий ҳолдаги радиуси 5-10km ни ташкил этади.



5.25-расм. «Mesh» режимда WiMAX тармоғи топологияси

WiMAX тармоқлари «кўп нукта - кўп нукта» режимда қурилиши мумкин, шунингдек у «нукта-кўпнукта» режимини ҳам таъминлайди. (5.26-расм).



5.26-расм. «Кўп нукта - кўп нукта» режимдаги WiMAX тармоғининг топологияси

Бунда ТС локал трафикни ташкил қилиш учун радиотерминал ёки такрорлагич бўлиши мумкин. Маълумотлар оқими абонентга етиб боргунча, бир неча такрорлигичлардан ўтиши мумкин. Бу ҳолатда антенна масофадан созланадиган тор йўналишида сигнал узатувчи антенна бўлади. Такрорлагичлар алоқа қилинувчи нукталар орасида тўғридан-тўғри алоқа ўрнатиш имкони бўлмаган вазиятларда фўлланилади. Улар ТС дан бир ёки бир неча абонент ускуналарига сигнал узатади.

WiMAX тизимлари ускуналари ўз ичига абонент терминалларини, асосий тармоқ ускуналарини, тугунлараро каналларни ва такрорлагичларни олади.

Абонент ускуналари

WiMAX тармоқларида фойдаланиш учун абонент ускуналари турли ишлаб чиқарувчилар томонидан ишлаб чиқарилади ва бинолар ичида ва бинолар ташқарисида (ноутбук кабилар) жойлаштирилиши мумкин. Шунинг алоҳида таъкидлаш керак-ки, бинолар ичида жойлаштиришга мўлжалланган ва алоқа ўрнатилган касбий малака талаб қилмайдиган ускуналар ТС дан унча катта бўлмаган масофаларда ишлаш қобилиятига эга. Шунинг учун бинолар ичида ўрнатилган ускуналар тармоқ инфраструктурасини ривожлантиришда анча катта инвестиция талаб қилади, уларда ТС ларни кўпроқ қўллашга тўғри келади. «мобил WiMAX» нинг пайдо бўлиши билан унинг тармоқларида алоқани таъминловчи махсус телефон аппаратлари, мобил ускуналар ва компьютер ускуналари ишлаб чиқаришга катта эътибор қаратилди.

Ўзаро ишлаш имкониятлари ва ишлаш сифати

WiMAX технологияси катта сонли аъъанавий тизимлар, симли ёки симсиз тармоқлар билан алоқани таъминлаш мақсадида ишлаб чиқилган (тармоқлар IP га асосланган). Кўп ҳолларда бу архитектура мультимедияли IP-тизимларига (ёки IMS) асосланган бўлиб, тармоқлараро «роуминг» ни таъминлаш, 3G тармоқлари билан биргаликда ишлаш, IP даражасидаги тармоқларда алоқа сифати ва хизматлар тўпламини таъминлаш имконини беради. IP тармоқларига уланиш имконияти туфайли WiMAX технологияси бошқа тармоқларни кенгайтириш “чоксиз мобиллик ” принципи бўйича уларни қуриш имкониятини беради.

WiMAX технологияси симли тармоқ операторларига узоклаштирилган ҳудудларга уланиш учун “охириги мил” муаммоларини ҳал қилиш имкониятини беради, узок масофаларга кабель ётқизиш каби ортикча харажатларни камайтиради. IEEE 802.16e стандарти мобил алоқа операторлари харажатларини камайтиришни таклиф этади, мобил алоқа операторларига 2G ва 3G даражасидаги хизматларни, кенг полосали маълумот узатиш хизматларини ва энг замонавий рақобатлашувчи симсиз тармоқ хизматларини таъминлашни қўшишни таъминлайди. WiMAX тармоғини қуришнинг молиявий харажатлари аъъанавий сотали иккинчи ва учинчи авлод тармоқлариникидан камроқ бўлади, асосий харажатлар ТС станциялари инфратузилмасини яратиш ва қурилиш монтаж ишларини олиб бориш учун сарфланади. IP-протоколида қурилган WiMAX архитектураси кенг полосали мултимедияли иловалардан фойдаланишда энг яхши имкониятлар тақдим этади, шунингдек, IP-асосида қурилган мобил тармоқларда қўлланилувчи овозли ва қисқа хабарларни мобил узатишни таъминлайди.

5.4.4. WiMAX тармоқларини лойихалаштириш ва ташкил қилиш

2006 йил охирида IEEE 802.16е стандарти мобил профилини яратиш устида олиб борилган ишлар якунланди. Ҳозирги кунда стандарт радиоуланиш интерфейсларининг кўплаб турлари мавжуд, лекин айнан IEEE 802.16е стандартини ишлаб чиқишда куйидаги алгоритм ва ускуналардан кўллаш имконияти яратилган: адаптив антенна тизимлари - AAS ва муруккаб антенна тизимлари- MIMO, улар турли зичликда ташкил топган кўплаб қайта аксланувчи сигналларни ишлашни таъминлайди. WiMAX тизимларида йўналтириш диаграммаларини адаптив шакллантириш технологияси – Beamformingнинг қўлланилиши - (AAS элементи сифатида) тизимлар ўтказиш қобилиятини ошириш ва алоқа масофасини кенгайтириш ва интерференция даражасини пасайтириш имконини беради [50]. Бу макросот принципи бўйича тармоқларни қуриш ҳолатларида хизмат кўрсатиш майдонларининг кенгайишига олиб келади. Бошқа томондан, MIMO технологияси микро-, пико ва фемтотузилишларда ҳам ўтказиш қобилиятини оширишни таъминлайди. AAS ва MIMO технологияларининг биргаликда қўлланилиши бир-бирини тўлдирувчи сифатида маълумот узатиш тезлиги ва алоқа сифати бўйича етарлича устунлик олиш имконини беради. Бу технологияларни тўлиқ кўриб чиқамиз.

5.4.4.1. Йўналтириш диаграммасини адаптив шакллантириш технологиясининг қўлланилиши

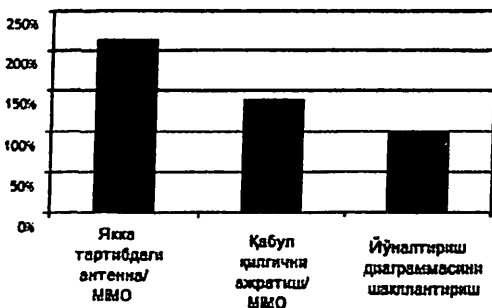
Йўналтириш диаграммасининг адаптив шакллантириш технологиясидан фойдаланишда (кейинчалик AAS) ТС антеннасининг электр майдони узоқ зонада АУ ҳолати ўзгарганида йўналтириш хусусиятларини ўзгартириш имкониятини АУ томонга йўналтирадиган тор йўналтирилган бош япроқча кўринишида шакллантирилади. Амалда бир сота таъсиридаги чегараларда кўп сонли абонентлар бўлганида кўп япроқчали диаграммаларни шакллантириш (япроқчалчалар ҳар бир абонентга ёки абонентлар гуруҳига йўналтирилади) амалга оширилади. Бунга вақт бўйича ва OFDM-элтувчи частоталар бўйича клиентларни ажратиш туфайли еришилади. Бундай кўп нурли диаграммани шакллантириш учун ТС таркибидаги алоҳида қабул қилгич-узаткичлар сигнални кўп элементли антенна панжараси орқали қабул қилади ва узатади (4 элементли антенна панжарасилари), бунда бундай панжаранинг ҳар бир элемент ҳар бир вақт momentiда бошқаларига нисбатан маълум фазавий сурилишга эга бўлади. Натижада таркибидаги нурлантиргичнинг йўналтириш диаграммаларини (ЙД) комбинацияланиши туфайли яхшиланган йўналтирилганлик хусусиятларига эга бўлган йиғинди диаграмма шакллантирилади (юқори кучайтириш коэффицентили торроқ бош япроқча). Ҳалақитлар манбалари йўналишида ЙДда нолинчи ташкил этувчилар шакллантирилади, бу ясталмайдиган йўналишли интерференцияни деярли тўлиқ сўндириш имкониятини беради.

Бинобарин, бу концепция ҳар иккала БСдан АУга ва АУдан БСга йўналишларда ишлайди. Бунда АУдан қабул қилинадиган сигналлар уларнинг жойлашган ўрнини аниқлаш учун ва кейин «пастга» каналда ЙДни шакллантириш учун ишлатилиши мумкин.

ЙДни шакллантириш ғояси янги ҳисобланмайди ва адаптив антенналар тизими ёки “интеллектуал антенналар” концепцияси бошқа радио тизимлар стандартларида кўп йиллардан буён ишлатиб келинмоқда. Бу технология асосан БСда ишлатилади ва охири фойдаланувчи қўрилмаларни сезиларли ўзгартирилишини талаб қилмайди. Шунга мос равишда WiMAX учун сертификациялаштирилган абонент қўрилмалари оператор қўрилмаларининг имкониятларини чеклаб қўймаслиги учун AAS технологиясини қўллаб қувватлаши кераклиги қарори қабул қилинди. ТС учун бундай имконият қўшимча, лекин мажбурий эмас ҳисобланади. AAS технологиясидан фойдаланишни мусбат томонлари қуйидагича.

Биринчидан, турли узаткичлар энергияси ва турли қабул қилгичлар сезгириклари тезроқ нурга концентрацияланади, у ҳолда ТС нинг таъсир этиши зонаси кенгайди. Бу ҳал қилувчи ва «юқорига» алоқа линиясига тегишли бўлади. 5.27-расмда ЙД ни шакллантирилишининг талаб қиладиган БСлар сонига таъсири келтирилган. Диаграммада кўришиб турибдики, бир хил қамраш зонасини таъминлаш учун битталиқ антеннали ТС дан фойдаланилганда ва ММО технологияси қўлланилганда AAS дан фойдаланилганлигига нисбатан 2.13 мартага кўп станциялар талаб қилинади. Фақат фазивий сурилган қабул қилгичлардан фойдаланилганда эса фарқ 1.39 марттани ташкил этади.

Станцияларнинг нисбий сони



5.27–расм. AAS дан фойдаланишга ТС сонининг боғлиқлиги

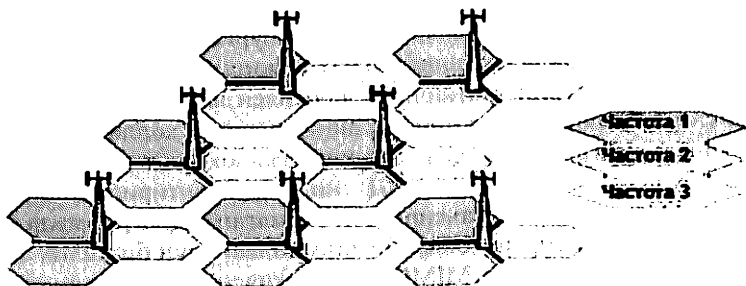
Шундай қилиб, сурилган қабул қилгичлардан ёки фақат ММО дан фойдаланиладиган тизимга таққослаганда AAS технологияси минимум 40% базивий станциялар сонини камайтирилишини таъминлайди.

Иккинчидан, сигнал энергияси фақат индивидуал абонентларга йўналтирилади, у ҳолда бу тармоқнинг қўшни секторларидаги бошқа абонентларга йўналтириладиган ёки қабул қилинадиган энергия миқдори

камаяди, шунга кўра сигнал – ҳалақит ҳолати сезиларли яхшиланади. Бу концепция ҳам «пастга», ҳам «юқорига» алоқа линияларида ишлайди.

Бошқа объектни кўиб чиқамиз ва унинг муҳимлигини баҳолаймиз. WiMAX радиотармоғи секторли архитектурали алоқа тармоқлари ҳисобланади. Ўхшаш кўшни ТС лар таъсир этиш зоналарида ўша бир частоталардан фойдаланилади.

WiMAX тармоқлар учун кўпинча 1:3 частоталардан такрорий фойдаланиш схемаси қўлланилади, бу ТС ларнинг учта секторли конфигурацияси ишлатилганда барча кўшни ТС лар секторларида ўша бир частоталар такрорий ишлатилишини билдиради (5.28 - расм).



5.28-расм. WiMAX тармоғининг секторли архитектураси

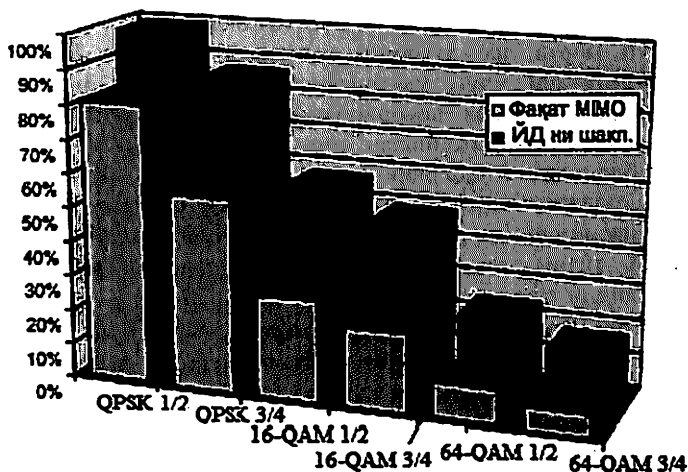
Бу эса ўз навбатида, радиотўлқинлар секторининг шартли чегараларидан ташқарида ҳам тарқалиши туфайли кўшни БСларга узатишга ҳалақитлар ҳосил қилишини билдиради. Бу айниқса ТС антенналари бинолар томлари сатҳидан юқорида жойлашганида ёки ТС ва АУ орасида фазовий бўшлиқ бўлганида критик ҳисобланади. Бундай ҳолларда каналлараро интерференция ўз ўрнига эга бўлади ва сигналнинг атрқалишига кучли таъсир этади.

Бунга қарши туриш учун WiMAX тизими АМС модуляция усулларини ва кодлаш схемаларини адаптив ўзгартирилишини таъминлайди. Масалан, QPSK $\frac{1}{2}$ модуляция+ҳалақитбардош кодлаш алоқа сифати бўйича яхши (аъло) натижаларни беради, лекин бунда маълумотларни узатиш тезлиги бўйича ютқизишга тўғри келади. Яъни ҳатто ёмон радиоалоқа шароитларида ҳам ишончли радиоалоқа таъминланади, лекин бунда каналнинг ўтказиш қобилияти камаяди. Адаптив антенна қўлланилмаганда бу схема АУ БСнинг бевосита яқинида бўлганида ёки CINR даражанинг идеал шароитларида ишлатилиши мумкин. Бунда БСнинг қувватини оширилиши ёрдам бермайди, аксинча ҳалақит беради, чунки бу зерда кўшни секторлардаги интерференция даражаси ортади.

5.29-расмда келтирилган схемадаги ААСли тизим MIMO технологияси қўлланилган фақат антенналарни фазовий сурилишини

таъминлайдиган ўхшаш йечим билан таққосланади. График хар ҳил модуляция ва кодлаш схемаларида қамраб олинидиган худудга боғлиқликни кўрсатади. Кўриниб турибдики, ААS технологиясининг афзаллиги яққол кўриниб турибди. Хатто, энг ишончли QPSK 1/2 схема ААSли тизим қамраб оладиган майдоннинг 80 % да барқарор иш қобилиятини таъминлайди. Қўшни БСлар миқдорини ўрнатиш вазиятни тубдан ўнгламайди, чунки ТС қўшимча ҳалақитларни юзага келтиради.

Шунингдек, ААS технологияси қўлланилиб қурилган макросотали архитектуралар ҳолатида фойдаланиш мумкин бўлган юқорироқ даражадаги бошқа схемалар ҳам бор. Улар спектрал самарадорликни сезиларли оширилишини таъминлайди, бу эса яқунда хар бир абонент учун маълумотларни узатиш тезлигини оширилишига ва ўша бир ўтказиш қобилиятида абонентлар сонини оширилишига олиб келади.



5.29-расм. Хар ҳил модуляция ва кодлаш схемалари турларида ААS ва ММО технологиялари қўлланилганда қамраб олинидиган худуд фоиизи

ААS технологиясини қўлланилишининг мобил абонентларли алоқа тизими ҳарактеристикаларига таъсири даражасини аниқлаш учун баҳолашни абонентлар ҳаракатланишининг турли тезликларида қўп нузли каналларнинг наъмунавий моделларидан фойдаланиб бажариш зарур. Натижада паст мобилликли абонентлар учун (яъни 30km/soat гача тезликда ҳаракатланадиган) алоқанинг ишчи ҳарактеристикалари ўзгармайди. Фақат АУнинг юқори ҳаракатланиш тезликларида ютуқ бир оз камаяди, лекин хатто бунда ҳам адаптив алгоритмлар ишлатилмайдиган тизимлардагига қараганда тизимнинг иш ҳарактеристикалари яхшироқ бўлади.

ААS теҳнологиясининг қўлланилиши афзалликларидан яна бири ҳалақитларни сўндиришли алгоритмларили ААS комбинацияланганида частоталардан такрорий фойдаланиш коэффицентини 1 қийматгача етиши

мумкин. Бу барча БСларда барча мавжуд частоталар полосаси ишлатилиши мумкинлигини билдиради. Бу тизимнинг спектрал самарадорлигини кўшимча ошириш, шунингдек, ҳатто частотта ресурси чекланганида WiMAX тармоғини ишлатилишига имкон беради.

Шундай қилиб, ТС таркибида ААS технологиясини ишлатилиши ўтказиш қобилиятини деярли 40 % га оширилишига олиб келади, бунда ҳар ыр каналнинг спектрал самарадорлиги 2,1 bit/sek/Gs/сектор га етади.

5.4.4.2. ММО технологиясининг қўлланиши

Юқорида таърифлаганимиздек, кўп узатгич ва кўп қабул қилгичли узатиш асосида (ММО) сигналларни қайта ишлаш анча истиқболли технология ҳисобланади. Бу технология кенг полосали симсиз тармоқларда соталарнинг ўтказиш қобилиятини ва маълумот узатиш тезлигини оширишни таъминлайди. Жуда зич жойлашган шаҳар шароитлари микросоталар, пикосоталар ёки фемтосоталарда ТС ва АУ орасида сигнални кўп марта акс эттириш имконини беради. Буни максимал даражада таъминлаш учун узатилаётган оқимларни бир вақтда кўп мартаба юқори даражада декорреляциялашни таъминлаш керак. Бу технология схемалари антенналар ичига жойлаштирилиши ёки турли турдаги кутбланиш антенналаридан фойдаланиши мумкин. ММОда сигнални декодерлаш оддий ҳолатда амалга оширилмагани сабабли абонент ускунасини ҳам мураккаблигини оширишни талаб этади.

WiMAX тизимларида ММО дан фойдаланиш куйидаги иккита асосий устунликни таъминлайди:

- **Алоқа ишончилигини ошириш.** ММО дан фойдаланувчи ва фойдаланмайдиган ускуналарни таққосланганда «юқорига» линияда ишлаш сифатининг яхшиланиши кузатилади. Радиотўлқинларнинг кучли сочилиши ҳолатларида маълумот узатишда анча ишончилик ва барқарорликни таъминлайди.

- **Каналнинг ўтказиш қобилиятини ошириш.** Юқори даражадаги модуляциялаш имкони мавжудлиги сабабли ва бир вақтда бир неча мустақил оқимларни узатиши сабабли ММО тизимлари битта антеннали схемалар билан таққосланганда, куйидагича ўтказиш қобилиятини оширишни таъминлайди: макросоталарда 30% гача ва микросоталарда 100% гача.

Шунингдек, ММО технологиясининг устунлиги сифатида аънавий антенна тизимларига қараганда ишчи характеристикаларининг барқарорлигини таъкидлаб ўтиш зарур. Абонент 3km/soat дан 120km/soat гача тезликларда ҳаракатланганда алоқанинг ёмонлашиш характерлари кузатилмайди. ММОли тизимларнинг жиддий камчилиги сигнални қайта акслантириш ҳолатларида сифат характеристикалари йўқолиши ҳисобланади.

5.4.4.3. AAS va MIMO технологияларини солиштириш

ТС хизмат кўрсатиш зонаси

MIMO учун икки қабул қилиб узатувчи антеннали элемент ва AAS учун 4 антеннали 4 та узатгичдан фойдаланиб, максимал хизмат кўрсатиш масофаси AAS ва MIMO технологияларини солиштириш қуйидаги натижаларни беради (5.13-жадвал).

5.13-жадвал

AAS ва MIMO технологияларидан фойдаланишда антенна тизимларининг кучайтириш коэффициенти қийматлари

	CPE алоҳида блок кўринишида		CPE PCMCIA платаси кўринишида	
	MIMO	Йўналтириш диаграммаларини шаклланиши	MIMO	Йўналтириш диаграммаларини шаклланиши
Тизимнинг кучайтириш коэффициенти	157,7 dB	162,7 dB	153,3dB	157,9dB

Жадвал натижалари «паства» ва «юқорига» алоқа линияларининг максимал ресурсларидан фойдаланганда, алоқа каналининг аниқ энергетик имконияти учун мос келади. жадвалдан кўринадики, AAS технологияси MIMO технологияси билан солиштирганда 5 dB га кучайтириш коэффициенти оширишни таъминлайди, бу назарий ҳолатда хизмат кўрсатиш масофаси 100% гача ортишига олиб келади.

Тармоқнинг ўтказиш полосаси

AAS технологияси бу кўрсаткич бўйича MIMO га қараганда юқори натижалар беради. Бир типдаги тармоқлар учун ҳар бир секторда частота спектридан фойдаланиш самарадорлик кўрсаткичлари қуйида келтирилган (5.14-жадвал).

Натижалар кўрсатадики, AAS технологиясидан фойдаланиш билан тармоқнинг хизмат кўрсатиш алоқа сифатини 90% гача оширишни таъминлаш мумкин.

MIMO технологияси микросотали тизимларда жуда юқори ўтказиш қобилиятини таъминлайди, лекин бунга абонент ускуналарини қўшимча мураккаблаштириш ҳисобига эришилади. Яна, эслатиб ўтиш керакки, ТС ва АУ бевосита кўриниш ҳолатларида MIMOли схема ёмон ишлайди.

AAS ва MIMO технологияларидан фойдаланишда тармоқ спектрал самарадорлик кўрсаткичлари

Схема	Сотанинг майдони бўйича ўрталаштирилган спектр самарадорлиги
Йўналтириш диаграммасини шакллантириш	2,1 bit/sek/Gs
MIMO	1,7 bit/sek/Gs
Йўналтириш диаграммасини шакллантириш + MIMO	2,5 bit/sek/Gs

Бу камчилик икки технологияни бирлаштириш билан тузатилиши мумкин, бу тармоқни ёйишнинг барча шартларида оптимал ечим олиш имконини беради. AAS технологиясининг қўлланилиши WiMAX тармоқларини бирламчи ёйиш даражасига мос келади. MIMO нинг қўшилиши микро ва пико сотали тармоқларда юқори абонентлар сифимини талаб қиладиган тармоқларда амалга оширилади. AAS ва MIMOнинг бирлашиши битта умумий антенна тизимлари ёрдамида таъминланиши мумкин, бу ҳолатда TC ни оддий дастурий таъминотни юклаш орқали модернизациялаш имконияти бўлади.

5.4.4.4. AAS ва MIMO технологияларини бирлаштириш имконияти

Ҳозирги кунда амалиётда қўшимча имкониятлар олиш учун AAS ва MIMO технологияларини бирлаштириш бўйича қилинган ишлар мавжуд. Лекин бунда бир неча қийинчиликлар юзага келади, масалан, антенналарни жойлаштириш бўйича талаблар. AAS технологиясини қўллаганда антенналар бир-бирига етарлича яқин жойлашиши керак (одатда, нурланувчи тўлқиннинг ярим узунлиги ҳисобида), антенна элементлари учун MIMO схемалар қўлланганда эса антенналар бир-биридан узоқликда жойлашиши лозим ёки қутбланишлари турлича бўлиши керак. Юқоридагиларга боғлиқ ҳолда, бу технологияларни икки жиҳат бўйича бирлаштириш имконияти мавжуд:

- бир-бирига яқин бўлган оптимал масофаларда AAS ли тизимларда MIMO ни қўллаш.
- Ҳар бир панел элементлари орасидаги масофа етарлича кичик бўлганда, икки элементли антенна панеллари жуфтликларини қўллаш.

Биринчи вариант алоқа каналлари энергетик имкониятларини оширишда катта фойда беради. Уни тадбиқ қилиш учун таянч станциялари стандарт тўрт элементли антенна панелларидан фойдаланиш ҳисоби етарлича осон ишлаб чиқилган бўлиши мумкин, улар тизимни кейинчалик алмаштиришни талаб қилмайди. «AAS+ММО» технологияларини бирлаштириш ТС да датураий таъминотни юклаш орқали амалга оширилиши мумкин.

Иккинчи вариантда энг яхши ишчи характеристикаларга эришилади. AAS ҳисоби бўйича олинган аниқ талабларга боғлиқ равишда 30%гача каналнинг ўтказиш қобилиятини ошириш мумкин. Бу схема мавжуд аппарат базасида етарлича оддий ҳолатда амалга оширилади.

5.4.4.5. WiMAX тармоқларини ёйишнинг қийинчиликлари

Тўртинчи авлод тармоқларига қўйиладиган талабларга мос равишда WiMAX тизимларига алоқа сеансларини қайта ишлаш динамик алгоритмларини таъминлаш, радиоэфир шартларига мос равишда сигнал қайта ишлаш усулларини соддалаштириш каби талаблар қўйилади.

Агар WiMAX тизимлари “сигнал-шовқин” нисбатининг юқори кўрсаткичига ва ишончли сигналга эга бўлса, юқори тезликли узатиш режимини танлаш мумкин, бунда сигнал қабул қилгичларда осон ва аниқ декодланади. Радиомўхитнинг ёмон параметрли ҳолатларида тизим анча чидамли чыгнал қайта ишлаш усулларини танлайди (масалан, OFDM-символидан фойдаланиб кам битли юқори қувватли сигнал чықариш), бу эса сигнални аниқроқ декодлаш имконини беради. Шунинг учун WiMAX тармоқларини ёйиш бир қатор мураккабликларга эга, бунда нафақат сигнал поғонаси ва CINR коэффициенлари ҳисобга олинади, шунингдек Абонент ускуналари учун канал ресурсларини динамик тақсимлаш механизмлари билан аниқланади. Қўплаб алоқа тизимлари 2-3 профилдаги алоқа сеансларига эга, шунингдек WiMAX тизимларида бир вақтда 7 тагача профил мавжуд бўлиши мумкин, лекин WiMAX тизимларида сигнални қайта ишлаш алгоритмлари бошқа симсиз тизимларга нисбатан анча мураккаброқ бўлиб туюлади.

5.5. WiMAX тармоқларида радиочастота днапазонидан фойдаланиш

5.5.1. WiMAX тизимлари учун радиочастоталарни тақсимлашда бутун дунё анъаналари

WiMAX бу кенг полосали симсиз уланиш (КСУ) тармоқларини яратиш учун ишлаб чиқилван технология бўлиб, улар анъавий сотали алоқа тизимлари ишлатмайдиган частоталар полосасида, яъни 2GGs дан юқори диапазонда ишлайди. WiMAX тармоқлари ишлатадиган частоталар спектри 2,3GGs ва 2,7GGs орасидаги диапазондаги полосани (Шимолий Америкада фойдаланиладиган), турғун хизматлар учун 3,3GGs ва 3,8GGs орасидаги диапазондаги полосани, шунингдек, Wi-Fi ва симсиз

телефонияда фойдаланиладиган “лицензияланмаган” 2,4GGs ва 5,8GGs полосани ўз ичига олади. Замонавий IEEE 802.16 стандартлари 2GGs ва 6GGs орсидаги бутун частоталар диапазонини қўллаб-қувватласада, WiMAX форуми 2,5GGs, 3,5GGs ва 5,8GGs поласаларда сертификатларни олишга йўналди. Қурилган WiMAX тармоқларининг асосий улуши 3,5GGs диапазонга тўғри келади, бу ерда бутун дунёда ўрнатилган ускуналарнинг 40 фоизига тўғри келди, кейин 5GGs; 5,2GGs; 5,4GGs; 5,6GGs; 5,8GGs диапазонлар келади. КСУ жаҳон бозорининг 85 фоизи атрофидани оператор тармоқлари ташкил этади, қолган қисм эса хусусий корпоратив тармоқларга тўғри келади [51].

Лекин, бунда WiMAX тизимлари учун алоҳида радиочастоталар полосаси ажратилмади. WiMAX учун 2,5GGs ёки 3,5GGs частоталар диапазонидаги “бириктирилган” спектр ҳақида гапирилганда ҳам бу диапазонларда частоталар полосасининг турлилиги эга бўлинади. Масалан, АҚШ, Канада ва Лотин Америкасининг бир неча давлатларида КСУ тизимлари учун спектр 2,3GGs поласаларда ва 2,5GGs ҳамда 2,7GGs орасидаги диапазонда рухсат этилади, у ҳолда Wi-Fi тизимлари ва симсиз телефонлар учун 2,4GGs полоса ишлатилаётгани боис, унга рухсат этилмайди. Частоталарни тақсимлашда 3,5GGs полосада ва 3,3GGs ва 3,8GGs орасидаги диапазонда мураккаб вазият вужудга келди.

Бош муаммо шундаки, кўзда тутилган поласалар турли тарқалиш характеристикали турли диапазонлар қисмларидан, узаткичлар қувватларига талаблар ва ускуналарни ишлатилиши имкониятларидан иборат. Вазият янада мураккаблашадик, кенг поласали симсиз уланишга тақсимланган спектр ҳатто алоҳида олинган континентларда ҳам деярли гармонлаштирилмаган. Лекин, ҳатто принципиал умумий спектр техник ажратилиши мумкин бўлган жойларда ҳам сиёсий режа муаммоси вужудга келади, чунки турли давлатларда радиочастота спектрини ишлатиш бўйича турли талаблар амал қилади. Натижада, халқаро ва миллий спектрдан фойдаланиш қондалари лабиринтида WiMAX тизимларини ривожлантириш учун йўлларни қўйиш осон бўлмайди ва катта кучларни талаб қилади.

5.5.2. WiMAX тизимлари учун спектрни ажратишга боғлиқ муаммолар

Аввал кўрсатилганидек, IEEE 802.16 стандарти спецификациялари кенг частоталар диапазонида ишчи поласаларни аниқлайди, шунинг учун WiMAX тизимлари назарий жиҳатдан 66 GGsдан кам бўлган исталган частоталарда ишлаши мумкин. WiMAX Форуми WiMAX тармоқларини қуриш учун учта 2,5GGs, 3,5GGs ва 5,8GGs частоталар оралиқларини аниқлаган бўлса-да, амалда бу масалада ҳозирча глобал қўламда бирлик йўқ. Бундай гармонлаштириш эса, аввадо охириги ускунанинг нархини камайтириш учун зарур. Мур қонуни дейиладиган қонун (ёки ишлаб чиқаришнинг иширилиши ҳисобига тежаш қонуни) WiMAX ускуналарини

ишлаб чиқариш (мобил терминаллар ёки ўрнатиладиган WiMAX-карталар) оммавий бўлиши учун махсулот бирлигининг таннархи камайтирилиши (в мос равишда охириги нарх) кераклигини назарда тутати. Бинобарин, нархни ташкилаштиришнинг бундай коцепцияси таянч ускуналар учун ҳам тўғри бўлади.

Шундай қилиб, дунёнинг турли регионларида WiMAX тармоқларини қуриш учун турли частоталар полосаларига рухсат этилади, лекин илғорлик WiMAX Форуми аниқлайдиган полосаларга берилади. Европада, масалан, WiMAX тизимлари учун сезиларли частота ресурслари 3,5GGs диапазонда рухсат этилади. АҚШда энг катта рухсат этиладиган полоса 3,5GGs диапазонда жойлашган ва эндиликда асосан Sprint Nextel ва Clearwire компаниялари орасида тақсимланган. Жанубий-Шарқий регионда кўриниб турибдики бошқа диапазонларга ҳам рухсат этилсада, 2,3GGs диапазон оммавий бўлиб қолади. Ҳиндистон ва Индонезияда 2,5GGs ва 3,3GGs диапазонлардаги полосалар ишлатилади, Покистоннинг миллий WiMAX оператори эса 3,5GGs диапазонда ишлайди.

Аналог телевидение диапазони (700MGs) WiMAX тармоқларини қуриш учун рухсат этилиши мумкин, лекин, биринчидан, тўлиқ рақамли телевидениега ўтилишни кутиш зарур, иккинчидан, бу диапазон учун бошқа технологиялар ҳам даъвогарлик қилмоқда. 2008 йилда АҚШда бу спетрни тақсимлаш бўйича аукцион ўтказилди ва натижада спетрнинг энг катта улушлари Verizon Wireless ва AT&T компанияларга ажратилди. Ва бу ҳар икала компаниялар бевосита WiMAX тизимларига рақобатда бўлган LTE тармоқларини қуришда ўзларининг истакларини билдиришди. Еврокомиссия эса, WiMAX ни қўшганда симсиз алоқа тизимлари учун 500-800MGs диапазондаги спетрни қайта тақсимлаш масаласини кўриб чиқмоқда. Европада энг истиқболли 770-862MGs полоса ҳисобланади, у биринчи навбатда аналог телеузатишда бўшатилади. Шунингдек, Евроиттифок WiMAX технологиялари ҳам улар қаторига қирадиган HSPA ва EVDO технологиялари каби истиқболли кенг полосали тармоқлари учун 900MGs диапазондан фойдаланишни маъқуллади.

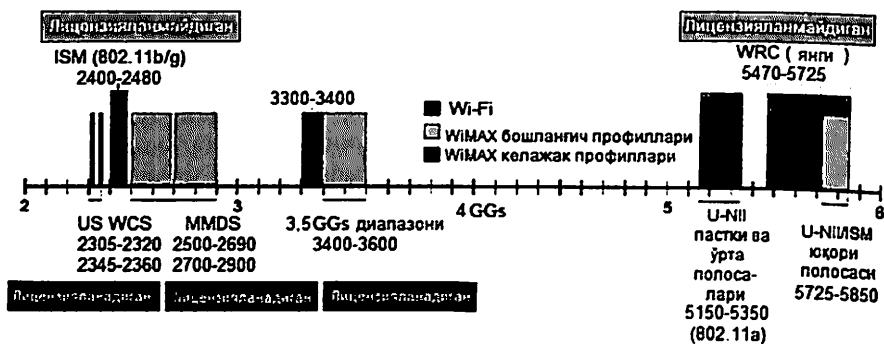
Таъкидлаш керакки 2007 йилнинг октябрида ҲТИ радиоалоқа Сектори (ITU-R) қабул қилган WiMAX технологияларининг IMT-2000 стандартлар оиласига киритилиши ҳақидаги қарори шунга олиб келадики, «мобил WiMAX» ускуналари (хусусан, бутунги кунда 2,5-2,69GGs диапазонда) янада унификацияланади ва уни IMT-2000 дастурини тан оладиган дунёнинг исталган мамлакатида ишлатиш мумкин бўлади.

5.5.3. Турли частоталар диапазонларида ва дунёнинг турли давлатларида спетрнинг тақсимланишининг ўзига хос хусусиятлари

5.30–расмда 2 дан 6 GGsгача диапазонда КСУ тизимлари учун рухсат этиладиган частоталар полосаси келтирилган.

Расмдан кўриниб турибдики, полосалар лицензияланадиган ва лицензияланмайдиган сифатида идентификацияланган.

Лицензияланадиган дейилганда қоидага кўра, ростловчига бу частоталар полосасини ишлатгани учун тўлайдиган фойдаланувчиларга (операторларга, ташкилотларга, компанияларга) “қатъий бириктириладиган” частоталар полосаси тушунилади. Лицензияланмайдиган полосалар бепул асосда исталган фойдаланувчи учун рухсат этиладиган полосалар ҳисобланади. IEEE 802.11a/b/g/n (Wi-Fi) стандартлари, масалан, лицензияланмайдиган полосаларга асосланган ва бунда у бу частоталар доирасида рақобат қиладиган технологиялардан етарлича “ҳимояланган” бўлиб қолади. Бунда шунини таъкидлаймизки, “лицензияланмайдиган частоталар” тушунчаси етарлича ўзига хос ва фақат Европанинг бир неча давлатлари ва АҚШ учун характерлидир. Бошқа давлатларда эса, барча фойдаланишга рухсат этиладиган частоталар лицензияланади.



5.30–расм. 2GGsдан 6 GGsgача диапазонда КСУ тизимлари учун рухсат этиладиган частоталар полосаси

Лицензияланмайдиган частоталар полосаси (қаерда уларга рухсат этилса) аввало, КСУ хизматлари унча катта бўмаган компания-провайдерлари учун ўзига тортади, чунки улар тармоқларни қуришда вақтни ва маблағни тежайди. Сўнгги ҳисобда, бу охириги фойдаланувчига ҳаражатларни камайтиради ва кенг полосали уланишнинг альтернатив симли узатиш хизматларига рақобатбардош бўлиб қолади.

Лицензияланмайдиган спектр айниқса АҚШда ўзига тортган, чунки у ерда 2GGs дан 6GGs гача диапазондаги лицензияланадиган частоталардаги камчиликлар синалмоқда. Бошқа томондан, лицензияланадиган частоталар полосасига “эга” бўлган йирик операторлар “VIP- синф” каби хизматларни тақдим этиши мумкин, шунинг учун уларнинг хизматлари ишончли ва сифатли бўлади ва бу уларнинг рақобатли афзаллигини оширишга хизмат қилади.

3,5GGs диапазони

Бу диапазон лицензияланадиган частоталар полсаси диапазонига киради ва Европа, Лотин Америкаси ва Осиёнинг кўплаб давлатларида КСУ тармоқларини куриш учун рухсат этилади. Диапазон глобал масштабда “ўта юкланган” КСУ тармоқлари ҳисобланади. Умумий 300MGs (3,3GGs дан 3,6GGs гача) полса симсиз WAҒ-тармоқлар учун магистрал линияларни куриш бўйича кенг имкониятларни таъминлайди. Бу диапазоннинг бундай оммавийлиги кўп сонли ускуналарнинг пайдо бўлиши ва WiMAX тизимларининг ишлаб чиқарувчилари ва операторлари орасида соғлом рақобатни вужудга келишига олиб келади. 5.31-расмда КСУ тизимлари учун 3,5GGs диапазондаги частоталар полсаси рухсат этиладиган дунёнинг турли регионларидаги давлатларнинг рўйхати келтирилган.

Дунёда 3,5GGs диапазонининг кенг ишлатилиши

ЕМЕА

Чехия Республикаси, Франция, германия, венгрия, Греция, ирландия, Норвегия, Польша, Румьния, Россия, Испания, Швейцария, Буюк Британия, Исроил, Турция, Нигерия, Мали

Америка

Аргентина, Бразилия, Канада, Чили, Колумбия, Коста-Рика, Эквадор, Мексика, Перу, Уругвай, Венесуэла

Осиё тинч океан давлатлари

Австралия, Хитой, Индонезия, Хиндистон (3,3 – 3,4GGs), Япония, Малайзия, Янги Зеландия, Тайвань, Хитой 3400-3430 ва 3500-3530 бошланиши учун Гонг-Конг ва Сингапурда диапазон сунъий йўлдошли алоқа учун ажратилган

5.31-расм. Дунёнинг хар хал давлатларида КСУ тизимлари учун 3,5GGs диапазонда рухсат этиладиган частоталар полсаси

5GGs диапазони

Бу диапазонда дунёнинг турли регионларида КСУ тизимлари учун ажратилган частоталар полсаларининг бир-бирларини ёпиб қолиш ҳолати вужудга келди. Бутундунё радиоалоқа конференцияси томонидан КСУ тармоқлари ишлатилиши учун кўшимча 5470MGs – 5725MGs диапазондаги частоталар полсаси ажратилган. Бевосита WiMAX тармоқлари диапазоннинг юқори полсасида, яъни 5725MGs – 5850MGs частоталардаги диапазонда қурилмоқда, чунки бу ерда рақобат қиладиган технологиялар ва интерференциялар кам (масалан, Wi-Fi тармоқлардан), ташқи антеннанинг рухсат этиладиган қуввати эса 2-4Вт ни (бу

диапазоннинг пастки ва ўрта полосаларидаги 1Вт дан фаркли равишда) ташкил этади. Wi-Fi тармоқлари U-НП⁴⁵ пастки ва ўрта полосаларида ишлайди, улар КСУ тармоқлари учун ўз самарадорлигини кўрсатди.

Бу диапазоннинг “лицензияланмайдиган” характери сабабли операторлар тармоқлари учун уни компаниялар босқичма-босқич ўзлаштириши кўзда тутилмоқда (магистрал тармоқлардан ташқари).

Бошқа томондан, 4G даражадаги хизматларни тақдим этишга қодир бўлган частоталар полосасига (яъни, 10MGs ва 20MGs кенгликдаги полосалар) айнан юқори диапазонларда (яъни, 2GGsдан юқори) рухсат этилади. Шунинг учун фақат паст частотали диапазонларни ўзлаштириш тармоқларнинг ўтказиш қобилияти бўйича талабларни қониқтира олмайди ва амалда турли диапазонлардаги частоталар полосаларини ишлатадиган комбинацияланган тармоқлар ўз ўрнига эга бўлиши кутилмоқда.

2,5GGs диапазони

Бу диапазонда КСУ тармоқларини қуриш учун АҚШ алоҳида қизиқиш билдирилмоқда ва бир неча нимдиапазонлар ажратилмоқда.

WCS нимдиапазони – бу WCS (ингл. *Wireless Communications Service*) симсиз алоқа хизматлари учун ажратилган 15MGs кенгликдаги 2305MGs – 2320MGs ва 2345MGs – 2360MGs диапазонлардаги частоталар полосалари жуфтлигидир.

Бу полосалар орасидаги 25MGs интервал КСУ тармоқлари учун потенциал интерференция муаммоси бўлган рақамли радиоэшиттиришга (англ. *Digital Audio Radio Service, DARS*) ажратилган. Бу диапазонда оширилган спектрал самарадорликли технологиялар маваффақиятли бўлиши мумкин. Улар OFDM-мультиплекслаш ҳамда адаптив модуляция ва кодлаш асосидаги технологиялар ҳисобланади. АҚШда бу диапазондаги асосий лицензия эгалари Verizon, BellSouth, AT&T ва Metricom компаниялари ҳисобланади.

ISM нимдиапазони - ISM (ингл. *Industrial, Scientific and Medical services*) саноат, илмий ва медицина иловалари учун полоса, АҚШда ажратилган ва лицензияланмайдиган ҳисобланади. Нимдиапазон КСУ тармоқларини қуриш учун 2400...2480MGs полосада тахминан 80MGs кенгликка эга. Бу полосада WLAN синфидаги тармоқлар учун яхши “яроқликли” намоён қилган Wi-Fi тармоқлари ишлайди. Wi-Fi ва WiMAX тармоқларининг ўзаро таъсирлашиш имкониятларини аниқлайдиган бўлажак WiMAX профиллари бу икки технологияни бирлаштира олиши мумкин ва бунинг ҳисобига КСУ хизматларининг қоплаш зонасини кенгайтириши мумкин.

MMDS нимдиапазони 2500MGs дан 2690MGs гача диапазондаги (IMT кенгайтириш диапазони) 6MGs дан кенгликдаги 31 та канални ўз ичига олади ва шунингдек, ўз таркибида қайд этилаган интерактив

⁴⁵ АҚШ да U-НП (ингл. *Unlicensed – National Information Infrastructure*) лицензияланмайдиган частоталар бўйича миллий ахборот инфратузилмаси 5GGs диапазонда учта бош частоталар полосасини пастки ва ўрта полосалар (5150MGs – 5350MGs) ва (5470MGs – 5725MGs) ва юқори полосани (5725MGs – 5850MGs) аниқлади.

телевидение (ингл. *Instructional Television Fixed Service, ITFS*) хизматларига эга бўлади. Дастлаб бу спектр етарлича ўзлаштирилмаган эди, чунки телевизион йўналишга эга бўлган ва АҚШ да КСУ тармоқларини ривожлантириш учун ҳам ажратилган. Бу диапазонда асосий частота фойдаланувчилари Sprint ва Nextel компаниялари ҳисобланади. Яқин бир неча йилларда таҳлилчилар бу диапазонда КСУ бозорининг ўсишини айтишмоқда.

WiMAX Форуми ўз қизиқишларини лицензияланадиган 3,5GGs полосаларга ва лицензияланмайдиган U-НП 5GGs юқори полосаларига йўналтирмоқда. Бу ерда интерференция сатҳи паст, сигналнинг рухсат этиладиган қувватлари юқори ва утказиш қобилияти кенг бўлади. Бу бутун дунёда WiMAX стандартининг юқори ўсиш суъратларини таъминлайди, шунинг учун бу полосалар потенциалроқ бозорлар бўлади ва ишлаб чиқаришнинг оширилиши ҳисобига иқтисод қилишни таъминлашга қодир бўлади.

WiMAX учун қўшимча частоталар полосалари

WiMAX тармоқларини ва бошқа КСУ тизимларини қуриш учун дунёнинг турли регионларида ҳозирги вақтда қўшимча частоталар полосалари кўриб чиқилмоқда. Масалан, Японияда 4,9GGs – 5,0GGs полоса 2007 йилдан рухсат этилган, 5,47GGs – 5,725GGs полоса эса келажак учун заҳира сифатида кўриб чиқилмоқда. Бунда биринчи полосада ТС ни қуриш учун лицензиялаш талаб қилинади ва 5MGs, 10MGs ва 20MGs кенгликлардаги полосалар қўллаб-қувватланади, шу билан бир вақтда иккинчи полосада лицензиялаш талаб қилинмаслиги мумкин ва 20MGs кенгликдаги полоса қўллаб-қувватланади. Шимолий Америка бозори дастлаб жамот хавфсизлиги хизматлари учун полоса ҳисобланган 4,9GGs диапазонда WiMAX тармоқларини қуришга қизиқиш билдирмоқда. Ҳатто WiMAX тармоқлари ва шунга ўхшаш хизматлар учун пастроқ 800MGs лицензияланадиган диапазон ва 915MGs лицензияланмайдиган каби частоталар полосаларидан фойдаланишга қандайдир қизиқиш бор. WiMAX стандарти товушларни ва катта ҳажмлардаги маълумотларни узатиш хизматларидаги, мобилликда фойдаланувчиларнинг эҳтиёжларини қониқтиришга қодир узоқ кутилган спектрал самарадорликка ва юқори ўтказиш қобилиятига олиб келишга “ваъда” бермоқда. Бу тўғри кўриниш бўлмаганида ишлашга қодирлиги туфайли кўпроқ фойдаланувчиларни жалб қилишга, қуришга кам харажатларга катта алоқа масофасига (узоқлигига) ва стандартлаштириш ҳамда ўзаро таъсирлашиш ҳисобига арзон абонент ускуналари бозорига оммавий кириб боришга имкон беради. Кўриниб турибдики, бу кенг полосали мобилликка ва 4G тизимларни шакллантиришга йўл ҳисобланади.

Европада WiMAX тизимлари учун частоталарнинг ажратилиши (1-район)

2008 йилнинг майида ЕИ комиссияси Евроиттифоқ аъзолари давлатларида 3400 - 3800MGs диапазондаги радиочастота спектрдан

фойдаланишни гармонлаштириш бўйича қарор қабул қилди. Қабул қилинган қарор европа WiMAX-операторларига позитив таъсирга эга бўлди, улардан кўпчилиги спектрнинг айнан бу полосасидаги частотани ишлатади. Бу қарорга мувофиқ, Евроиттифоққа қирадиган давлатлар “турғун, кўчма ва мобил радиоалоқа тармоқларини” яратиш учун бу полосадаги частоталарни ишлатишга рухсат бериши керак [52].

Таъкидлаймизки, ҳозирги вақтда Европада 3,5GGs диапазон учун деярли барча лицензиялар мобиллик бўйича чекланишга эга ва факт турғун симсиз уланиш ёки чекланган мобилликли (“портатив”) тармоқларни яратишга ҳуқуқ беради. Бу частоталар полосаларида мобил КСУ хизматларини тақдим этиш имконияти ҳозирча чекланган давлатларда мавжуд, қатор давлатлар эса энди мос уланишни берилишини режалаштирмоқда. ЕИ комиссияси технологияларни ва хизматларни танлашга нисбатан бетарафлик принципини ишлатади ва радиоспектрдан фойдаланишнинг ихчам имкониятларини тақдим этилишига хайрихоҳ, демак, операторлар кўп ҳолларда мобил режимли уланиш тармоқларини яратади.

Ўзбекистонда WiMAX тизимлари учун частоталарнинг ажратилиши

Ўзбекистонда WiMAX кенг полосали симсиз тармоқларни жорий этиш жараёни фаол қўллаб-қувватланмоқда ва улар учун частоталарни ажратиш имконияти деярли барча учта 2,5GGs, 3,5GGs ва 5GGs диапазонларда кўзда тутилган. 5.15-жадвалда Ўзбекистонда 2010 йилнинг охири ҳолатигача частоталарга рухсат этилиши даражаси келтирилган.

2,5GGs диапазон (2,3GGs - 2,7GGs кенг интервалда) ҳозир айниқса шаҳарларда ўта юкланган, чунки унда ҳозирда Wi-Fi хот-спотлар ишламоқда ва LTE кенг полосали тармоқларни (яъни, 10MGs ва 20MGs полосаларли) куриш режалаштирилмоқда. Шунинг учун WiMAX тармоқларини куриш учун 3,4GGs - 3,6GGs диапазон маъқулроқ бўлиб қолади, этиладиган ускуналар пайдо бўлганидан кейин эса 5GGs диапазон ўзлаштириши мумкин. Умуман олганда шунини тасдиқлаш мумкинки, Ўзбекистонда WiMAX тармоқларини куриш учун частоталарнинг ажратилиши муаммоси ҳал этиладиган масала.

Бунга қарамадан 2011 йилнинг бошига келиб мамлакатда ҳам турғун, ҳам «мобил WiMAX» хизматларини тақдим этадиган фақат битта оператор (EVO савдо маркали Super iMax компанияси) ишламоқда. 2010 йилнинг охирига келиб EVO 9 та вилоятни қамраб олди ва ўз абонентлари сонини 13000 кишигача етказди. EVO тармоғи иккита WiMAX стандартидан (IEEE 802.16d ва IEEE 802.16e), иккита частота диапазонидан (мос равишда 3,5GGs ва 2,3GGs) фойдаланадиган комбинацияланган тармоқ намунаси ҳисобланади.

Янги WiMAX тармоқларига келсак, 2011 йилнинг бошига келиб, 2010 йилда WiMAX тармоқларини куриш ва тизимларини ишлатиш лицензиясига эга бўлган 2 та сотали оператор ва 4 та Интернет-провайдер бундай тармоқларни куриш режалари ҳақида билдирмади.

Ўзбекистонда WiMAX тизимлари учун частоталарга рухсат этилиши

Диапазон	Рухсат этилиши даражаси
2,3GGs	WiMAX тармоғи қурилган (IEEE 802.16e стандарти)
2,4GGs	Wi-Fi (b/g/n) тармоқлари фойдаланиши учун ажратилган
2,5GGs	Ҳаракатдаги алоқа фуқаро хизматлари фойдаланиши мумкин.
3,5GGs	Ҳаракатдаги фуқаро хизматлари иккиламчи асосда фойдаланиши мумкин. WiMAX тармоғи қурилган (IEEE 802.16d стандарти)
5,15GGs - 5,25GGs	Ҳаракатдаги фуқаро хизматлари иккиламчи асосда фойдаланиши мумкин.
5,25GGs - 5,35GGs	Wi-Fi (a/n) тармоқлари фойдаланиши учун ажратилган
5,7GGs - 5,8GGs	Умуман олганда ҳукуматга мўлжалланган диапазон, лекин унда қўшма фойдаланиш учун полосалар мавжуд

Бу ерда таъкидлаш жоизки, умумий фойдаланишдаги алоқа тармоқлари (уларга WiMAX тармоқлари ҳам киради) доимо уларнинг тижорий фойдалилигига асосланади. Мос равишда операторларга, аввало, шаҳарлар ва зич жойлашган ҳудудлар қизиқарли (манфаатли). Лекин йирик шаҳарларда WiMAX технологияси симли уланиш технологиялари ва сотали алоқа тизимлари томонидан катта рақобатга дучор бўлади. Шунинг учун кўплаб мутахассислар WiMAX технологиясига симли уланиш ва мобил алоқа мураккаб ёки мумкин бўлмаган жойларда қўлланилишини тавсия қилиш билан аъъанавий симли уланиш ва мобил тармоқларга тўлдириш ёки заҳира ролини беришмоқда.

Умумий фойдаланишдаги тармоқлардан фарқли равишда корпоратив алоқа тармоқлари ҳамма вақтларда ҳам зич жойлашган ҳудудларда (энергетиклар шаҳарчаси, нефтгаз мажмуаси корхоналари ишчилари ва бошқалар) қурилавермайди. Олисдаги жойлардаги радиочастота спектри нисбатан бўш ва 20 MGs гача кенгликдаги частоталар полосасини ажратиш ажратиш мумкин. Шунинг учун йирик шаҳарлардан олисдаги корпоратив тармоқлардан WiMAX технологиялари имкониятларининг максимал ишлатилишини кутиш керак. Шу билан бирга, бундай тармоқлар дастлаб асосий қўлланилиши бўйича ўзига етарли (қўшимча бўлмаган) тарзда қурилиши мумкин.

WiMAX технологияларининг қўлланилишига олиб келадиган корпоратив тармоқларнинг яна бир ўзига хос хусусиятларидан бири кўплаб корпорацияларда абонент терминалларни сотиб олиш учун молявий воситаларнинг мавжудлиги ҳисобланади (ҳозирда умумий фойдаланишдаги алоқа тармоқлари абонетлари учун терминаллар нархи жуда қimmat бўлган ҳолда).

Бошқа давлатлардаги ҳолат

Биз учун аввало, яқин хориж давлатлари, биринчи навбатда Россия тажрибаси қизиқарли бўлади. Россияда КСУ тизимларини ривожлантириш учун ҳам учта 2,5GGs, 3,5GGs, 5,8GGs частоталар диапазонлари муҳокама қилинмоқда [53].

2,4GGs диапазони (аниқроғи 2,400GGs - 2,483GGs) шаҳарларда кучли банд ва шаҳар тармоқлари бошқа диапазонларда қурилмоқда. WiMAX тармоқлари учун бу диапазондан фойдаланиш деярли мумкин эмас.

3,4GGs - 3,6GGs диапазонда ҳам муаммолар мавжуд, чунки у сунъий йўлдошли алоқа учун актив ишлатилади. Ўтказилган тадқиқотлар маълумотларни узатишга диапазондан фойдаланиш бўйича чекланишни ўрнатди ва ҳозир бу диапазонда фақат 500MGs полосага рухсат этилади. Бунда сунъий йўлдошли сегмент ортади, чунки у орқали бошқа алоқа турларига етарли бўлмаган Россиянинг регионлари билан стратегик алоқа амалга оширилади.

Шундай қилиб, 5GGs (5,250GGs; 5,250GGs – 5,350GGs ва 5,725GGs – 5,850GGs нимдиапазонлар) Россияда энг ўзлаштириладиган диапазон. Айнан шу ерда бу полосаларда бошқа хизматлар ҳам (масалан, 5,725GGs – 5,850GGs диапазондан радиореле станциялари фойдаланади) ишлашига қарамасдан КСУ тармоқлари сонининг максимал ўсиши кутилмоқда. 6GGs (5,900GGs – 6,400GGs) диапазонни ўзлаштириш секин кетмоқда.

Маълумки, тўғри кўриниш зонасидан ташқарида алоқани таъминлашга йўналтирилган 802.16d стандартига нисбатан илгари сурилган ёндашув қизиқарли ҳисобланади. Бу стандарт учун ҳозир ишчи частотанинг пастки чегараларини 1800MGs гача ёки ҳатто 700MGs гача камайтириш кўриб чиқилмоқда, шунингдек, канал ичида нимдиапазонни танлаш имконияти қўлланилган, яъни АУ кичик нимканалларда ишлаши мумкин (1,25MGs минимал кенглик).

5.5. WiMAX тармоқларида ахборот хавфсизлиги масалалари

IEEE 802.16 стандартига асосланган WiMAX кенг полосали симсиз уланиш тармоқлари бугунги кунда истқболли, тез ривожланаётган алоқа технологияси ҳисобланади. Уларда Wi-Fi (IEEE 802.11 стандарт) тармоқларидаги каби симли тармоқ лардагига қараганда нисбатан осон ҳужум қилиниши сабабли ахборот хавфсизлиги масаласи ўткир бўлиб турибди. Шунинг учун WiMAX тизимларида хавфсизлик масалалари ва уларни мумкин ечимларини аниқлаш олдиндан биринчи даражада турди.

Wi-Fi тармоқларини ишлатишдан тажрибаларидан олинган сабоқлар IEEE 802.16 стандартида ҳисобга олинди ва стандартнинг таълуқли спецификацияларида ёритиб ўтилди [54].

Ахборот хавфсизлиги деганда ахборот муносабатлари субъектларига, шу жумладан, ахборотлар эгаларига ва фойдаланувчиларга, қўллаб-қувватловчи инфратузилмага тузатиб бўлмас зарар етказиши мумкин бўлган табиий ёки сунъий характердаги ўйланган ва тасодифий таъсирлардан ахборотларнинг ва қувватловчи инфратузилма ҳимояланганлиги тушунилади.

Қандай тармоқда бўлса ҳам ахборот хавфсизлиги тизимини режалти ташкил этиш учун хавфсизлик мезонларини аниқлаш зарур. Бу мезонлар рисклар ва таҳдидлар асосида, шунингдек ҳам тармоқ операторлари, ҳам фойдаланувчиларининг хавфсизлиги талабларини ҳисобга олиб аниқланади. Ахборот тизимларидан фойдаланишга боғлиқ субъектлар манфаатлари спектрини умумий кўринишда қуйидаги тоифаларга бўлиш мумкин: фойдалана олишликни (доступность) таъминлаш, ахборот ресурсларининг ва қўллаб-қувватловчи инфратузилманинг бутунлиги ва конфиденциаллиги.

- Фойдалана олишлик бу маъқул вақтда талаб қилинадиган ахборот хизматини олиш имконияти.
- Бутунлик деганда ахборотнинг актуаллиги ва зидма-зид эмаслиги, бузилишдан ва санкцияланмаган ўзгартиришдан ҳимояланганлиги тушунилади.
- Конфиденциаллик бу ахборотга санкцияланмаган уланишдан ҳимоя.

Хусусий ҳолда тармоқ оператори шунга амин бўлишни истайдики, унинг тармоғига уланган фойдаланувчилар ва ускуналар, ҳақиқатан ҳам, уларми (тўғри ҳужумларни ёки фойдаланувчиларнинг алмаштирилишини олдини олиш учун); абонентлар рухсат этилган ўша сервисларга уланиш олишяпти; улар ишлатган хизматга ўрнатилган ҳақни тўлаяптими ва ҳоказо. Ўз навбатида, фойдаланувчи эса шунга амин бўлишни истайдики, унинг хусусий ахбороти ҳимояланган; у қабул қилаётган ва узатаётган маълумотларнинг бутунлиги бузилмаган; у ёзилган сервисларга доимо уланишни олиши мумкин ва ҳоказо.

Шунингдек, тармоқнинг хавфсизлиги учун рисклар ва таҳдидлар тузилмасини тушуниш, хавфсизлик тизимини адекват шакллантириш ва янги рисклар ва таҳдидлардан бу тизимни назорат қилиш ва коррекциялаш бўйича тадбирларни режалаштириш учун тармоқнинг заифлигини ўз вақтида топиш жуда муҳим. Хавфсизлик дастури ва сиёсатини ишлаб чиқиш рискларни таҳлил қилишдан бошланади, ўз навбатида, унинг биринчи босқичи энг кўп тарқалган ҳужумлар ва таҳдидлар билан танишиш ҳисобланади.

WiMAX технологияларининг қўлланилишига олиб келадиган корпоратив тармоқларнинг яна бир ўзига хос хусусиятларидан бири кўплаб корпорацияларда абонент терминалларни сотиб олиш учун молиявий воситаларнинг мавжудлиги ҳисобланади (ҳозирда умумий фойдаланишдаги алоқа тармоқлари абонетлари учун терминаллар нархи жуда қиммат бўлган ҳолда).

Бошқа давлатлардаги ҳолат

Биз учун аввало, яқин хориж давлатлари, биринчи навбатда Россия тажрибаси қизиқарли бўлади. Россияда КСУ тизимларини ривожлантириш учун ҳам учта 2,5GGs, 3,5GGs, 5,8GGs частоталар диапазонлари муҳокама қилинмоқда [53].

2,4GGs диапазони (аниқроғи 2,400GGs - 2,483GGs) шаҳарларда кучли банд ва шаҳар тармоқлари бошқа диапазонларда қурилмоқда. WiMAX тармоқлари учун бу диапазондан фойдаланиш деярли мумкин эмас.

3,4GGs - 3,6GGs диапазонда ҳам муаммолар мавжуд, чунки у сунъий йўлдошли алоқа учун актив ишлатилади. Ўтказилган тадқиқотлар маълумотларни узатишга диапазондан фойдаланиш бўйича чекланишни ўрнатди ва ҳозир бу диапазонда фақат 500MGs полосага рухсат этилади. Бунда сунъий йўлдошли сегмент ортади, чунки у орқали бошқа алоқа турларига етарли бўлмаган Россиянинг регионлари билан стратегик алоқа амалга оширилади.

Шундай қилиб, 5GGs (5,250GGs; 5,250GGs – 5,350GGs ва 5,725GGs – 5,850GGs нимдиапазонлар) Россияда энг ўзлаштирилаётган диапазон. Айнан шу ерда бу полосаларда бошқа хизматлар ҳам (масалан, 5,725GGs – 5,850GGs диапазондан радиореле станциялари фойдаланади) ишлашига қарамасдан КСУ тармоқлари сонининг максимал ўсиши кутилмоқда. 6GGs (5,900GGs – 6,400GGs) диапазонни ўзлаштириш секин кетмоқда.

Маълумки, тўғри кўриниш зонасидан ташқарида алоқани таъминлашга йўналтирилган 802.16d стандартига нисбатан илгари сурилган ёндашув қизиқарли ҳисобланади. Бу стандарт учун ҳозир ишчи частотанинг пастки чегараларини 1800MGs гача ёки ҳатто 700MGs гача камайтириш кўриб чиқилмоқда, шунингдек, канал ичида нимдиапазонни танлаш имконияти қўлланилган, яъни АУ кичик нимканалларда ишлаши мумкин (1,25MGs минимал кенглик).

5.5. WiMAX тармоқларида ахборот хавфсизлиги масалалари

IEEE 802.16 стандартига асосланган WiMAX кенг полосали симсиз уланиш тармоқлари бугунги кунда истқболли, тез ривожланаётган алоқа технологияси ҳисобланади. Уларда Wi-Fi (IEEE 802.11 стандарт) тармоқларидаги каби симли тармоқ лардагига қараганда нисбатан осон ҳужум қилиниши сабабли ахборот хавфсизлиги масаласи ўткир бўлиб турибди. Шунинг учун WiMAX тизимларида хавфсизлик масалалари ва уларни мумкин ечимларини аниқлаш олдиндан биринчи даражада турди.

Wi-Fi тармоқларини ишлатишдан тажрибаларидан олинган сабоқлар IEEE 802.16 стандартида ҳисобга олинди ва стандартнинг таълуқли спецификацияларида ёритиб ўтилди [54].

Ахборот хавфсизлиги деганда ахборот муносабатлари субъектларига, шу жумладан, ахборотлар эгаларига ва фойдаланувчиларга, қўллаб-қувватловчи инфратузилмага тузатиб бўлмас зарар етказиши мумкин бўлган табиий ёки сунъий характердаги ўйланган ва тасодифий таъсирлардан ахборотларнинг ва қувватловчи инфратузилма ҳимояланганлиги тушунилади.

Қандай тармоқда бўлса ҳам ахборот хавфсизлиги тизимини режали ташкил этиш учун хавфсизлик мезонларини аниқлаш зарур. Бу мезонлар рисклар ва таҳдидлар асосида, шунингдек ҳам тармоқ операторлари, ҳам фойдаланувчиларининг хавфсизлиги талабларини ҳисобга олиб аниқланади. Ахборот тизимларидан фойдаланишга боғлиқ субъектлар манфаатлари спектрини умумий кўринишда қуйидаги тоифаларга бўлиш мумкин: фойдалана олишликни (доступность) таъминлаш, ахборот ресурсларининг ва қўллаб-қувватловчи инфратузилманинг бутунлиги ва конфиденциаллиги.

- Фойдалана олишлик бу маъқул вақтда талаб қилинадиган ахборот хизматини олиш имконияти.

- Бутунлик деганда ахборотнинг актуаллиги ва зидма-зид эмаслиги, бузилишдан ва санкцияланмаган ўзгартиришдан ҳимояланганлиги тушунилади.

- Конфиденциаллик бу ахборотга санкцияланмаган уланишдан ҳимоя.

Хусусий ҳолда тармоқ оператори шунга амин бўлишни истайдик, унинг тармоғига уланган фойдаланувчилар ва ускуналар, ҳақиқатан ҳам, уларни (тўғри ҳужумларни ёки фойдаланувчиларнинг алмаштирилишини олдини олиш учун); абонентлар рухсат этилган ўша сервисларга уланиш олишяпти; улар ишлатган хизматга ўрнатилган ҳақни тўлаяптими ва ҳоказо. Ўз навбатида, фойдаланувчи эса шунга амин бўлишни истайдик, унинг хусусий ахбороти ҳимояланган; у қабул қилаётган ва узатаётган маълумотларнинг бутунлиги бузилмаган; у ёзилган сервисларга доимо уланишни олиши мумкин ва ҳоказо.

Шунингдек, тармоқнинг хавфсизлиги учун рисклар ва таҳдидлар тузилмасини тушуниш, хавфсизлик тизимини адекват шакллантириш ва янги рисклар ва таҳдидлардан бу тизимни назорат қилиш ва коррекциялаш бўйича тадбирларни режалаштириш учун тармоқнинг заифлигини ўз вақтида топиш жуда муҳим. Хавфсизлик дастури ва сиёсатини ишлаб чиқиш рискларни таҳлил қилишдан бошланади, ўз навбатида, унинг биринчи босқичи энг кўп тарқалган ҳужумлар ва таҳдидлар билан танишиш ҳисобланади.

5.6.1. IEEE 802.16. стандартидаги заифликлар ва ҳужумлар турлари

Симсиз WiMAX тармоқларида тармоққа турли ҳужумлар бўлиши мумкин ва турли заифликлар аниқланган бўлиб, уларнинг куйидаги гуруҳларга бирлаштириш мумкин [55]:

- Радиосигнални бўғилиши каби физик даражадаги ҳужумлар уранишни бузилишига (ингл. *Denial of Service*) ёки кадрларни кўчкисимон чапланишига (ингл. *Flooding*) олиб келади ва АУ аккумуляторининг ресурсини тугатиш мақсадига эга бўлади. Бундай ҳужумларга қарши туриш жуда қийин ва бутунги кунга келиб бундай ҳужумлар билан самарали кураш усуллари ўйлаб чиқилмаган.

- “Киши ўртада” (ингл. *Man In The Middle, MITM*) туридаги ҳужумларга кирадиган таянч станциянинг алмаштирилиши. Заифлик телекоммуникация тармоқлари учун аънавий бўлган аутентификация жараёнининг ассиметриклигига боғлиқ (яъни, ТС ни эмас абонентни аутентификациялаш бажарилади).

- Авторизация калитларини генерациялашнинг тасодифий бўлмаган характери.

- Шифрлаш калитларининг такроран ишлатилиши имконияти. Бу ҳужум шифрлаш калитининг индексини майдонининг кичик ўлчамига асосланган.

- Шифрлашнинг кучсиз алгоритмларидан (DES каби) фойдаланиш. Калит ҳаётининг етарлича катта вақтида ва хабарлар интенсив алмаштирилганда шифрни бузиш мумкин бўлиб қолади ва хавфсизликка реал таҳдид бўлади.

5.6.2. IEEE 802.16 стандартида хавфсизлик тизимини ташкил этиш

Ахборот хавфсизлиги тизимини ташкил этиш масаласини тармоқнинг турли даражаларида кўриб чиқамиз. Тармоқнинг хавфсизлиги функцияси 5.16-жадвалда келтирганидек, турли МВОС моделлари даражаларига киритилиши мумкин

5.16-жадвал

ОТЎ моделининг турли даражаларида хавфсизлик функциялари

ОТЎМ даражаси	Хавфсизлик функциялари
Иловалар даражаси	Рақамли имзолар, рақамли сертификатлар, «р2р» сквоз шифрлаш
Транспорт даражаси	TLS протоколлар
Тармоқ даражаси	IPSec, AAA, RADIUS инфратузилмалар
Канал даражаси	AES, PKI, X.509
Физик даража	WiMAX PHY

IEEE 802.16e аниқлаган хавфсизлик нимдаражаси фақат каналли даражада мавжуд. Каналли даражани аутентификациялаш ва авторизация тармоққа фақат қонуний ҳуқуқи бор абонентларга уланишни таъминлайди. Каналли даражани шифрлаш хусусий ахборотни бутунлигини ва конфиденциаллигини таъминлайди ва трафикни ушлаб олинишидан ҳимоя қилади

Тармоқ даражаси воситалари тармоқ филтрлари (яъни, файрволлар) ва AAA-серверлардан фойдаланиш орқали ҳимояни таъминлайди. AAA функциялари учун энг кенг қўлланиладиган протокол RADIUS протоколи ҳисобланади. WiMAX тармоқ архитектурасида бу технологиялар «роуминг» функциясини ишлатиш учун фойдаланилади.

Транспорт даражаси ва иловалар даражаси тармоқ оператори, сервис-провайдер ёки охириги фойдаланувчини ўзининг истагига кўра қўшимча ҳимоя чораларини таъминлайди.

WiMAX тизими каналли даражасида ва қисқача тармоқ даражасида бажариладиган хавфсизлик функцияларини атрофлича кўриб чиқамиз.

Канал даражасида хавфсизлик функциялари

Каналли даража хавфсизлиги алгоритмлари АУ ва ТС орасида IEEE 801.16e интерфейси орқали амалга ошириладиган муҳим аутентификациялаш, авторизация ва шифрлаш функцияларини бажаради. Бу функцияларни хавфсизлик уюшмасидан (ассоциациясидан) тушунчасини тушунтиришдан бошлаб атрофлича кўриб чиқамиз.

Хавфсизлик уюшмаси

Хавфсизлик уюшмаси - SA (ингл. *Security Association*) WiMAX радио уланиш тармоғи орқали ҳимояланган уланишни ушлаб туриш учун ТС ва унга уланган бир ёки бир неча АУ лар орасида ажратилган ҳимояланган ахборотлар тўплами сифатида аниқланади.

SA хавфсизлик уюшмаси икки турга бўлинади:

I. ASA (ингл. *Authorization Security Association*) - авторизация учун хавфсизлик уюшмаси.

II. DSA (ингл. *Data Security Association*) – маълумотлар учун хавфсизлик уюшмаси.

I. ASA авторизация учун хавфсизлик уюшмаси ТС ва АУ учун бир вақтда ишлатилади, яъни ТС ва АУ ни бир ASA ажратиб туради. ТС ASA ни кейинги DSA ни кофигурациялаш учун ишлатади.

II. DSA маълумотлар учун хавфсизлик уюшмаси уч турга бўлинади:

- бирламчи DSA (ингл. *Primary DSA*);
- статик DSA (ингл. *Static DSA*);
- динамик DSA (ингл. *Dynamic DSA*).

Бирламчи DSA АУ га инициализация жараёни вақтида (яъни, бирламчи аутентификациялаш ва муаллифиришда) ўрнатилади. Абонент ускунаси муваффақиятли инициализациялангандан кейин ТС унга статик DSA ни тақдим этади. Динамик DSA маълумотлар оқимлари учун зарурат бўйича ўрнатилади ва ўчирилади. Ҳар бир АУ ҳар бир вақт даврида бир неча маълумотлар оқимларига ва мос равишда бир неча динамик DSA

ларга эга бўлиши мумкин. АУ ни авторизацияда таянч станция мос DSA лар сўраладиган сервислар турлари билан мослигига ишонади.

Аутентификация

Аутентификация ахборотни жўнатувчи ва олувчининг шахсини тасдиқлаш воситаси сифатида хизмат қилади. IEEE 802.16e стандартида PKM (ингл. *Privacy and Key Management*) калитларни бошқариш ва конфиденциаллиги протоколи қўлланган. У қуйидаги учта турдаги аутентификацияни қўллаб-қувватлайди:

- RSA (яратувчиларнинг инглизча фамилияларидан *Rivest, Shamir u Adleman*) очик калитли криптографик алгоритмига асосланган аутентификация, рақамли сертификатларни, X.509 протоколни ва бевосита RSA- шифрлашни ишлатади;

- кенгайтириладиган EAP (ингл. *Extensible Authentication Protocol*) протоколга асосланган аутентификация. Опционал қўлланилади:

- EAP протоколи қўлланилганидан кейин RSA алгоритми ишлатилишига асосланган аутентификация.

PKM протоколи авторизация калити (МК) дейиладиган умумий калитни TC ва АУ орасига ўрнатади. TC ва АУ орасида умумий МК ўрнатилиши биланоқ, калитларни шифрлаш калити (КШК) фойдаланишдан чиқарилади ва трафикни шифрлаш калитларини (ТШК) кейинги алмаштирилишида шифрлаш учун қўлланилади. Аутентификация очик калитларни алмаштириш протоколидан фойдаланиш йўли билан ишлатилади, бунда фақат аутентификация эмас, шифрлаш калитларини яратиш ҳам таъминланади. Очик калитларни алмаштириш схемаларида ҳар бир қатнашувчи очик ва хусусий (ёпик) калитларга эга бўлиши керак. Очик калит барчага маълум, хусусий калит эса махфий сақланади.

RSA алгоритмига асосланган аутентификацияда TC АУ ни уни ишлаб чиқарувчиси яратган X.509 протоколи улкан рақамли сертификати бўйича аутентификациялайди. Бу сертификат АУ очик калити ва унинг MAC-манзилидан ташкил топган. МК га зарурат бўлганда АУ ўз рақамли сертификатини TC га юборади, TC сертификатни текширади ва ҳақиқийлиги тасдиқланса, МК ни шифрлаш учун текширилган очик калитни қайта АУ га узатади. RSA-аутентификациядан фойдаланадиган барча таянч станциялар заводда ўрнатилган хусусий/очик калитлар жуфтлигига (ёки бу калитларни динамик генерациялаш учун алгоритмга) ва X.509 рақамли сертификатга эга бўлади.

EAP протоколига асосланган аутентификациядан фойдаланишда АУ оператор улкан фактори (омили), масалан SIM-карта орқали ёки юқорида баён этилганидек, X.509 рақамли сертификат орқали аутентификацияланади. EAP аутентификациялаш протоколи симсиз тармоқ инфратузилмаси элементларини ва фойдаланувчиларини шифрлаш калитларини динамик генерациялаш имкониятили марказлаштирилган аутентификацияни қўллаб-қувватлайди.

Аутентификациялаштириш усулини танлаш қуйидаги тарзда оператор томонидан EAP протоколени танлашга боғлиқ:

- EAP-AKA (ингл. *Authentication and Key Agreement*) – калитларни аутентификациялаш ва мослаштириш, SIM-карталардан фойдаланишга асосланган;

- EAP-TLS (ингл. *Transport Layer Security*) – транспорт даражасидаги хавфсизлик, X.509 рақамли сертификатлари асосида аутентификациялаш учун фойдаланилади;

- EAP-TTLS (ингл. *Tunneled Transport Layer Security*) – транспорт даражасидаги тунеллаштирилишли хавфсизлик, MS-CHAPv2 (ингл. *Microsoft-Challenge Handshake Authentication Protocol*) протоколидан фойдаланишга асосланган.

Кейин ТС мос абонентга (ва АУ га) хизматларни қўяди ва мос равишда абонентга рухсат этилган хизматлар рўйхатини аниқлайди. Шундай қилиб, КА орқали алмаштириш билан ТС абонентни ва унинг учун рухсат этилган хизматларни идентификациялайди.

Аутентификация икки турда мавжуд:

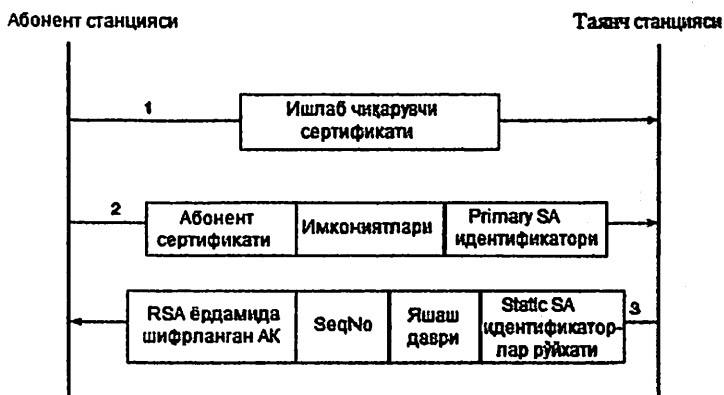
- бир томонлама аутентификация, бунда ТС фақат АУ ни аутентификациялайди;

- икки томонлама аутентификация, ҳам ТС, ҳам АУ бир-бирларини аутентификациялайди.

WiMAX тизимлари учун мажбурий талаб бир томонлама аутентификацияни ишлатиш ҳисобланади. Лекин, бунда тажрибалар шунни кўрсатдики, икки томонлама аутентификация тармоқ хавфсизлиги даражасини сезиларли оширади.

Авторизация

Аутентификациялаш босқичидан кейин авторизация босқичи бошланади. АУ таянч станцияга авторизацияга сўров (ингл. *Authorisation Request*) жўнатади. У МК авторизация калити ёки SAID (ингл. *SA Identification*) хавфсизлик уюшмасини идентификациялашга сўров бўлиши мумкин (5.32-расмга қаранг).



5.32-расм. IEEE 802.16 стандартидаги авторизация жараёни

1. АУ уни ишлаб чиқарувчининг Х.509-сертификатига эга сўровни жўнатади. Одатда бу сертификат фақат ишончли ишлаб чиқарувчилар АУ ларини авторизация учун ТС ни созлаш мумкин бўлсада, у ҳеч қанақасига ишлатилмаяпти.

2. Биринчи хабардан кейинок, АУ ўзининг Х.509-сертификати, унинг криптографик имкониятлари ва бирламчи DSA индикаторидан ташкил топган хабарни жўнатади.

3. ТС АУ нинг сертификати бўйича мос сервисларни тақдим этиш учун муаллифлаштирилганлигини аниқлайди (AAA серверни сўраш билан). Мусбат натижа бўлганида ТС АУ га авторизация жавобини (ингл. *Authorization Reply*) юборади. Бу жавоб шифрланган МК, бу МК нинг кетма-кет номери (ингл. *SeqNo*), унинг ҳаёт вақти, шунингдек, абонент муаллифлаштирилган статик DSA (SAID) идентификаторлар рўйхатидан ташкил топади.

Бинобарин, биринчи авторизация жараёнидан кейин AAA-сервер ТС орқали даврий равишда АУ ни такрорий авторизация жараёнини ўтказида.

Аутентификациялаш ва авторизация жараёнлари узунлиги 160 битга тенг бўлган МК авторизация калитидан фойдаланади.

Калитни шифрлаш калити (КШК) бевосита МК дан шакллантирилади, унинг узунлиги 128 битни ташкил этади ва у фақат МК ни шифрланган узатиш учун фойдаланилади. Трафикни шифрлаш учун трафикни шифрлаш калити (ТШК) талаб қилинади, у шифрлаш калити сифатида КШК ишлатиладиган ТШК ни шифрлаш алгоритмидан фойдаланишли тасодифий кетма-кетлик сифатида ТС га генерацияланади.

Трафикни шифрлаш

Трафикни шифрлаш учун IEEE 802.16 стандарти маълумотлар блокли шифрлар блокли уланиш режимида DES алгоритмидан фойдаланади. Лекин таъкидлаймизки, ҳозирги вақтда DES алгоритми етарли хавфсиз ҳисобланмайди ва шунинг учун IEEE 802.16е стандартига AES алгоритми қўшилган. Бу алгоритмларни атрофлича кўриб чиқамиз.

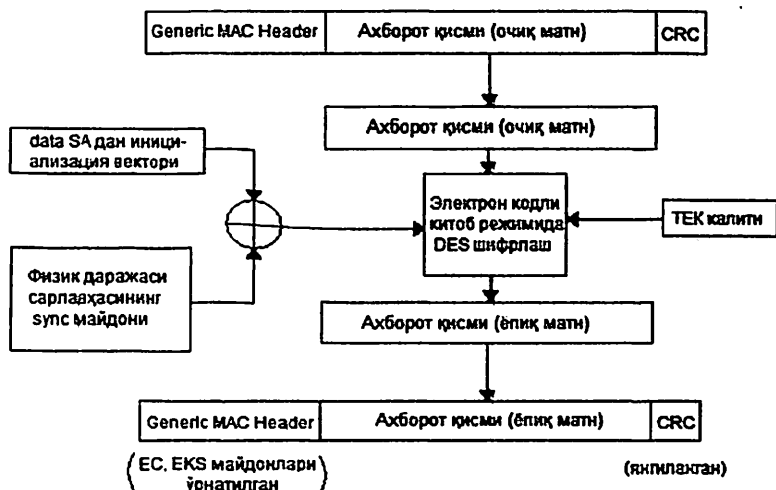
DES шифрлаш алгоритми

DES (ингл. *Data Encryption Standard*) – IBM компанияси томонидан ишлаб чиқилган ва АҚШ ҳукумати томонидан 1977 йилда расмий стандарт (FIPS 46-3) сифатида тасдиқланган блок шифрлаш симметрик алгоритми. DES алгоритми 64 битдан битдан блоklarни ва Фейстел тармоғининг 16-цикли тузилмасидан фойдаланади. Шифрлаш учун 56 бит узунликдаги калит ишлатилади. Агар хабарнинг ҳажми 64 битдан ортиқ бўлса (одатда бўлиб туради), унда у 64 битдан блоklarга бўлинади, кейин эса маълум тарзда бирлаштирилади. Бундай бирлаштириш қуйидаги тўртта усуллардан бири орқали амалга оширилади:

- Электрон кодли китоб усули (ингл. *Electronic Code Book, ECB*);
- Шифрлар блокининг уланиш усули (ингл. *Cipher Block Chaining, CBC*);
- x-битли шифрланган тескари алоқа усули (ингл. *Cipher FeedBack, CFB-x*);

- чиқиш тескари алоқа усули (ингл. *Output FeedBack, OFB*).

DES да маълумотларни шифрлаш жараёнини қуйидаги тарзда бўлиб ўтади (5.33-расм).



5.33-расм. DES да маълумотларни шифрлаш жараёни

DSA хавфсизлик уюшмасидан инициализациялаш вектори (ингл. *Initialization Vector, IV*) ва PHY-кадр сарлаҳасининг синхронлаштириш майдони 2 модул бўйича (инкор қилувчи “ЁКИ” операцияси (ингл. *XOR*)) битлаб қўшилади ва CBC шифрлар блоки уланиш режимида DES алгоритмини инициализациялаш учун узатилади. Шунингдек, DES схемаси киришига ТПК қалит (ингл. *ТЕК*) ва хабарнинг очиқ матни берилади. Бунда MAC-даража сарлаҳасида (ингл. *Generic MAC Header, GMH*) ЕС майдонда (от англ. *Encryption Control*) бир ўрнатилади, чунки маълумотлар шифрланган, икки битли EKS (ингл. *Encryption Key Sequence*) майдонда эса бунда фойдаланилган ТПК қалит туради. CRC кадри тугаганидан кейин, агар у бўлса, шифрланган матн остида ўзгаради.

AES шифрлаш алгоритми

AES (ингл. *Advanced Encryption Standard*) – 128 бит ўлчамли блоklar ва 128/192/256 бит узунликдаги қалитлардан фойдаланадиган, шунингдек, Рейндал (*Rijndael*) алгоритми сифатида маълум бўлган блокли шифрлашнинг симметрик алгоритми. AES алгоритми яхши тестланган ва ҳозирги вақтда симметрик шифрлашнинг энг кенг тарқалган алгоритмларидан бири ҳисобланади. Мисол учун, алгоритм АҚШ ҳукумати томонидан шифрлаш стандарти сифатида қабул қилинган ва Intel компанияси томонидан Intel® Core™ процессорлар оиласига киритилган.

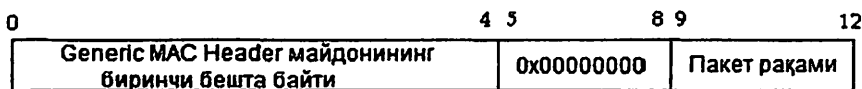
802.16е стандарти қуйидаги тўртта усуллардан бири қўлланиладиган AES алгоритмидан фойдаланишни аниқлайди:

- шифрлар блокнинг уланиш усули – CBC;
- ҳисоблагичнинг шифрлаш усули (ингл. *Counter Encryption, CTR*);

• CCM (ингл. *Counter Encryption with Cipher Block Chaining message authentication code*) шифрлар блокнинг уланиш усули орқали олинган аутентификация коди билан ҳисоблагичнинг шифрлаш усули. CTR усулидан фарқли равишда бу ерда шифрланган хабарнинг ҳақиқийлигини текшириш имконияти мавжуд.

- ТШК трафикнинг калитларини шифрлаш учун фойдаланиладиган ECB электрон кодли китоб усули.

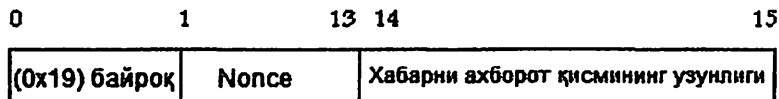
Такомиллаштирилганроқ сифатида CCM усули қўлланиладиган AES режимини кўриб чиқамиз. Шифрлаш жараёни бир неча босқичларда бўлиб ўтади. Фойдали ахборотни шифрлаш учун дастлаб узатувчи станция ҳар бир пакетга 12-байтли *Nonce* кетма-кетлигини генерациялайди (5.34-расм).



5.34-расм. *Nonce* кетма кетлиги

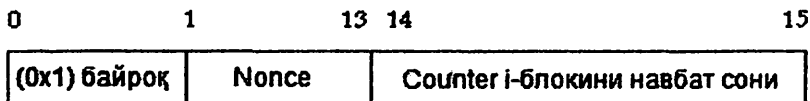
Nonce кетма-кетлигининг биринчи 5 та байти GMN кадрининг бошланиши ҳисобланади. Кейин нолли қийматларга эга бўлган 4 та захираланган байт келади. Кейин бу DSA хавфсизлик уюшмасида PN пакетнинг 4 байтли номери (ингл. *Packet Number*) келади. PN қиймат янги DSA ёки янги ТШК ўрнатилганда 1 га тенг қўйилади.

Кейин *Nonce* кетма-кетлиги қўлланилиб CBC ва CTR блоklar шакллантирилади. CBC блоки 0001100 қийматга эга бўлган бир байтли байроқчага, *Nonce* кетма-кетлигига ва хабарнинг ахборот қисмининг узунлигини кўрсатадиган майдондан ташкил топган (5.35-расм).



5.35-расм. CBC блоки

CTR блоки 0000001 қийматга эга бўлган бир байтли байроқчага, *Nonce* кетма-кетлигига ва CTR блокнинг *i* номеридан иборат майдондан ташкил топган (5.36-расм).



5.36-расм. CBR блоки

i номер 0 дан n гача ўзгариши мумкин, бу ерда n – бутун хабарни ва хабарни аутентификациялаш коди MAC-кодни (ингл. *Message Authentication Code*) қамраш учун зарур бўлган CTR блоклар сони.

Кейин MAC-код яратилади, бунинг учун хабарнинг ахборот қисми бошланишига IV инициализациялаш вектори ўрнига бошланғич (нолинчи) CBC блок қўйиладиган модификацияланган CBC усулидан фойдаланилади (5.37-расм).

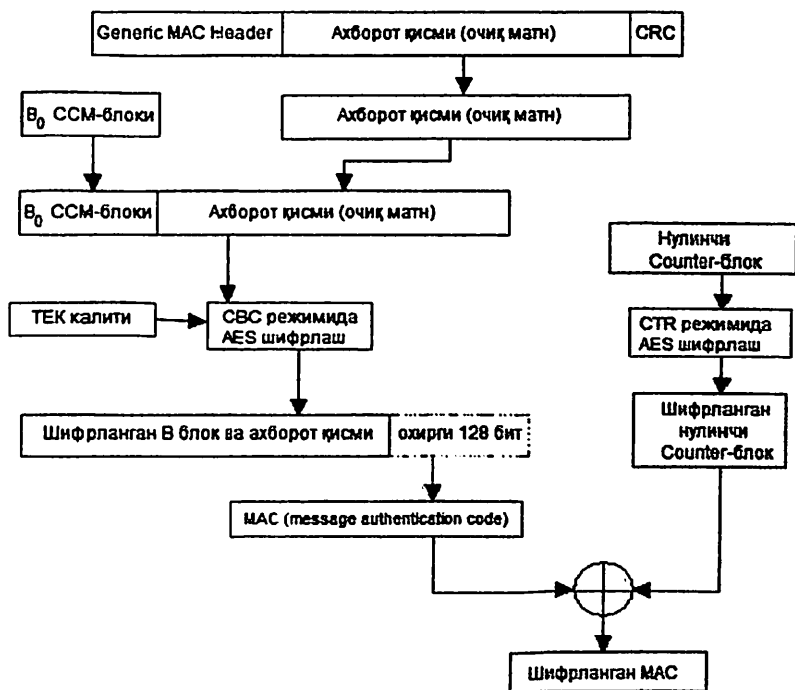
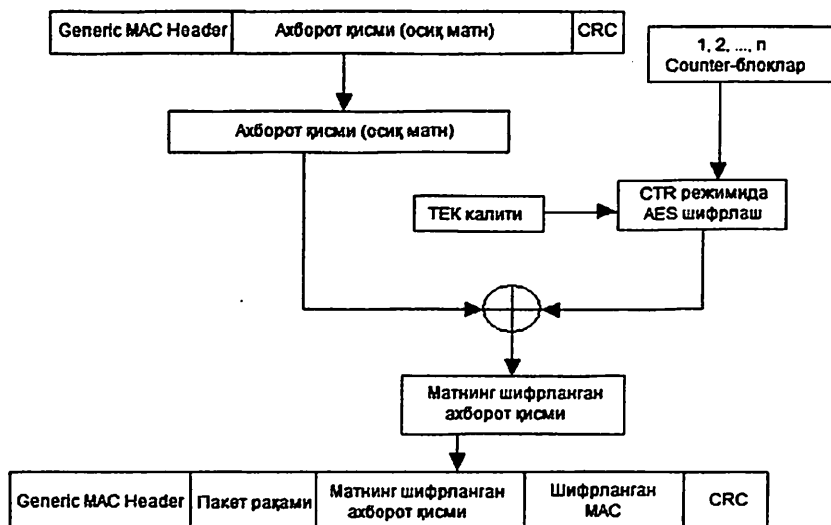


Рис. 5.37. AES - CCM режимда MAC-код яратиш ва шифрлаш

Кейин бу жуфтлик CBC усули ва ТПК калити қўлланиладиган AES алгоритми билан шифрланади. Шифрланган матннинг охириги 128 бити MAC-код сифатида олинади. Кейин MAC-код AES-CTR режимда шифрланган бошланғич (нолинчи) CTR блок билан (ёки Counter-блок билан) “XOR” қўшишга олиб келинади.

Яқунда қолган CTR блоклардан ҳар бир n блоклар (нолинчи MAC-кодни шифрлашда ишлатилган) ТПК калит қўлланиладиган AES-CTR режимда шифрланади. Кейин натижа хабарнинг ахборот қисмидан “XOR” операцияда қўшилади (5.38-расм).



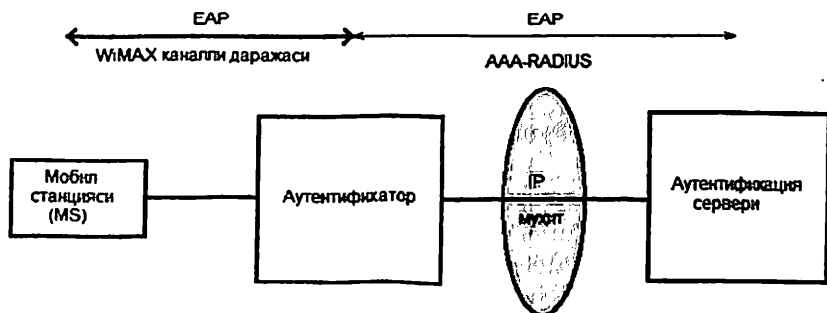
5.38-расм. Хабарни ахборот қисмини шифрлаш

Шифрланган MAC-кодди, маълумотлар пакети номерили, GMH сарлавҳали ва CRC назорат йиғиндилли шифрланган матн PNY физик даражага жўнатилади. Бунда DES даги каби GMH сарлавҳада EC майданда 1 ўрнатилади, EKS майдонда эса фойдаланилган TPK калитнинг (ингл. *TEK*) индекси кўрсатилади.

Хавфсизликнинг тармоқ аспекти

Тармоқ даражасида бўлиб ўтадиган хавфсизлик функцияларини кўриб чиқамиз. 5.39-расмда уланишни назорат қилишнинг архитектураси кетирилган.

EAP кенгайтирилган аутентификациялаш протоколи охириги фойдаланувчи ва аутентификатор орасида мураккаб аутентификация протоколларини алмаштиришга имкон берадиган ихчам каркас ҳисобланади. WiMAX (IEEE 802.16e) тизимларида TC ва AU орасида EAP протокол PKMv2 протоколдан фойдаланиш билан PNY ва MAC даражаларнинг устида ишлайди. Агар аутентификациялаш функцияси TC нинг ўзида кўзда тутилмаган бўлса, унда TC аутентификациялаш протоколини аутентификаторга (ASN-шлюзга) қайта юборади. Аутентификатордан EAP протоколи RADIUS протоколи бўйича аутентификациялаш серверига узатилади. RADIUS протоколи кенг фойдаланиладиган стандарт ҳисобланади, «клиент-сервер» архитектурага эга ва UDP протоколдан фойдаланади. Шундай қилиб, аутентификациялаш сервери RADIUS-сервер ҳисобланади, аутентификатор эса RADIUS-клиент ролини бажаради. Аутентификациялашга қўшимча равишда RADIUS-сервер авторизация ва ҳисобга олиш функцияларини қўллаб-қувватлайди.



5.39-расм. Уланишни назорат қилишнинг архитектураси

ASN профиллари ва хавфсизлик

NWG тармоғини ташкил этиш бўйича ишчи гуруҳ томонидан мос равишда *A*, *B* ва *C* дейиладиган ASN уланиш тармоғининг учта профили аниқланди. Ускуналар ишлаб чиқарувчилари ва хизматлар провайдерлари бу профиллардан бирини танлаши мумкин. *A* ва *C* профиллар марказлаштирилган ASN-шлюзлардан фойдаланади, бунда *C* профилда таянч станциялар RRM радиоресурсларни бошқариш ва «хэндовер» функцияларини ишлатилишига бевосита жавобгар ҳисобланади. *B* профил таянч станциялар даражасида ASN тармоғининг калит функционалликни бажаради, бу марказлаштирилган ASN-шлюзнинг заруратини олиб ташлайди. Шунингдек, таъкидлаймизки, сўнги вақтларда фақат *B* ва *C* профилларни қўллаш билан *A* профилдан фойдаланиш кўпинча инкор қилинмоқда.

C профил қўлланиладиган хавфсизлик функцияларини бажарилишини кўриб чиқамиз.

5.17-жадвалда *C* профил ишлатилганда TC ва ASN-шлюз орасида ASN тармоғи функцияларининг (хавфсизлик функцияси қўшилганда) бўлиниши келтирилган.

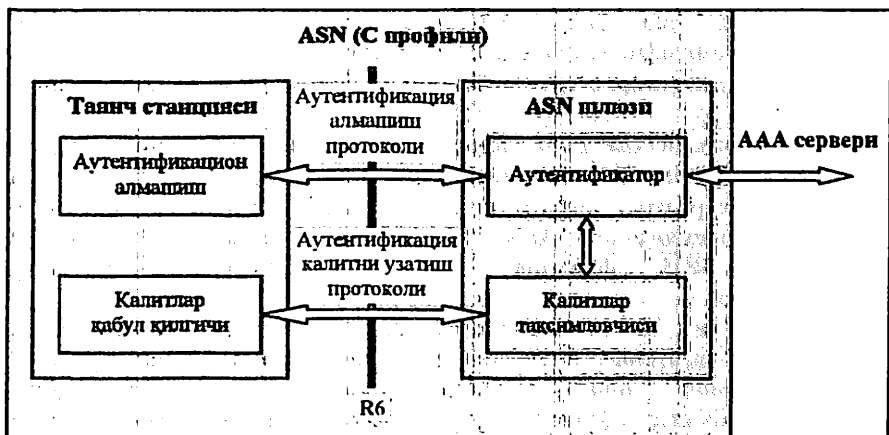
C профил учун ASN тармоғи хавфсизлиги архитектураси 5.40-расмда кўрсатилганидек, таянч станция ва ASN-шлюз орасида R6 таянч нуқтаси орқали ўзаро таъсирлашишга асосланган.

Юқорида баён этилганидек, CSN коммутация тармоғи WiMAX тармоғи ядроси ҳисобланади ва ASN тармоғини бошқаради ва AAA, DHCP-сервер ва бошқа функцияларни бажаради. CSN шунингдек, бошқа операторлар тармоқлари билан уланишга, шунингдек, оператор тармоғи ичида ва турли операторлар тармоқлари орасида «роуминг» ни таъминлашга жавобгар.

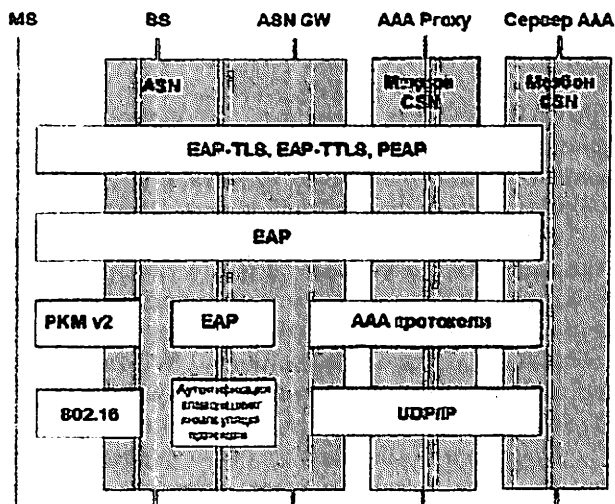
5.41-расмда WiMAX тармоғида AAA функцияларни бажарилиши учун протоколлар стеки келтирилган. EAP протоколи R1/R3/R5 таянч нуқталари устида, AKA ва TLS/TTLS каби EAP протоколлари эса R2 таянч нуқтаси устида ишлайди.

C профил ишлатилганда ASN тармоғи функцияларининг бўлиниши

Топфа	Функция	ASN тармоғи – C профили	
		ТС	ASN-шлюз
Хавфсизлик	Аутентификатор		+
	Аутентификацияни кечиктириш	+	
	Калитлар таксимлагичи		+
	Калитлар олувчиси	+	
Фойдаланувчи таянч станциялар орасида ҳаракатланганида бошқариш, «хэндовер»	Маълумотлар йўллари функцияси	+	+
	Ҳаракатда назорат қилиш	+	
	Контекст сервери ва клиент	+	+
	Бегон Mobile IP агенти		+
Радиоресурсларни бошқариш	Радиоресурслар контроллери	+	
	Радиоресурслар агенти	+	
Пейджинг	Пейджинг контроллери	+	
	Пейджинг агенти		+
Хизмат кўрсатиш сифати	SF-авторизация		+
	SF-менежер	+	



5.40-расм. С профили учун ASN тармоғи хавфсизлиги архитектураси



5.41-расм. WiMAX тизимида AAA учун протоколлар стеки

Ҳам АУ ни, ҳам фойдаланувчининг ўзини аутентификациялаш талаб қилинган ҳолларда ва бунда аутентификация AAA-серверга боғланган бўлса, бир неча PKMv2 усуллари ўзаро аутентификациялашдан мустақил равишда EAP-TTLS дан фойдаланади. Иккиланган аутентификацияда олдин АУ аутентификацияланади, кейин фойдаланувчини EAP-аутентификациялаш бўлиб ўтади, ундан кейин АУ IP-хизматларга уланишни олади. EAP-TTLS аутентификацияда иккиланган аутентификация мос AAA-серверга туннеллаштиришсиз бўлиб ўтади (ҳар

иккала ҳолда ўша бир AAA-сервердан фойдаланилади), бунинг натижасида аутентификация жараёни тезлашади.

Сервис оқимларга қўлланиладиган бошқариш ва авторизация функциялари

SFM (ингл. *Service Flow Management*) сервис оқимларни бошқариш ва SFA (ингл. *Service Flow Authorisation*) сервис оқимларни авторизация бу QoS хизмат кўрсатиш сифати боғлиқ ва ASN тармоғида жойлашган мантиқий функциялардир. ASN тармоғининг C' профили TC да SFM функцияни, SFM функция эса ASN-шлюзда бажарилишини регламентлайди.

SFM тугуни IEEE 802.16e стандарти сервис оқимларини яратиш, уланиш, активлаштириш, модификациялаш ва ўчиришга жавобгар. У AC (ингл. *Admission Control*) уланишни назорат қилиш функцияси, маълумотлар йўллари функциялари ва ассоцирланган локал ресурслар ҳақида ахборотлардан иборат.

SFM тугуни абонент QoS профилига нисбатан исталган сервис сўровларини баҳолашга жавобгар. Агар абонент QoS профили мавжуд бўлса, SFA уларга баҳолаш учун фойдаланилади. Агар абонент QoS профили мавжуд бўлмаса, у ҳолда SFA қарор қабул қилиш учун сиёсат функциясига (ингл. *Policy Function, PF*) сўров жўнатади. Сиёсат функцияси WiMAXWiMAX тармоғи тақдим этадиган турли хизматлар учун иловаларнинг бажарилиши сценарийларидан иборат маълумотлар базаси ҳисобланади. Сиёсат функцияси ва унга мос база CSN да ҳам уй тармоғи, ҳам меҳмон тармоғи учун қўллаб-қуватланади.

WiMAX тармоқларида ахборот хавфсизлиги масалаларига бағишланган нимсарлавҳага яқун ясаб, ягона 5.18-жадвалга IEEE 802.16 стандартида фойдаланиладиган ахборот хавфсизлиги бўйича қўйиладиган талабларни қониқтириш учун усулларни киритамиз.

Бобни тугашида таъкидлаймизки, WiMAXWiMAX катта имкониятларни, юқори алоқа сифатини ва хавфсиз уланишни тақдим этишга қодир кенг полосали симсиз уланишнинг тўлақонли вакили ҳисобланади. Буларнинг барчаси бу стандартнинг кейинги ривожланишини ва унинг амалда кенг тарқалишини кўзда тутишга асос бўлади.

Лекин, шу билан бирга WiMAX тизимларининг келажаги мавжуд ва пессимистик тахминлар, аввало, LTE мобил алоқа тизимлари билан бошланган рақобатга уринишга боғлиқ. Ҳақиқатан, LTE тармоқларининг кенг қурилиши фақат 2010 йилнинг охирида бошланди, шунинг учун аниқлаш керакки, қайси бир технология кўпроқ “яшовчанликка” эғалигини номоён этади.

IEEE802.16. стандартида хавфсизлик талабларини таъминлаш

Иштирокчи	Хавфсизлик аспекти	Шарҳлар	WiMAX тизимида қўлланилган усул
Тармоқ абоненти	Хусусий маълумотларнинг дахлсизлиги	“Эшитишга” хужумдан ҳимоя	RSA, EAP-TLS шифрлаш, PKM протокол
	Маълумотларнинг бутунлиги	Узатиш жараёнида маълумотларни алмаштиришдан ҳимоя	RSA, EAP-TLS шифрлаш, PKM протокол
	Фойдалана олишлик	Абонент аниқ ҳуқуқларга эга	X.509, EAP
	Кўрсатилаган хизматларга тўғри ҳисоб	Аниқ ва самарали кайд этиш	AAA-функциялар архитектураси
Тармоқ оператори	Фойдаланувчиларни аутентификациялаш	Абонентнинг ҳақиқийлигини текшириш	X.509, EAP-TTLS
	Ускунани аутентификациялаш	АУ нинг ҳақиқийлигини текшириш	X.509, EAP-TTLS
	Авторизация	Сервисларни олиш учун абонентларни обуна қилиш	RSA, EAP шифрлаш, PKMv2 протокол
	Уланишни назорат қилиш	Фақат муаллифлаштирилган абонентларга уланишни тақдим этиш	RSA, EAP шифрлаш, PKMv2 протокол

Назорат саволлари

1. WiMAX тизимларига тавсиф беринг ва WiMAX тизимларининг қисқача ривожланиш тарихини баён этинг.
2. WiMAX тизими ва IMT-2000 Дастури қандай ўзаро таъсирлашади?
3. WiMAX и Wi-Fi тизимларининг фарқи қандай?
4. WiMAX тизимларининг асосий характеристикаларини келтиринг. WiMAX тизимларининг қўлланилиш соҳаларини баён этинг. WiMAX тизимларининг қандай асосий авзалликлари ва камчиликлари мавжуд?
5. HiperMAN ва WiBro стандартлари ҳақида сўзлаб беринг.
6. IEEE 802.16d стандартига қисқача характеристика (тавсиф) беринг.
7. IEEE 802.16e стандартига қисқача характеристика (тавсиф) беринг.
8. IEEE 802.16d ва IEEE 802.16e стандартларининг қандай умумий хоссалари ва асосий фарқлари мавжуд?
9. WiMAX тармоқларини қандай асосий қуриш принциплари мавжуд? WiMAX (NRM) тармоғи Таянч моделига тавсиф беринг. WiMAX тармоқлари тугунларининг таркибини келтиринг.
10. ASN ружсат этишни тақдим этиш тармоғи ва CSN боғланишлар тармоғини ишлашини баён этинг.
11. Таянч станция ва ASN шлюзнинг ишлашини баён этинг.
12. WiMAX таянч тармоғи тугунларининг ўзаро таъсирлашиши қандай амалга ошади? Таянч нукталарнинг функцияларини қисқача баён этинг.
13. IEEE 802.16 стандартининг бешта иш режимларини баён этинг.
14. IEEE 802.16 стандартида физик даражада қандай маълумотларни узатиш усуллари кўзда тутилган?
15. WirelessMAN-OFDM усулининг ишлашини баён этинг.
16. Физик даражада маълумотларни кодлаш ўз ичига қандай босқичларни олади? WirelessMAN-OFDM режимида қандай модуляция схемаларидан фойдаланилади?
17. WirelessMAN-OFDM режимида TDD ли OFDM тузилмасини баён этинг. MAC нимдаражада маълумотлар пакетлари қандай шакллантирилади?
18. S-OFDMA технология асосидаги WirelessMAN-OFDMA усулининг ишлашини баён этинг.
19. WirelessMAN-OFDMA режимида TDDли OFDM тузилмасини баён этинг.
20. Маълум WiMAX профилларини баён этинг.
21. Қандай режимы доступа реализованы в стандартах IEEE 802.16d и IEEE 802.16e?

22. WiMAX тармоғидаги турғун, сеансли ва кўчма рухсат этиш режимларини баён этинг.
23. WiMAX тармоғидаги мобил рухсат этиш режимини баён этинг.
24. WiMAX тармоғи топологияси умумий кўринишда қандай кўринади? WiMAX тармоғи топологиясининг модификациясини келтиринг?
25. WiMAX тармоғи Mesh режимда қандай ташкил этилади?
26. WiMAX тармоқларини қуришга боғлиқ қандай мураккабликлар мавжуд?
27. Нурларни шакллантирилиши усулини (beamforming) баён этинг. Нурларни шакллантирилиши усулини қўлланилишининг қандай ижобий томонлари мавжуд.
28. Нурларни шакллантирилиши усули таянч станциялар сонини қандай қисқартириш беради?
29. Нурларни шакллантирилиши усулидан фойдаланиш ҳисобига тармоқнинг ўтказиш қобилиятини қанчалик оширилишига эришилади.
30. Нурларни шакллантирилиши усулидан фойдаланиш ҳисобига қандай частотадан такроран фойдаланиш кўэффицентига эришиш мумкин?
31. WiMAX тармоқларида ММО технологиялардан фойдаланишнинг қандай асосий авзалликлари мавжуд?
32. Нурларни шакллантирилиши усули ва ММО технологияларни бирлаштиришда қандай мураккабликлар мавжуд?
33. Нурларни шакллантирилиши усули ва ММО технологияларни бирлаштиришда қандай ютуққа эришилади?
34. WiMAX тизимлари учун радиочастоталарни тақсимлашда қандай бутундунё анъаналари мавжуд?
35. WiMAX тармоқлари учун спектрни тақсимлаш қандай муаммоларга боғлиқ?
36. Лицензияланадиган ва лицензияланмайдиган частоталар полосалари қандай фарқланади?
37. 3,5GGs диапазонда спектрни тақсимланишининг қандай ўзига хос хусусиятлари мавжуд?
38. 5GGs диапазонда спектрни тақсимланишининг қандай ўзига хос хусусиятлари мавжуд?
39. 2,5GGs (WCS, 2,4GHz ISM ва MMDS) диапазонда спектрни тақсимланишининг қандай ўзига хос хусусиятлари мавжуд?
40. WiMAX тармоқлари учун қандай кўшимча частоталар полосаси кўзда тутилган?
41. WiMAX тармоқлари учун Европада спектрни тақсимланишининг қандай ўзига хос хусусиятлари мавжуд?
42. WiMAX тармоқлари учун Россияда спектрни тақсимланишининг қандай ўзига хос хусусиятлари мавжуд?
43. Хавфсизлик ассоциацияларига тавсиф беринг ва уларнинг қандай турлари мавжуд?

44. Маълумотлар учун қандай хавфсизлик ассоциациялари мавжуд ва улар қандай ташкил этувчилардан ташкил топган?
45. Авторизация учун хавфсизлик ассоциацияларининг қандай ташкил этувчилари мавжуд?
46. EAP аутентификация кенгайтириладиган протоколнинг моҳияти нимада?
47. PKM калитларни бошқариш ва конфиденциаллик протоколларида авторизация жараёнини баён этинг?
48. PKM протоколида ТЕК калитларни алмаштириш жараёнини баён этинг?
49. DES шифрлаш алгоритмининг ишлашини баён этинг.
50. ССМ режимида DES шифрлаш алгоритмининг ишлашини баён этинг.
51. IEEE 802.16 стандартида қандай заифлик мавжуд?

ХУЛОСА

Кенг полосали мобил алоқа 4G авлодини ўрганиш мавзуига яқун яшаш билан, бугуги кун нуқтаи назаридан уларни кейинги ривожлантиришнинг бир неча аспектирини, аъналарини, мураккаблиklarини ва истиқболларини кўриб чиқамиз.

Биз юқорида таъкидлаганимиздек, WiMAX ва LTE технологиялари ҳозирда мавжуд ўз версияларида 4G технологиялар сифатида ХТИ томонидан тасдиқланмаган. 4G технологиялар характеристикаларига (тавсифларига) талабларда аниқланганидек, бундай тизимлар юқори мобилликда (360km/soat тезликларда) 100Mbit/sekдан паст бўлмаган максимал (пик) тезликка ва турғун режимда деярли 1Gbit/sek дан паст бўлмаган тезликка эга бўлиши керак. Бундай талабларга WiMAX тизимининг иккинчи версияси (2012 йилда тасдиқланган IEEE802.16m стандарти) ва LTE Advanced технологияси (2012 йилда қабул қилingan 3GPP 10-релизи) мос келади.

Шу муносабат билан бу икки рақобатдаги технологияларнинг бўлажак “тинч яшаш” мутахассислар доираларида баҳс-мунозарага сабаб бўлади. Ҳар доимгидек, у ёки бу технологиянинг тарафдорлари ва уларга қарши турувчилар бор, уларнинг келажагига оптимистик ва пессимистик тахминлар бор ва муҳимки, бу технологияларни ва умуман индустрияни турли кўзда тутилган ривожланиш сценарийлари мавжуд. Улардан бир нечтасини кўриб чиқамиз.

Янги телекоммуникацион технологиянинг муваффақияти учун унумдорлик (яъни, ўтказиш қобилияти, радио қамраб олиш, тармоқ сифими, спектрал самарадорлик ва бошқалар), ўринбосарлик (преемственность), ихчамлик ва универсаллик (яъни, олдинги технологияларни қўллаб-қувватлаш, ихчам канал кенглиги, кўп регионлар учун ишчи частоталардан фойдалана олишлик ва бошқалар) ва ускуналарнинг мавжудлиги (таянч, абонент, периферия ускуналари) каби ташкил этувчилар муҳим ҳисобланади.

Бу параметрларнинг кўп жиҳатидан LTE технологияси WiMAX технологиясидан яққол устун туради:

- радио қамраб олиш ва сизим бўйича ҳозирча LTE технологияси WiMAX технологиясидан илгариди;

- дунёда 5 миллиард кишидан ортиқ умумий абонентлари бўлган 1300 тача сотали тармоқлар (2010 йилнинг охирига келиб) қурилган, у ҳолда, дунёда қурилган WMAN синфидаги КСУ тармоқларининг сони 1,5 миллиард абонентлари бўлган деярли 600 тага тенг. Мавжуд сотали алоқа тармоқлари WiMAX томонга эмас LTE томонга ривожланишни афзал кўради;

- бугунги кунда LTE дан кўра WiMAX ускуналарига зоришиш етарлироқ бўлсада, лекин кўпчилик LTE ниҳояда WiMAX ни бу параметрда қувиб ўтади. LTE FDD ва LTE TDD технологияларнинг бир турлилиги ва йирик сотали бозорнинг техник ечимларидан қайта

фойдаланиш имконияти ҳам LTE тармоқ инфратузилмасини, ҳам абонент ускунасини тез орада пойдо бўлишига олиб келади.

Лекин шуни таъкидлаш керак-ки, LTE технологияси WiMAX технологиясидан кейин ишлаб чиқилган ва мос равишда унда WiMAX технологиясидаги тажриба ҳисобга олинган ва хатоликлар тузатилган. Бундан ташқари, бу вақтда микропроцессор индустрияси олдинга қадам ташлади, сигналларни янги самарадор қайта ишлаш алгоритмлари ишлаб чиқилди, бу LTE технологиясини илғор технологияларда ишлатилишига имкон берди. Ўзининг характеристикалари бўйича 8-релизда LTE технологиядан ўтиб кетадиган IEEE 802.16m стандартининг пайдо бўлиши билан WiMAX технологияси ўз позициясини (жойини) камайтириши керак. Лекин, 3GPP (LTE Advanced) 10-релизининг чиқишидан кейин “биринчилик пальмаси” яна LTE технологияси томонида бўлади. Бундай ҳолда ишлаб чиқарувчилар ва операторларнинг маркетинг қадамлари, шунингдек, ростловчилар позициялари (частотавий ресурсларни ажратиш, операторлик фаолиятини лицензиялаш шартлари ва бошқалар) ҳал қилувчи омиллар бўлиши мумкин.

Келажақда WiMAX ва LTE технологияларининг қўшилиб кетиши тахмини ҳам бор. Clearwire компаниясининг бош директори Билл Морроу (*Bill Morrow*) 2010 йилдаги СТИА Wireless кўргазмасида бу ғояни гапириб, симсиз алоқа индустрияси WiMAX ва LTE технологияларининг ажралишига эмас, уларнинг қўшилишига йўналтирилиши кераклигини билдир [56]. Motorola компанияси ўз навбатида, LTE технологиясининг ускунасини яратиш билан у WiMAX технологиясидан кўп нарсадан фойдаланилишини қўшди. Жаноб Морроунинг таклифи бўйича келажақда ҳар иккала технология битта тармоқ стандартига келтирилади. Бунда зарурат туғилганда Clearwire компанияси ўз WiMAX тармоқларига LTE технологиясини қўллаб-қувватланишини қўшиши мумкин.

Лекин бугунги кунга келиб WiMAX тармоқлари тижорий тарқалишига кўра LTE технологиясидан минимум бир йилга олдинда ва ўзининг қамраб олиш географиясини оширишда давом этмоқда. Ўзининг ҳолатида WiMAX технологиясига ўтиш DSL тармоқлар ва модемлардан ўтишнинг энг эҳтимолли йўли ҳисобланади. WiMAX технологияси маълумотларни узатиш тезликларининг оширилишини таъминлайди, нарх бўйича арзон ускуналарни таъминлайди, шунингдек, келажақда каттароқ тезликли томонга ўтишда кўприк ҳисобланади. Яқин келажақда бу “каттароқ тезликли” LTE технологияси бўлади. Лекин бунинг учун у кенг рухсат этишли бўлишини кутиш керак бўлади. Ҳозирча эса, турли тахминларга кўра, келажақда операторлар ўзларининг 2G ва 3G тармоқларини қўллаб-қувватлайди ва товушли сервисни ҳамда асосан қабул қилинадиган қамраб олиш зонасида Интернетга қисқа полосали рухсат этишни таъминлайди. Ўз навбатида, WiMAX ва LTE тармоқлари 2G ва 3G тармоқларга “кенг полосали” қўшимча сифатида қурилади. Бу технологияларнинг яхши сифатларини ўзида бирлаштирадиган гибрид

тармоқлар ва кўп режимли абонент ускуналари (масалан, EV-DO/WiMAX ва HSPA/LTE) оммавий бўлади.

Бунда ҳамма нарсадан кўра, яқунда сўнгги фойдаланувчи ютиши қувонарли ҳол. Дунё кўз ўнгимизда ўзгармоқда. Замоनावий инсон ақлли равишда ўз вақтини тақсимламоқда ва дунёни тез ўйлашга, ишлашга, яшашга ва ўз ижодий ғояларини ишлатишга имкон берадиган ягона ахборот муҳити сифатида қабул қилмоқда.

ҚИСҚАРТМАЛАР, АТАМАЛАР ВА ТАВСИФЛАР

Инглиз тилида

3-DES	<i>Triple Data Encryption Standard</i>	Маълумотларни шифрлаш учланган стандарти
3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>	Учинчи авлод ҳамкорлик лойиҳаси
3GPP2	<i>Third Generation Partnership Project 2</i>	Учинчи авлод иккинчи ҳамкорлик лойиҳаси
AAA	<i>Authentication, Authorization, and Accounting</i>	Аутентификация, авторизация ва рўйхатга олиш
AAA Proxy		AAA-мижоз ва AAA-сервер орасида қайта узатиладиган AAA-хабарларни кўринадиган маршрутлаштириш ва/ёки қайта ишлаш учун ўртача (тармоқ тугуни)
AAA Server		AAA функциясини бажарадиган сервер компьютер
AAS	<i>Adaptive Antenna System unu Advanced Antenna System</i>	Адаптив антенна тизими ёки яхшиланган антенна тизими
ACK	<i>Acknowledgement</i>	Тасдиқлаш қитанцияси
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>	Яхшиланган шифрлаш стандарти
AK	<i>Authorization Key</i>	Авторизация калити
AKA	<i>Authentication and Key Agreement</i>	Аутентификация ва калитлар ҳақида мувофиқлаштириш
AMC	<i>Adaptive Modulation and Coding</i>	Адаптив модуляция ва кодлаш
ANSI-41	<i>American National Standards Institute-41</i>	AMPS, D-AMPS, cdmaOne и CDMA2000 стандартларидаги сотали алоқа тизимларида фойдаланиладиган телефонли сигнализация стандарти
ARQ	<i>Automatic Retransmission Request</i>	Қайта узатишга автоматик сўров
AS	<i>Authentication Server</i>	Аутентификация сервери
ASA	<i>Authentication and Service Authorization</i>	Хизматларни аутентификациялаш ва авторизация
ASN	<i>Access Service Network</i>	WiMAX руҳсат этиш тармоғи

ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>	Улардан 5 байти сарлавқа сифатида ишлатиладиган турғун ўлчамли соталар (cell) кўринишида маълумотларни узатишга асосланган юқори унумдор тармоқ коммутация ва мультимплекслаш технологияси-асинхрон узатиш режими
BCC	<i>Block Convolutional Code</i>	Блокли сверткали (ўралган) код
BE	<i>Best Effort</i>	Кафолатланмаган тезликли, лекин бўлиши мумкин бўлганлардан энг яхши канал (QoS даража)
BER	<i>Bit Error Ratio</i>	Символда хатолик коэффициенти (частота, эҳтимоллик)
BR	<i>Bandwidth Request</i>	Полосага сўров
BS	<i>Base Station</i>	Таянч станция
BSID	<i>Base Station Identifier</i>	Таянч станция идентификатори
BTC	<i>Block Turbo Code</i>	Блокли турбокод
BW	<i>Bandwidth</i>	Частоталар полосаси
BWA	<i>Broadband Wireless Access</i>	Кенг полосали симсиз уланиш (КСУ)
C/(I+N)	<i>Carrier-to/(Interference plus Noise) ratio</i>	Элтувчи/ (ҳалақитлар плюс шовқин) нисбати
C/N	<i>Carrier-to-Noise ratio</i>	Элтувчи/шовқин нисбати
CA	<i>Certification Authority</i>	Сертификатлаштириш маркази
CBC	<i>Cipher Block Chaining</i>	Шифрлаш блокларини занжирлаш
CBC- MAC	<i>Cipher Block Chaining Message Authentication Code</i>	Хабарни аутентификациялаш коди учун шифрлаш блокларини занжирлаш
CCI	<i>Co-Channel Interference</i>	Каналлараро интерференция (КАИ)
CCM	<i>Counter with Cipher-block chaining Message authentication code</i>	Хабарни аутентификациялаш коди учун шифрлаш блокларини занжирлаш ҳисоблагичи
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>	Кодли ажратишли кўп-сонли уланиш (КАКУ) технологияси
CDMA-2000	<i>Code Division Multiple Access-2000</i>	3GPP-2 ишлаб чиққан учинчи авлод сотали алоқа стандарти
CEPT	<i>Conference of European Postal and Telecommunications Administrations</i>	Алоқа ва почта маъмуриятлари Европа конференцияси

CID	<i>Connection Identifier</i>	Боғланишлар индикатори
CINR	<i>Carrier to Interference and Noise Ratio</i>	Элтувчи/ҳалақитлар ва шовқин нисбати
CMAC	<i>Block Cipher-based Message Authentication Code</i>	Блокли шифрга асосланган хабарнинг аутентификацион коди
CMIP	<i>Client Mobile IP</i>	Мобил IP-мижоз
CP	<i>Cyclic Prefix</i>	Циклик префикс
CPS	<i>Common Part Sublayer</i>	MAC-даражанинг умумий нимдаражаси
CQI	<i>Channel Quality Indicator (Index)</i>	Каналнинг сифат индикатори
CQICH	<i>Channel Quality Information Channel</i>	Каналнинг сифатини баҳолаш учун ахборот канали
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>	Циклик ортиқча (избыточная) текшириш
CS	<i>Convergence Sublayer</i>	MAC-даража конвергенцияси (ўзгартирилиши)
CSCF	<i>Centralized Scheduling Configuration</i>	Марказлаштирилган режалаштирилишли конфигурация
CSCH	<i>Centralized Schedule</i>	Марказлаштирилган режалаштириш
CSN	<i>Connectivity Service Network</i>	WiMAX уланиш тармоғи
CTC	<i>Convolutional Turbo Code</i>	Сверткали (ўрамли) турбокодлар
CTR	<i>Counter Mode Encryption</i>	Ҳисоблагич режимидаги шифрлаш
dB _i		Нолли кучайтирилишли изотроп антенна нурланишига нисбатан кучайтириш (dB)
dB _m		1 mVt га нисбатан dB
DCD	<i>Downlink Channel Descriptor</i>	“Пастга” каналнинг дескриптори
DES	<i>Data Encryption Standard</i>	Маълумотларни шифрлаш стандарти

Diameter		RADIUS протоколининг бир қанча чеклашларини енгиб ўтиш учун яратилган сеансли протокол. Аутентификациялаш, авторизация ва турли севишларни рўйхатга олиш учун (AAA) миқозлар орасида ўзаро таъсирлашишни таъминлайди. IMS архитектурасининг асосий протоколи ҳисобланади.
DFS	<i>Dynamic Frequency Selection</i>	Частотани динамик танлаш
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>	Тугунни динамик конфигурациялаш протоколи (хост-машина)
diffserv	<i>Differentiated services</i>	Дифференциал хизмат кўрсатиш (QoS даража)
DL	<i>Down Link</i>	“Пастга” йўналишдаги канал
DNS	<i>Domain Name Service</i>	Домен номлари хизмати
DOCSIS	<i>Data Over Cable Service Interface Specification</i>	Коксиал (телевизион) кабеллар бўйича маълумотларни узатиш протоколи
DoS	<i>Denial of Service</i>	Хизмат кўрсатишни рад этиш
DP	<i>Decision Point</i>	Қарорни қабул қилиш нуқтаси
DSA	<i>Dynamic Service Addition</i>	Хизматларни динамик қўшиш
DSC	<i>Dynamic Service Change</i>	Хизматларни динамик ўзгартириш
DSCH	<i>Distributed Schedule</i>	Тақсимланган каталог
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>	Рақамли абонент линияси
DVB	<i>Digital Video Broadcast</i>	Рақамли видеоузатиш стандарти
E-UTRA	<i>Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access</i>	LTE стандартида қўлланилган радио рухсат этиш технологияси
E-UTRAN	<i>Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>	LTE стандартида радио рухсат этиш тармоғи
E2E	<i>End-to-End</i>	Охиридан охирига узлуксиз
EAP	<i>Extensible Authentication Protocol</i>	Кенгайтириладиган аутентификация протоколи

EAP-AKA	<i>EAP Authentication and Key Agreement</i>	USIM ли фойдаланиш учун калит ҳақида мувофиқлаштириш ва EAP-аутентификация
EAP-PSK	<i>Extensible Authentication Protocol Pre Shared Key</i>	Дастлабки калитли EAP
EAP-SIM	<i>EAP Subscriber Identity Module</i>	EAPли SIM-карта
ECB	<i>Electronic Code Book</i>	Электрон кодли китоб
EIRP	<i>Effective Isotropic Radiated Power</i>	Самарадор изотроп нурлантирилладиган қувват
EPC	<i>Evolved Packet Core</i>	Такомиллаштирилган пакетли LTE таянч тармоғи
EPS	<i>Evolved Packet Subsystem</i>	LTE таянч тармоғининг ишлашини қўллаб-қувватловчи нимтизим
ErtPS	<i>Extended Real-Time Polling Service</i>	Реал вақтни кенгайтирилган поллинг-хизмати (QoS даража)
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>	Алоқа соҳасида Европа стандартлари институти
EUI	<i>Extended Unique Identifier</i>	Кенгайтирилган уникал (улкан) идентификатор
FA	<i>Foreign Agent</i>	Ташқи агент
FCH	<i>Frame Control Header</i>	Кадрни бошқариш сарлавҳаси
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>	Частотавий дуплекс
FDMA	<i>Frequency Devision Multiple Access</i>	Частотавий ажратишли кўплаб рухсат этиш (ЧАКРЭ) технологияси
FEC	<i>Forward Error Correction</i>	Хатоликларни тузатишли кодлаш
FFT	<i>Fast Fourier transform</i>	Фурье тезкор ўзгартириш (ФТҮ) усули
FUSC	<i>Fully Used Sub-Carrier</i>	Нимэлтувчилардан тўлиқ фойдаланиш
GMH	<i>Generic MAC header</i>	Умумий MAC сарлавҳа
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>	Умумлаштирилган пакетли радио хизматлар, 2,5G технология
GPS	<i>Global Positioning Service</i>	Жой танлаш (позиционирования) глобал хизмати
GS	<i>Guard Symbol</i>	Ҳимоя символи

GSA	<i>Group Sekurity Association</i>	Гурухли хавфсизлик ассоциацияси
GSM	<i>Global System for Mobile communication</i>	Мобил алоқа глобал тизими. 2-авлод сотали алоқа стандарти
GW	<i>Gateway</i>	Шлюз
HA	<i>Home Agent</i>	Уй агенти
HARQ	<i>Hybrid Automatic Repeat reQuest</i>	Такрорий узатишни автоматик тарзда сўровчи гибрид тизим
HDTV	<i>High Density Television</i>	Юқори аниқликдаги телевидение
HEC	<i>Header Error Check</i>	Сарлавҳа хатоликларини текшириш
H-FDD	<i>Half-duplex FDD</i>	Частотавий сурилишли яримдуплекс Бошқаришни қатъий эстафетали узатиш
HHO	<i>Hard Hand-Off</i>	Бошқаришни қатъий эстафетали узатиш (хэндовер)
Hiper MAN	<i>High Performance Metropolitan Area Network</i>	Юқори унумдор шаҳар (ёки минтақавий) тармоғи
HO	<i>Hand-Off ulu Hand Over</i>	Бошқаришни ёки хизмат кўрсатишни узатиш (хэндовер ёки хэндофф)
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>	“Пастга” каналда юқори тезликли пакетли рухсат этиш, 3,5G технология
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>	Гиперматнни узатиш протоколи
HUMAN	<i>High-speed Unlicensed Metropolitan Area Network</i>	Лицензияланмайдиган частоталардаги юқори тезликли шаҳар (ёки регионал) тармоғи
I	<i>In-phase</i>	Синфаз
IASA	<i>Inter Access System Anchor</i>	LTE тармоғида ягона шлюз сифатида S-GW ва P-GW шлюзларнинг бирлаштирилган тақдим этилиши шлюза
IANA	<i>Internet Assigned Numbers Authority</i>	Интернетда рақамли манзиллар бўйича ваколатли орган
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>	Электротехника ва электроника бўйича муъандислар институти
IEEE 802.3	<i>IEEE standard specification for Ethernet</i>	Ethernet учун IEEE стандарти спецификацияси

IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>	Интернетни ишлаб чиқиш ишчи гуруҳи
IFFT	<i>Inverse Fast Fourier Transform</i>	Тескари Фурье тезкор ўзгартириш (ТФҲ) усули
IMS	<i>IP Multimedia Subsystem</i>	Мультимедияли IP нимтизим
IMSI	<i>International Mobile Subscriber Identity</i>	Мобил абонентни ҳалқаро идентификациялаш
IMT-2000	<i>International Mobile Telecommunications-2000</i>	Ҳалқаро телекоммуникация иттифоқи (ҲТИ) тақлиф этган учинчи авлод мобил алоқа мослашадиган технологияларининг “ягона оила концепцияси”).
IP	<i>Internet Protocol</i>	Интернет-протокол
IPsek	<i>IP Security</i>	IP-хавфсизлик
IPv4	<i>Internet Protocol Version 4</i>	Интернет-протокол, 4-версия
IPv6	<i>Internet Protocol Version 6</i>	Интернет-протокол, 6-версия
ISI	<i>Inter-Symbol Interference</i>	Символлараро интерференция
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i>	Интеграцияланган хизмат кўрсатиш рақамли тармоғи (ИХКРТ)
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>	Ҳалқаро телекоммуникация иттифоқи (ҲТИ)
KEK	<i>Key Encryption Key</i>	Калитни шифрлаш калит (КШК)
LAN	<i>Local Area Network</i>	Локал тармоқ
LBS	<i>Location Based Services</i>	Фойдаланувчини жойлашган ўрнини аниқлашга асосланган хизматлар
LDPC	<i>Low-Density-Parity-Check</i>	Кичик зичликли жуфтликка текшириш (кодлаш усули)
LLC	<i>Logical Link Control</i>	Мантикий боғланишни бошқариш (ОТЎМ канал даража нимдаражаси)
LOS	<i>Line of Sight</i>	Тўғри кўриниш
MAC	<i>Medium Access Control</i>	Муҳитга рухсат этишни бошқариш (ОТЎМ канал даража нимдаражаси)
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>	Шаҳар ёки регионал тармоқ
MAP	<i>Media Access Protocol</i>	Муҳитга рухсат этиш протоколи

MBMS	<i>Multimedia Broadcast/ Multicast Service</i>	Мультимедияли кенг узатишли/кўп манзилли хизматлар
MBS	<i>Multicast and Broadcast Service</i>	Кўп манзилли ва кенг узатишли хизматлар
MCC	<i>Mobile Country Code</i>	Давлатнинг мобил коди
MIC	<i>Message Integrity Check</i>	Хабарнинг бутунлигини текшириш
MIMO	<i>Multiple Input-Multiple Output</i>	Кўплаб қибул қилиш — кўплаб узатиш (антенна технологияси)
MIP	<i>Mobile IP</i>	Мобил IP (IPv4 ва IPv6 га киради)
MM	<i>Mobility Management</i>	Мобилликни бошқариш
MMDS	<i>Multichannel Multipoint Distribution Service</i>	Кўп каналли кўп нуқтали узатиш хизмати
MMS	<i>Multimedia Message Service</i>	Мультимедияли хабарлар хизматлари
MNC	<i>Mobile Network operator Code</i>	Мобил тармоқ оператори коди
MPEG	<i>Moving Pictures Experts Group</i>	Ҳаракатдаги тасвирлар эксперт гуруҳи
MPLS	<i>Multi Protocol Label Switching</i>	Белгилар асосидаги мультипротоколли коммутация
MS	<i>Mobile Station</i>	Мобил станция
MESH	<i>Mesh</i>	Mesh-тармоқ
MSID	<i>Mobile Station Identifier</i>	Мобил станция идентификатори
MSK	<i>Master Session Key</i>	Сессияли Мастер-калит
NACK	<i>Not Acknowledge</i>	Таслиқламаслик хабари
NAP	<i>Network Access Provider</i>	Рухсат этиш тармоғи провайдери
NAS	<i>Non-Access Stratum</i>	Рухсат этишни тақдим этишга боғлиқ даража
NLOS	<i>Non Line Of Sight</i>	Тўғри кўринишнинг бўлмаслиги
NMS	<i>Net work Management System</i>	Тармоқни бошқариш тизими
NRM	<i>Network Reference Model</i>	WiMAX тармоғининг эталон модели

nrtPS	<i>non-real-time Polling Service</i>	Реал вақт кўламида бўлмаган поллинг хизмати (QoS даража)
NSP	<i>Network Service Provider</i>	Тармоқ сервис-провайдери
O&M	<i>Operations and Maintenance</i>	Тармоқни ишлатиш ва техник хизмат кўрсатиш
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>	Ортогонал частотавий мультиплекслаш
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>	Ортогонал частотавий ажратишли кўплаб рухсат этиш (ОЧАКРЭ) технологияси
OSI	<i>Open System Interconnection</i>	1978 йилда стандартлаштириш бўйича Халқаро ISO ташкилоти қабул қилган эталон ўзаро таъсирлашиш модели
PA	<i>Paging Agent</i>	Пейджинг агенти
PAK	<i>Primary Authorization Key</i>	Бирламчи авторизация калити
PAPR	<i>Peak to Average Power Ratio</i>	Максимал (пик) қувватни ўртача қувватга нисбати
PBR	<i>PiggyBack Request</i>	Ажратилиб бўлинган полосага қўшишга сўров
PDN	<i>Packet Data Network</i>	Пакетли маълумотлар тармоғи
P-GW, PDN GW	<i>Packet Data Network Gateway</i>	LTE/SAE тармоғи пакетли маълумотлар тармоғи шлюзи
PDU	<i>Packet Data Unit</i>	Пакетли маълумотлар бирлиги (пастроқ OTUM даражадан қабул қилиш ёки узатиш учун шакллантирилган пакет)
PEAP	<i>Protected EAP</i>	Ҳимояланган ўстириладиган аутентификациялаш протоколи
PER	<i>Packet Error Rate</i>	Пакетлар хатолиги эҳтимоллиги
PF	<i>Policy Function</i>	Сиёсат функцияси (WiMAXWiMAX тармоғи тақдим этадиган турли хизматлар учун иловаларни бажарилиши сценарийларидан иборат маълумотлар базаси
PG	<i>Paging Group</i>	Пейджинг гуруҳи
PHS	<i>Payload Header Suppression</i>	Маълумотлар майдонидан сарлавҳаларни ўчириш (уларнинг такрорланадиган қисмларини)

PHSI	<i>Payload Header Suppression Index</i>	Маълумотлар майдонидан сарлавҳаларни ўчириш индекслари (сарлавҳалардан қайси байтлар ўчирилиши, қайсилари ўчирилмаслигини кўрсатувчи 8-разрядли маска)
PHSM	<i>Payload Header Suppression Mask</i>	Маълумотлар майдонидан сарлавҳаларни ўчириш маскаси
PHSS	<i>Payload Header Suppression Size</i>	Байтларни ўчириш амалга ошириладиган сарлавҳалар майдони ўлчами (шунингдек, PHSF майдон ўлчами ҳам)
PHSV	<i>Payload Header Suppression Valid</i>	Ўчирилиши керак бўлган сарлавҳанинг барча байтларини верифицировать зарурати ҳақида узатувчи ускунага билдирадиган байроқча
PHY	<i>Physical layer</i>	ОТЎМ физик даражаси
PKM	<i>Privacy Key Management</i>	Хусусий калитни бошқариш
PMD	<i>Physical Medium Dependent</i>	Узатиш муитига боғлиқ нимдаража (ОТЎМ физик даражанинг қисми)
PMP	<i>Point-to-MultiPoint</i>	“Нукта-кўп нукта” топологияси
PPP	<i>Point-to-Point Protocol</i>	“Нукта-нукта” протоколи
PSK	<i>PreShared Key</i>	Дастлабки тасдиқланган калит
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>	Умумий фойдаланишдаги телефон тармоғи (ТФУФ)
PTT	<i>Push To Talk</i>	ПМР радиостанция тангентлари тугмаси. Шунингдек, сотали алоқа тизимларида РТТ атамаси деганда битта тугмани босиш билан алоқани ўрнатиш хизмати тушунилади
Ptp (p2p)	<i>Peer to Peer</i>	“Ҳар бири ҳар бири билан” нукта-нукта ёки тугун-тугун уланиш режими, яъни бир рангли тармоқ
PUSC	<i>Partially Used Sub-Carriers</i>	Нимэльтувчиларнинг қисмидан фойдаланиш
Q	<i>Quadrature</i>	Квадратура (квадратурали координата)
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>	Квадратурали амплитудавий модуляция (КАМ)

QoS	<i>Quality of Service</i>	Хизмат кўрсатиш сифати, узатиш сифатини ва хизматларга уланишни акс эттирадиган узатиш тизимининг унумдорлиги чораси сифатида аниқланади
QPSK	<i>Quadrature Phase-Shift Keying</i>	Квадратурали фазавий модуляция (ФМ-4)
RADIUS	<i>Remote Access Dial In User Service</i>	Тармоқнинг барча ускуналари учун марказлаштирилган AAA жараёнларни таъминлайдиган тармоқ протоколи
RoHC	<i>Robust Header Compression</i>	“Сарлавҳаларни мустаҳкам сиқиш” усули
RP	<i>Reference Point</i>	Таянч нуқтаси (тармоқ интерфейслари)
RRC	<i>Radio Resource Controller</i>	Радиоресурслар контроллери
RRM	<i>Radio Resource Management</i>	Радиоресурсларни бошқариш
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>	Қабул қилинадиган сигнал сатҳи индикатори
RTG	<i>Receive/Transmit Transition Gap</i>	Қабул қилиш ва узатиш субкадрлари орасидаги интервал
rtPS	<i>Real-time Polling Service</i>	Реал вақтдаги поллинг хизмати (QoS даражаси)
RUIM	<i>Removable User Identity Module</i>	Фойдаланувчининг алмаштириладиган идентификацион модули, CDMA (IS-95) стандарти телефонларидаги SIM-картанинг аналог
Rx	<i>Reception</i>	Қабул қилиш
SA	<i>Security Association</i>	Ҳимояланган уланишни қўллаб-қувватлайдиган ТС ва унга боғланган АУ учун хавфсизлик параметрлари тўплами
SAE	<i>System Architecture Evolution</i>	Тизим архитектурасининг эволюцияси (LTE тармоғининг архитектураси)
SAID	<i>Security Association Identifier</i>	SA хавфсизлик параметрларини танлаш идентификатори
SAP	<i>Service Access Point</i>	Сервис руҳсат этиш нуқтаси
SC	<i>Single Carrier</i>	Якка элтувчи

S-CSCF	<i>Serving-Call Session Control Function</i>	Чақирувлр ва сеансларни бошқариш сервери (IMS тармоғининг марказий тугуни)
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>	Синхрон рақамли иерархия
SDMA	<i>Space (or Spatial) Division (or Diversity) Multiple Access</i>	Фазовий ажратишли (ёки сурилишли) кўплаб ружсат этиш
SDU	<i>Service Data Unit</i>	Маълумотлар сервис блоки (ОТЎМ юқори даражасига узатиладиган ёки юқори даражадан қабул қилинадиган пакет)
SF	<i>Spreading Factor</i>	Кенгайтириш коэффициентлари
SF	<i>Service Flow</i>	Сервис оқими
SFID	<i>Service Flow Identifier</i>	Сервис оқими идентификатори
SFM	<i>Service Flow Management</i>	Сервис оқимини бошқариш
SFN	<i>Single Frequency Network</i>	Бир частотали тармоқ
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>	GPRS абонентларига хизмат кўрсатиш тугуни
S-GW	<i>Serving Gateway</i>	LTE/SAE тармоғида хизмат кўрсатувчи шлюз
SHO	<i>Soft Hand Off</i>	Секторлар ва базалар орасидаги юмшоқ қайта уланиш (юмшоқ хэндовер)
SI	<i>Subscriber Identity</i>	Фойдаланувчиларнинг бир турлилиги
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i>	GSM-операторлар фойдаланадиган фойдаланувчини идентификациялаш модули
SIMO	<i>Single Input Multiple Output</i>	Яккалик қабул қилиш — кўплаб ружсат этиш
SINR	<i>Signal to Interference + Noise Ratio</i>	Сигнал/(ҳалақитилар+шовқин) нисбати
SIR	<i>Signal-to-Interference Ratio</i>	Сигнал/ҳалақитилар нисбати
SM	<i>Spatial Multiplexing</i>	Фазовий мультиплекслаш
SMS	<i>Short Message Service</i>	Қисқа хабарлар хизмати
SMTP	<i>Simple Mail Transport Protocol</i>	Оддий почта транспорт протоколи

SNIR	<i>Signal to Noise + Interference Ratio</i>	Сигнал/(шовқин+ҳалақитилар) нисбати
SNR	<i>Signal-to-Noise Ratio</i>	Сигнал/шовқин нисбати
S-OFDMA	<i>Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>	Ортогонал частотавий ажратишли масштаблаштириладиган (кўламлаштириладиган) кўплаб рухсат этиш
SS	<i>Subscriber Station</i>	Абонент станцияси
SS7	<i>Signaling System 7</i>	ОКС-7 сигнализация тизими
SSID	<i>Subscriber Station Identification (MAC address)</i>	Абонент станцияси идентификатори (MAC-манзил)
SSL	<i>Sekure Sockets Layer</i>	Уланишлар хавфсизлиги даражаси
STC	<i>Space Time Coding</i>	Фазовий-вақтли кодлаш
TC	<i>Transmission Convergence sublayer</i>	Узатиш конвергент нимдаражаси (ОТЎМ физик даражаси қисми)
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>	Узатишни бошқариш протоколи
TDD	<i>Time Division Duplex</i>	Вақтли дуплекс
TDM	<i>Time Division Multiplex</i>	Вақтли мультимплекслаш
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>	Вақтли ажратишли кўплаб рухсат этиш (ВАКРЭ) технологияси
TE	<i>Terminal Equipment</i>	Терминал ускуна
TEK	<i>Traffic Encryption Key</i>	Трафикни шифрлаш калити
TIA	<i>Telecommunications Industry Association</i>	Телекоммуникация саноати ассоциацияси (уюшмаси) (АҚШ)
TLS	<i>Transport Layer Sekurity</i>	Транспорт даражаси хавфсизлиги (SSL вариант каби)
TTG	<i>Transmit/Receive Transition Gap</i>	Қабул қилиш ва узатиш субкадрлари орасидаги интервал
TTI	<i>Transmission Time Interval</i>	Вақтинча узатиш интервали
TUSC	<i>Tile Usage of SubChannels</i>	Нимканаллардан “мозаик фойдаланиш” (рус. «Мозаичное использование»)
Tx	<i>Transmission</i>	Узатиш
UCD	<i>Uplink Channel Descriptor</i>	“Юқорига” канал дескриптори
UE	<i>User Equipment</i>	Фойдаланувчи ускунаси
UGS	<i>Unsolicited Grant Service</i>	Каналга сўзсиз рухсат этиш (QoS даража)
UID	<i>User-Identity</i>	Фойдаланувчи идентификатори

UL	<i>Uplink</i>	“Юқорига” йўналишдаги канал (АУ дан ТС га)
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>	Универсал мобил телекоммуникацион тизим (3G авлод стандарти)
U-НII	<i>Unlicensed National Information Infrastructure</i>	Лицензияланмайдиган частоталар бўйича миллий ахборот инфратузилмаси
USIM	<i>Universal Subscriber Identity Module</i>	Абонентнинг универсал идентификацион модули (UMTS-операторлар фойдаланадиган интеллектуал карталар)
VLAN	<i>Virtual LAN</i>	Виртуал локал тармоқ
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i>	IP протокол бўйича товушларни узатиш
VoLTE	<i>Voice over LTE</i>	LTE тармоғи бўйича товушларни узатиш
VPN	<i>Virtual Private Network</i>	Виртуал хусусий тармоқ
VSM	<i>Vertical Spatial Multiplexing</i>	Вертикал фазовий мультиплекслаш
WAP	<i>Wireless Application Protocol</i>	Симсиз иловалар протоколи
W-CDMA	<i>Wideband Code-Division Multiple Access</i>	Радиорухсат этиш технологияси-кодли ажратишли кўплаб рухсат этиш
WEP	<i>Wired Equivalent Privacy</i>	Симлига тармоқлардагига эквивалент конфиденциаллик
WiBro	<i>Wireless Broadband (Service)</i>	Симсиз кенг полосали (Samsung компанияси стандарти)
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>	Симсиз аниқлик (IEEE 802.11 a/b/g/n стандартларининг тижорий номланиши)
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>	Юқори частотали рухсат этишда бутундунё мослашувчанлиги (IEEE 802.16 d/e/m стандартларининг тижорий номланиши)
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>	Симсиз локал тармоқ
WPA	<i>Wi-Fi Protected Access</i>	Wi-Fi тармоқларидаги ҳимояланган рухсат этиш
WRC	<i>World Radio Conference</i>	Бутунжаҳон радиоалоқа конференцияси (БРК)

WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>	Кенг хуруга тақсимланган симсиз тармоқ
X.25		ОТЎМ модели тармоқ даражасининг протоколлари оиласи. Етарлича юқори частотали хатоликларли линияларли телефон тармоқлари асосидаги WAN ни ташкил этиш учун мўлжалланган, шунинг учун хатоликларни тузатишнинг ривожланган механизмларидан иборат. Уланишларни ўрнатиш билан ишлашга йўналтирилган.
X.509		Очиқ калитли тизимларни рақамли сертификатлаштириш учун ITU стандарти

Ўзбек тилида

АКТ		Ахборот-коммуникацион технологиялар
АМ		Амплитудавий модуляция
АРЎ/ РАЎ		Аналог-рақамли ўзгартиргич/ рақамли-аналог ўзгартиргич
ИЯМ		Ички ялпи маҳсулот (давлатнинг макроиқтисодий кўрсаткичи)
МУТ		Маълумот узатиш тармоғи
ОТЎМ	<i>ISO/OSI</i>	Очиқ тизимларнинг ўзаро ишлаш модели
ОҚТТ		Оператив-қидирув тадбирларини таъминлаш тизими
ПКТ		Пакетларни коммутациялаш тармоғи
РЧС		Радиочастота спектри
РЭВ		Радиоэлектрон восита
УФТТ	<i>PSTN</i>	Умумий фойдаланиш телефон тармоқлари
УЮЧ	<i>UHF</i>	Ультра юқори частоталар
УҚТ		Ультра қисқа тўлқинлар
ФМ		Фазавий модуляция
ЧМ		Частотавий модуляция
ЭМҲ		Электромагнит ҳолат
ЭММ		Электромагнит мослашувчанлик
ЮЧҚ		Юқори частотали ускуна
ЎЮЧ	<i>SHF</i>	Ўта юқори частоталар диапазони

ГЛОССАРИЙ

Ажратилган канал	Маълум фойдаланувчилар гуруҳига бириктирилган канал (транкинг тизимларда).
Ажратиш (радиочастота ёки радиочастота канали)	Бир ёки бир неча кўрсатилган давлатларда ёки маълум шароитлардаги географик зоналарда (худудларда) ер сирти ёки космик (коинот) радиоалоқа хизматлари учун уни бир ёки бир неча маъмуриятлар фойдаланиши мақсадида компетент конференция томонидан қабул қилинган мувофиқлаштирилган режада маълум частота каналини ёзиш.
Антенна	Антенна радиотўлқинлар нурланишларини тўғридан-тўғри қабул қилиш учун ускуна. Радиотўлқинларни узатиш (қабул қилиш) диапазони частота бўйича қоплаш (перекрытием), узатишнинг ёки қабул қилишнинг йўналтирилганлиги, ишлаш принципи ва конструктив бажарилиши билан фарқланади. Антенналарнинг асосий параметрлари ва характеристикалари: йўналтирилганлик коэффициенти, йўналтириш диаграммаси, нурланиш диаграммаси, тўлқиннинг кутбланиши тури.
Антенна фидери	Антеннага узаткич ёки қабул қилгични улаш учун хизмат қиладиган икки ўтказгичли линия ёки тўлқин ўтказгич.
Бериш (присвоение) (радиочастота ёки радиочастота канали)	Маъмурият томонидан қандайдир радиостанцияга маълум шароитларда радиочастоталар ёки радиочастота каналидан фойдаланишга бериладиган рухсат.
Бир томонлама радиоалоқа	Радиостанциялардан бири фақат узатишни, бошқаси (бошқалари) эса қабул қилишнинг амалга оширадиган радиоалоқа.
Бир частотали симплекс радиоалоқа	Радиостанциялар орасидаги алоқа битта частотада амалга ошириладиган симплекс радиоалоқа.
Вақтли ажратишли кўп сонли рухсат этиш (ВАКСРЭ)	Барча абонентлар ахборотларни битта элтувчи частотада, лекин ораларида ҳимоя интерваллари (ингл. <i>TDMA</i>) киритилган турли вақт интервалларида (“ойналарда”) узатадиган рухсат этиш усули.
Вокодека	Товуш сигналини кодлаш ва декодлаш ускунаси.

Дециметрли тўлқинлар (ДМТ)	300 MGs дн 3000 MGs гача частоталар диапазоли. 0,1 дан 1 м гача тўлқин узунликлари диапазоли. Бошқача номи УЮЧ (ингл. <i>UHF</i>).
Дуплексли радиоалоқа	Бир вақтда қабул қилиш билан узатиш амалга ошириладиган икки томонлама радиоалоқа.
Ер сирти радиоалоқаси	Космик (коинот) радиоалоқа ва радиоастрономиядан ташқари барча радиоалоқа.
Икки томонлама радиоалоқа	Икки пунктлар орасидаги (уларнинг ҳар бирида узаткич ва қабул қилгич жойлашган) ҳар иккала йўналишларда қабул қилиш ва узатиш амалга ошириладиган радиоалоқа.
Икки частотали симплекс радиоалоқа	Радиостанциялар орасидаги алоқа турли частоталарда амалга ошириладиган симплекс радиоалоқа.
Ишчи радиочастоталар диапазони	Чегараларида радиостанциянинг ишлаши таъминланадиган частоталар полосаси.
Ишчи радиочастоталар тўри	Маълум ишчи радиочастоталар интерваллари орқали кейинги кўплаб частоталар.
Ишчи радиочастоталар тўри қадами	Ишчи частоталар тўрига кирадиган ишчи радиочастоталар кўшни дискрет қийматлари орасидаги фарқ.
Ишчи частота	Радиостанция бир ёки бир неча бошқа станцияларга ахборотларни узатадиган элтувчи частотанинг аниқ номинали.
Йўналтирилган антенна	Маълум йўналишларда радиотўлқинларни бошқа антенналарга қараганда, самарали узатиш ва қабул қилишни таъминлайдиган антенна.
Қабул қилгич (радиоқабул қилгич)	Антеннага уланган ва радио қабул қилиш учун хизмат қиладиган.
Қабулловчи- узатувчи радиостанция	Умумий элементли, кўпинча умумий антеннали радиоузаткич ва радиоқабул қилгич бирлиги.
Қамраш зонаси (худуди) (ер сирти қабул қилиш станцияси)	Чегараларида маълум техник шароитларда бир ёки бир неча узатиш станциялари орасида радиоалоқа ўрнатилиши мумкин бўлган мазкур хизмат узатиш станцияси ва маълум частотага боғлиқ зона (худуд).
Каналлар фарқи (разнос)	Маълум радиоканаллар гуруҳида икки кўшни характерли частоталар орасида частота бўйича фарқ.

Каналларни сканерлаш	Ахборотларни узатиш учун каналларни яроклилиги нуқтаи назаридан алоқа каналларини текшириш жараёни. Бунда қабул қилгич киришидаги шовқин сатҳи ўлчанади ёки жорий сигнал/ҳалақитлар нисбати аниқланади.
Кластер	Чегараларида бутун ажратилган частота ресурсидан фойдаланиладиган ва рухсат этиладиган ўзаро ҳалақитлар сатҳи ортиб кетиши туфайли частоталардан такроран фойдаланиш мумкин бўлмаган бир неча яқин жойлашган соталар гуруҳи.
Кодлаш	Хабар ёки узлуксиз сигнални кодга ўзгартириш. Кодлаш алоқа тизимларида, рақамли ҳисоблаш машиналарида ва бошқаларда ахборотларни узатишда, сақлашда ёки қайта ишлашда қўлланилади. Кодлашдан мақсад - сигнални маълумот манбаъсидан узатилишида шундай ўзгартиришки, токи алоқа каналида сигнал узатилишига ёки маълум бир тизим томонидан ишлов беришга энг яхши шароитлар таъминлансин
Конвенционал (оддий) радиоалоқа режими	Бириктирилган ишчи частоталар каналидан фойдаланишга асосланган алоқа режими. Кўпинча аналог радиостанциялар билан ишлашда қўлланилади.
Контекст	LTE\SAE тармоқлари нинг тугунлари орасида бошқарув хизмат ахборотлари.
Контент	(ингл. <i>content</i> -мавжуд)-ахборот ресурсини исталган ахборот қийматли (значимое) тўлдирилиши.
Қоплаш зонаси (худуди) (ер сирти узатиш станцияси)	Чегараларида маълум техник шароитларда бир ёки бир неча қабул қилиш станциялари орасида радиоалоқа ўрнатилиши мумкин бўлган мазкур хизмат узатиш станцияси ва маълум частотага боғлиқ зона (худуд).
Кўшни канал	Ишчи частотанинг ёнида жойлашган ва ундан частоталар тўри қадамига (масалан, 25kGs) каррали қийматга жойлашадиган канал.
Макросота	Кенг қоплашни таъминлайдиган ва тез ҳаракатланадиган абонентларга хизмат кўрсатиш бўйича функцияларни ўз зиммасига оладиган сотали алоқа тармоғи иерархик тузилмасидаги соталар турларидан бири.

Мантиқий канал	Бир мантиқий канал портидан бошқа мантиқий канал портига маълумотлар узатиладиган йўл. Битта ёки кетма-кет физик каналларда ётқизилади. Бунда мантиқий канал физик каналда ажратилган вақт интервалидан ёки частоталар полосасидан фойдаланиши мумкин.
Маъмурият	Айни бир давлат алоқа маъмурияти (ростловчи).
Микросота	Сотали алоқа тармоғининг иерархик тузилишида талаб қилинган худудларда тармоқ сигимини таъминловчи сота турларидан бири. У асосан секин ҳаракатланувчи абонентларга хизмат кўрсатади (одатда, пиёдалар ёки шаҳар кўчаларидаги автомашиналар).
Номинал қувват	Стандартлар ёки техник шартлар томонидан ўрнатилган ишлатиш шароитларида берилган диапазонда мослаштирилган юкламада ўлчанадиган қувват.
Очиқ стандарт	Ускуналар ишлаб чиқарувчилари учун спецификациялари умумий рухсат этиладиган телекоммуникацион тизимнинг (ёки исталган техник тизимнинг) қўшма ишлаб чиқилган стандарти.
Пиксота	Фемтосотадаги каби ўша концепцияда қуриладиган кичик ўлчамлардаги сота. Лекин фемтосотадан фарқли равишда бу мустақил таянч станция эмас, фақат стандарт контроллерга “катта” таянч станцияга уланишни талаб қиладиган сигналларни қабул қилиш ва узатиш учун чиқариладиган элемент.
Радиоалоқа	Радиотўлқинлар орқали амалга ошириладиган электр алоқа.
Радиоалоқа канали	Икки томонлама алоқа канали оралиғи.
Радиоқабуллаш ўликзонаси (худуди)	Сигналарини қабул қилиш бўлмайдиган радиоузаткич атрофидаги зона (худуд).
Радиорелели алоқа	Дециметрли ва янада қисқа радиотўлқинларда радиосигналларни ретрансляция қилишга асосланган ер сирти радиоалоқаси.

Радиостанция	Маълум жойда радиоалоқа хизмати ва радиоастрономик хизматни амалга ошириш учун зарур бўлган ёрдамчи ускуналарни бир ёки бир неча узаткичлар ёки қабул қилгичлар, ёки уларнинг комбинацияси. Ҳар бир станция у доимий ёки вақтинча ишлайдиган хизматларга мос равишда синфларга ажратилади.
Радиотизимнинг ҳалақитбардошлиги	Радио тизимнинг радио ҳалақитларнинг таъсирига қарши тура олиш қобилияти.
Радиочастота спектри (РЧС)	Уч минг гигагерц интервалдан пастда шартли қабул қилинган радиочастоталар.
Радиочастота спектри фойдаланувчиси	Радиоэлектрон воситалар ва юқори частотали ускуналарни ишлатишга ва радиочастоталардан фойдаланишга мос радиочастота органидан рухсатга эга бўлган юридик ёки жисмоний шахс.
Радиочастота орган	Ажратилган радиочастоталар чегараларида радиочастота спектридан фойдаланишни ростлаш бўйича қонунга мос ваколатли давлат органи
Симплекс радиоалоқа	Ҳар бир радиостанцияда узатиш ва қабул қилиш навбатма-навбат амалга ошириладиган амалга ошириладиган икки томонлама радиоалоқа.
Симулкаст	Айни бир хабарни бир вақтда бир неча ретрансляцион станцияларнинг мувофиқлаштирилган узатиши (ингл. <i>Simulcast</i>).
“Сигнал/шовқин” нисбати	Одатда децибелларда ифодаланадиган, узатиш каналининг маълум нуқтасида ва маълум шароитларда ўлчанган ҳалақит қилувчи сигналлар ва шовқинлар умумий қувватига фойдали сигнал қувватининг нисбати (ингл. <i>SNR</i>).
Слот	Вақт оралиғи (ингл. <i>Slot</i> ёки <i>Time Slot</i>).
Сота	Битта таянч станция қоплайдиган географик зона (худуд).
Сотали тизим	Бир неча таянч узатувчи-қабулловчи станциялар ва уларга мос мобил терминаллар жойлаштирилган қоплаш зоналаридан (соталардан) ташкил топган алоқа тизими.

<p>Сурилган қабул қилиш</p>	<p>Нативавий сигнал қабул қилинадиган ўша бир ахборотни ташийдиган, лекин бир-бирларидан частота, поляризация (қутбланиш) ёки антенналарнинг йўналтирилганлиги каби характеристикалари билан фарқланадиган турли радиотрассалар ёки турли узатиш каналлари бўйича келадиган бир неча радиосигналлардан олинадиган усул.</p>
<p>Тақсимлаш (частоталар полосаси)</p>	<p>Ундан маълум шароитларда бир ёки бир неча ер сирти ва космик (коинот) радиоалоқа хизматлари ёки радиоастрономик хизматлар фойдаланиши мақсадида қандайдир маълум радиочастота полосасини Частоталарни тақсимлаш жадвалига ёзиш.</p>
<p>Таянч станция контроллери</p>	<p>Таянч станциянинг ишлашини бошқариш ускунаси. Ретранслятор каналларининг коммутацияланишини таъминлайди, умумий фойдаланишдаги телефон тармоғига ёки бошқа турғун алоқа тармоғига ва бошқаларга чиқишни таъминлайди.</p>
<p>Таянч станцияси (ТС)</p>	<p>Мобил абонентлар билан чекланган географик зонада (худудда) алоқани ташкил этиш учун фойдаланиладиган бир каналли ёки кўп каналли стационар қабулловчи-узатувчи станция. “Таянч станция атамаси” транкиннг тизим қоплаш зонасига (худудига), сотага, сота ичидаги секторга ёки соталар гуруҳига кириши мумкин.</p>
<p>Техник воситаларнинг электромагнит мослашувчанлиги (ЭММ)</p>	<p>Техник ускунанинг берилган электромагнит ҳолатда берилган сифатда шаклланиши қобилияти ва бошқа техник воситаларга рухсат этилмайдиган электромагнит ҳалақитларни ҳосил қилмаслиги.</p>
<p>Транкиннг</p>	<p>Ажратилган диапазонда ҳар бир терминал исталган бир неча турғун частоталарда ишлай оладиган абонентнинг сўрови бўйича бўш каналларни автоматик тақсимлаш усули.</p>
<p>Транкиннг тизимлар</p>	<p>Транкиннг усулидаги алоқани ташкил этиш учун радиоалоқа тизими.</p>
<p>Трафик</p>	<p>Тармоқ муҳитида трафик сўзи деганда (ингл. Traffic - ҳаракат, транспорт, савдо) маълум вақт оралиғида сервер орқали ўтадиган маълумотлар ҳажми тушунилади.</p>

Узатиш	Мос қабул қилиш воситалари эга бўлган ва радио ёки кабель тармоқлари орқали амалга ошириладиган кўп сонли фойдаланувчилар учун мўлжалланган бир томонлама телекоммуникациялар тури.
Узаткич	Ҳаракатдаги хизматларда қўлланиладиган ва селектив чақирув (рус. <i>позывной</i>) сигналлари ёки бошқариш сигналлари билан бирга маълумотлар ва нутқ учун товуш частотаси сигналларини частота, фаза, амплитуда ёки импульс бўйича модуляцияланадиган радиочастота сигналларига ўзгартириш учун мўлжалланган ускуна.
Ультра юқори частоталар (УЮЧ)	300MGs дан 3000MGs гача частоталар диапазони (ингл. <i>UHF</i>).
Ўта юқори частоталар (ЎЮЧ)	30MGs дан 300MGs гача частоталар диапазони. 1...10м тўлқин узунликлари (ингл. <i>VHF</i>).
Ўтказиш қобилияти (алоқа каналининг)	Алоқа канали бўйича энг катта ахборотларни узатиш тезлиги. Секундига узатиладиган иккилик символлар битлар сони билан ўлчанади.
Ўтказиш полосасининг номинал кенглиги	Частотавий каналлар ораларидаги ҳимоя оралиқларини ўз ичига оладиган частоталар полосасининг йиғинди кенглиги.
Фемтосота (ингл. Femtocell)	Унча катта бўлмаган ҳудудга (битта офис ёки квартира) хизмат кўрсатиш учун мўлжалланган кичик қувватли ва миниатюралари (кичкина) сотали алоқа станцияси. Фойдаланувчига ўтказилган алоқа канали орқали сотали оператор тармоғига уланади, одатда 2 дан 5 тагача телефонларни қўллаб-қувватлайди.
Фидер	Унинг ёрдамида радиочастота энергияси радиоузаткичдан антеннага ёки антеннадан радиоқабул қилгичга узатиладиган электр занжир ва ёрдамчи ускуналар.
Халақитлар	Фойдали сигнални қабул қилишда бошқа сигналдан ёки электромагнит таъсирдан вужудга келадиган халақитлар.

<p>Халқаро телекоммуникация тгтфоқи (ҲТИ)</p>	<p>Халқаро ҳукуматлараро ташкилот. ҲТИ Парижда 1865 йилнинг 17 майида 22 та давлат томонидан таъсис этилган. 1947 йилдан БМТ нинг махсуслаштирилган ташкилоти (учреждения) ҳисобланади. 180 тадан ортиқ давлатлар ҲТИ аъзоси ҳисобланади. ҲТИ давлатлар орасида РЧС ни тақсимлашни ва ажратилган частоталарни рўйхатга олишни, турли давлатлар радиостанцияларининг ишлашида ҳалақитларни йўқотиш бўйича чораларни ва бошқаларни амалга оширади.</p>
<p>Ҳаракатдаги хизматлар</p>	<p>Ҳаракатдаги ва қуруқликдаги станциялар орасида ёки ҳаракатдаги станциялар орасида радиоалоқа хизмати.</p>
<p>Частота билан ажратилган дуплексли радиоалоқа</p>	<p>Узатиш ва қабул қилиш каналлари ҳимоя оралиқлари билан ажратилган турли частоталарда бўладиган алоқа линиясининг иш режими.</p>
<p>Частотадан такроран фойдаланиш</p>	<p>Турли хизмат кўрсатиш зоналарида (ҳудудларида) аёни бир частота кўп фойдаланиладиган алоқани ташкил этиш усули. Частоталардан такроран фойдаланишли частотавий-ҳудудий режалаштириш-нинг қўлланилиши частотавий каналларнинг сони чекланганда тармоқнинг ўтказиш қобилиятини оширишга имкон беради.</p>
<p>Частоталар полосаси</p>	<p>Иккита маълум чеклайдиган частоталар орасида жойлашган узлуксиз частоталар полосаси.</p>
<p>Частоталар полосаси кенглиги</p>	<p>Частоталар полосасининг юқори ва пастки чегаралари орасидаги фарқ.</p>
<p>Частоталар ўтказиш полосаси</p>	<p>Сигналнинг шакли сезиларсиз бузилишли узатилишини таъминлаш учун масалан, радиотехник ускунанинг амплитуда-частотавий характеристикаси унинг чегараларида етарлича бир текис бўладиган частоталар диапазони. Частоталар ўтказиш полосасининг асосий параметрлари: частоталар ўтказиш полосасининг чегараларида полосанинг кенглиги ва амплитуда-частотавий характеристикасининг нотекислиги.</p>
<p>Элтувчи частота</p>	<p>Ахборотларни узатиш мақсадида сигналлар билан модуляцияланган гармоник тебранишлар частотаси. Модуляцияланган сигналлар гармоник ҳисобланмайди ва уларнинг спектри элтувчи частотадан ташқари ён частоталарга эга бўлади. Фақат ён частоталар тебранишлари узатиладиган сигналларга эга бўлади.</p>

Юқори частоталар (ЮЧ)	3 MGs дн 30 MGs гача частоталар диапазони. 10 дан 100 м гача тўлқин узунликлари диапазони (ингл. <i>HF</i>).
Юқори частотали ускуналар (ЮЧУ)	Улардан радиотўлқинларни узатиш ва қабул қилишда фойдаланмасдан саноат, илмий, тиббиёт, маиший ёки бошқа мақсадлар учун радиочастотавий энергияни генерациялаш ва фойдаланиш учун мўлжалланган ускуналар ва асбоблар.
Яримдуплекс радиоалоқа	Узатишдан қабул қилишга автоматик ўтишли ва мухбирни (корреспондент) қайта сўраш имкониятили симплекс радиоалоқа.

Фойдаланилган адабиётлар ва ахборот ресурслари руйхати

1. Evolution to LTE report. GSA материаллари. May 11, 2011.
http://www.gsacom.com/gsm_3g/info_papers.php4.
2. CDMA Statistics. CDG материаллари. April 21, 2011.
http://www.cdg.org/resources/cdma_stats.asp
3. Л.М. Невдяев. Мобильная связь 3-го поколения. – М: Связь и бизнес, 2000. С.18-19, 33.
4. 3GPP лойиха сайти. <http://www.3gpp.org/LTE-Advanced>.
5. В.Вишнеvский, А.Красилов, И.Шахнович. Технология сотовой связи LTE – почти 4G. Журнал «Технологии» 2, 2009.
6. ХТИ презентацияси. www.itu.int/ITU-D/tech/events/2007/.../Presentation_Moscow_TMuluk.pdf
7. Сайт WiMAX Forum. WiMAX 2 and WiMAX 2 Collaboration Initiative. <http://www.WiMAXforum.org/>
8. APCO жамият хавфсизлиги хизматлари алоқалари раҳбарлари ассоциацияси 25-лойихаси – <http://www.apco911.org/project25>
9. TETRA MOU халқаро форум материаллари.
<http://www.tetramou.com/>
10. Стефен Ринг. Перспективы развития мобильной радиосвязи.
<http://www.projectmesa.org>
11. Ericsson компанияси пресс-релизи.
<http://www.ericsson.com/thecompany/press/releases/2010/07/1430616>
12. Википедия материаллари. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
13. Онлайн Энциклопедии Кругосвет. <http://www.krugosvet.ru/>
материаллари.
14. *Wireless Mobile Telephony*. Arian Durresi. CIS Department. The Ohio State University. <http://www.cis.ohio-state.edu/~durresi/>
15. Википедия материаллари.
http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_mobile_phone_standards
16. DECT Forum meeting in Paris, January 1997. DECT форуми материаллари.
17. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения. “Связь и бизнес”, М. 2000. С 12-17.
18. Поколения мобильной телефонии. Википедия материаллари.
<http://ru.wikipedia.org/wiki/>
19. Fact Sheet: GSM/3G/WCDMA-HSPA, HSPA+ and LTE. GSA материаллари. http://www.gsacom.com/gsm_3g/info_papers.php4
20. NTT DoCoMo пресс-релизи.
<http://www.nttdocomo.com/pr/2007/001319.html>
21. CDMA Statistics. CDG материаллари. May 17, 2011.
http://www.cdg.org/resources/cdma_stats.asp
22. В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010. - 284 с.

23. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения. "Связь и бизнес", М. 2000. С 27-30.
24. Википедия материаллари. <http://ru.wikipedia.org/wiki/FOMA>
25. 3GPP материаллари. <http://www.3gpp.org/LTE>
26. Интернет материаллари. http://www.itworld.com/mobile-wireless/133210/ericsson-mobile-broadband-subscriptions-will-double-2011?source=itw_rss.
27. Интернет материаллари. www.mforum.ru/news/article/093359.htm
28. Интернет материаллари. http://www.ravcom-w.ru/about_us/press_centre/telecom_news/1313-ericsson
29. МТС компаниясининг пресс-релизи. http://www.company.mts.ru/press-centre/press_release/2010-12-22-995076/
30. Википедия материаллари. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Биллинг>
31. В. Вишневский, С. Портной, И. Шахнович. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. М: Техносфера, 2009. – 472с.
32. НТЦ А ЭМС (Россия) материаллари. <http://www.caemc.ru/caemc/page.php?trid=2043>
33. 3GPP лойихаси 33.401, 33.402 техник спецификациялари. http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/33_series/33.401/
http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/33_series/33.402/
34. Википедия материаллари. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>.
35. Википедия материаллари. <http://ru.wikipedia.org/wiki/802.11n>
36. Пролетарский А.В., Баскаков И.В., Чирков Д.Н., Федотов Р.А., Бобков А.В., Платонов В.А. Беспроводные сети Wi-Fi. БИНОМ. Лаборатория знаний, Интернет-университет информационных технологий - ИНТУИТ.ру, 2007.
37. Мерит Максим, Дэвид Полино. Безопасность беспроводных сетей. М.: Компания "АйТи"; ДМК Пресс, 2004, 288 с
38. WiMAX форуми материаллари: <http://www.WiMAXforum.org/>
39. ITU-R WP8F/ITU-R Prop. WP/1065. ХТИда IEEE таглифи. www.itu.int/md/dologin_md.asp?lang=es&id=R07-IMT.ADV-C...E
40. Абдукадыров А.Х. WiMAX- эффективное решение проблемы «Цифрового неравенства». Журнал «InfoCOM.Uz» 3, 2006.
41. Develop a Global Partnership for Development <http://www.un.org/millenniumgoals/global.shtml>
42. WiMAX форуми материаллари: <http://www.WiMAXforum.org/>
43. Википедия материаллари. http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.16
44. ETSI материаллари. <http://portal.etsi.org/portal/server.pt/community/BRAN/299>
45. ETSI материаллари. <http://www.etsi.org/WebSite/technologies/HiperMAN-WiMAXTesting.aspx>
46. Википедия материаллари. <http://ru.wikipedia.org/wiki/WiBro>
47. WiMAX форуми материаллари: <http://www.WiMAXforum.org/>
48. WiMAX форуми материаллари: <http://www.WiMAXmaps.org/>

49. WiMAX бўйича маълумотнома: <http://www.WiMAXhandbook.ru/>
50. WiMAX 802.16E: Подходы к качественному улучшению рабочих характеристик систем мобильного широкополосного доступа стандарта 802.16E. Клаус Даниэль (Klaus Daniel), Директор центра компетенции беспроводных систем связи компании Alcatel-Lucent в странах СНГ, 2007г. <http://www.mforum.ru/news/article/058869.htm>
51. WiMAX форуми материаллари:
http://www.WiMAXforum.ru/technology/downloads/WiMAX_internet_future_pocket_guide.pdf
52. Интернет материаллари.
<http://WiMAX.livebusiness.ru/news/4963/>
53. О. Татарников. Развитие беспроводных сетей в России. - Компьютер пресс, 5/2005, -с. 4-13.
54. IEEE 802.16e D8 Security Review:
http://www.ieee802.org/16/tge/contrib/C80216e-05_373.pdf
55. Glore, N. & Mishra, A., Chapter 11 "Privacy and Security in WiMAX Networks" in "WiMAX Standards and Security" (Edited by M. Ilyas & S. Ahson), CRC Press, June 2007.
56. Wireless.ru материаллари: <http://www.wireless.ru/clearwire-corporation-xotel-by-obedinit-WiMAX-i-lte/>

107000

Абдукадиров Алишер Хабибуллаевич

Давронбеков Дилмурод Абдужалилович

МОБИЛ АЛОҚА ТИЗИМЛАРИНИНГ 4G АВЛОДИ

Ўқув қўлланма

*Ўзбекистон Республикаси олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги
томонидан ўқув қўлланма сифатида тавсия этилган (2015 йил
2 февралдаги 32-сонли буйруқ)*

Масъул муҳаррир **А.АБДУАЗИЗОВ**

Техник муҳаррир **Я.Т. ЮСУПОВ**

Мусаххих **С.АБДУЛЛАЕВА**

**Bosishga ruxsat etildi 20.04.2015. Bichimi 60x84 1/16.
“Times New Roman” garniturası. Ofset bosma usulda bosildi.
Nashr b.t. 20,5. Adadi: 100.**

**“O`quv-ta`lim metodika” DUK bosmaxonasida chop etildi.
Furqat ko`chasi, 174-uy.
Tel.: (+998 71) 245-06-98**