

Musaev M.M., Raximov M.F., Berdanov U.A.

519
M 90

TIZIMLAR VA SIGNALLARNI QAYTA ISHLASH

O'quv qo'llanma

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

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

Musaev M.M., Raximov M.F., Berdanov U.A.

TIZIMLAR VA SIGNALLARNI QAYTA ISHLASH

(O‘quv qo‘llanma)

5330500 - Kompyuter injiniring, 5350100 - Telekommunikatsion texnologiyalar (“Teleradioeshittiruv”); 5350100 - Telekommunikatsion texnologiyalar (“Telekommunikatsiyalar”); 5350100 - Telekommunikatsion texnologiyalar (“Mobil tizimlar”) bakalavriat yo‘nalishlari talabalari uchun mo‘ljallangan

Toshkent-2022

Taqrizchilar:

Sevinov J.U. – Islom Karimov nomidagi TDTU, «Axborotlarga ishlov berish va boshqarish tizimlari» kafedrasini mudiri, t.f.d., professor.

Hamdamov U.R. – TATU “Telekommunikatsiyada boshqaruv tizimlarining apparat va dasturiy ta’minoti” kafedrasini dotsenti, t.f.d.

Musaev M.M., Raximov M.F., Berdanov U.A. Tizimlar va signallarni qayta ishlash. O’quv qo’llanma. 2022.199 b.

O’quv qo’llanmada signallarning tuzilishi, tarkibi va asosiy tushunchalari, ularni vaqt hamda chastota sohasida ishlov berish usullari va algoritmlarini tahlil qilish, signallarning xususiyatlarini o’zlashtirish, tiklash, filtrlash, siqish va uzatish jarayonlarini raqamli signal protsessorlarida dasturlashni o’rganish, shuningdek, tizimlar va signallarga raqamli ishlov berish apparat-dasturiy arxitekturasining injiniring masalalari ko’rilgan. Tizimlar va signallarni qayta ishlashning asosiy tushunchalari, shuningdek real vaqt rejimida ishlash talablari hamda joriy etish platformalarining xususiyatlari yoritilgan. So’ng, signallarga raqamli ishlov beruvchi zamonaviy protsessorlar, ularning umumiy arxitekturasi, ishlash tartiblari va boshqarish obyekti bilan ulanish interfeyslari o’rganiladi. Signallarga ishlov berishning sohalarda qo’llanilishi, nutq va tibbiyotdagi biosignallarda qo’llaniladigan algoritmlari batafsil yoritilgan. Shuningdek, Texas Instruments va Analog Devices kompaniyalariga tegishli signal protsessorlar oilasining xususiyatlari va imkoniyatlari ham o’rganilgan.

Tizimlar va signallarni qayta ishlash dasturiy ta’minot vositalariga, loyihalashtirish, sozlash va amaliy joriy etilishga katta ahamiyat berilgan.

5330500 - Kompyuter injiniringi; 5350100 - Telekommunikatsion texnologiyalar (“Teleradioeshittiruv”); 5350100 - Telekommunikatsion texnologiyalar (“Telekommunikatsiyalar”); 5350100 - Telekommunikatsion texnologiyalar (“Mobil tizimlar”) bakalavriat yo’nalishlari talabalari uchun mo’ljallangan.

MUNDARIJA

	Kirish.....	5
I BOB	SIGNALLAR, ULARNING TURLARI, PARAMETRLARI VA XOSSALARI	7
	1.1. Signallarni qayta ishlash tizimlarining tarkibi va tuzilishi	7
	1.2. Signallarni qayta ishlash qurilmalarining asosiy elementlari va vazifalari, signallarning vaqt va chastota sohasida ifodalanishi	8
	1.3. Signallarni vaqt bo'yicha diskretlash va amplituda bo'yicha kvantlash	14
	1.4. Analog-raqam va raqam-analogli o'zgartirgich	17
	Nazorat savollari	22
II BOB	VAQT SOHASIDA SIGNALLARNI QAYTA ISHLASHNING ASOSIY OPERATSIYALARI	23
	2.1. Signallarning lokal va integral xususiyatlari	23
	2.2. Svyorka va korrelyatsiya amallari	24
	2.3. Z-o'zgartirish	29
	Nazorat savollari	30
III BOB	SIGNALLARNI RAQAMLI FILTRLASH	31
	3.1. Signallarni shovqinlardan tozalash vazifalari	31
	3.2. Chekli impuls xususiyatli raqamli filtr qurish	34
	3.3. Chekli impuls xususiyatli filtr koeffitsiyentlarini hisoblash	35
	3.4. Signallarni interpolyatsiya va detsimatsiyalash	38
	Nazorat savollari	40
IV BOB	SIGNALLARNI CHASTOTA SOHASIDA IFODALASH, SPEKTRAL TAHLIL	42
	4.1. Signallarni spektral sohasida ifodalash	42
	4.2. Adamar o'zgartirishi	46
	4.3. Lokal bazis tizimlari	48
	4.4. Veyvlet o'zgartirishi va uning turlari	50
	4.5. Signalning kepsstral parametrlarini hisoblash algoritmi	52
	4.6. Signallarga funksiyali ishlov berishning umumiy algoritmlari	57
	Nazorat savollari	59
V BOB	SIGNALLARNI QAYTA ISHLASH TIZIMLARINING ISHLASH REJIMLARI	60
	5.1. Signallarni qayta ishlash tizimlarining apparat ta'minoti	60
	5.2. Real vaqt rejimi	61
	5.3. Joriy dasturning uzilish rejimi	63
	5.4. Ma'lumotlarni kiritish/chiqarish rejimi	65
	Nazorat savollari	66
VI BOB	SIGNAL PROSESSORLARINING ARXITEKTURASI	67
	6.1. Signal protsessorlari xotirasining tashkil etilishi	67
	6.2. Signal protsessorlarida qo'llaniladigan manzillash usullari	72
	Nazorat savollari	77

VII BOB	SIGNALLARNI QAYTA ISHLASH ALGORITMLARINING APPARATLI AMALGA OSHIRILISHI	78
	7.1. Unumdorlikni oshiruvchi funksiyali tugunlar	78
	7.2. Qo'shimcha arifmetik qurilmalar	82
	7.3. Raqamli ishlov berish sikllarini texnik jihatdan tashkil etish	84
	7.4. Bir necha arifmetik-mantiqiy qurilmalardan foydalanish	85
	Nazorat savollari	88
VIII BOB	SIGNAL PROTSESSORLARIDA MA'LUMOTLARNI TAQDIM ETISH VA ISHLOV BERISH	89
	8.1. Signal protsessorida xotira va shinani tashkil etishdagi parallelizm	89
	8.2. Ma'lumotlarni qayta ishlash buyruqlari darajasidagi parallelizm ...	93
	8.3. Algoritmarda ma'lumotlarni ifodalash formatlari va shakllari	94
	8.4. Hisoblash yadrosida ma'lumotlar ustidagi amallar.....	104
	Nazorat savollari	112
IX BOB	SIGNALLARNI QAYTA ISHLASH TIZIMLARINING DASTURIY TA'MINOTI	113
	9.1. Amaliy va tizimli dasturlar	113
	9.2. Operatsion tizimlarning xususiyatlari	114
	9.3. Ijro va ishlab chiqish muhiti	116
	9.4. Signal protsessorlari uchun operatsion tizimlar	120
	9.5. Operatsion tizim arxitekturalari	123
	9.6. Operatsion tizimni tanlash	129
	Nazorat savollari	132
X BOB	SIGNALLARNI QAYTA ISHLASH TIZIMLARINING HISOBLASH SAMARADORLIGINI OSHIRISH	133
	10.1. Signal protsessorlarining hisoblash tezkorligini oshirish usullari ..	133
	10.2. Apparat-dasturiy parallelizm	138
	10.3. Raqamli ishlov berish tizimidagi maxsus protsessorlar	142
	10.4. Kompyuterning video va audio karta protsessorlari	146
	Nazorat savollari	151
XI BOB	SIGNAL PROTSESSORLARINING ZAMONAVIY MODELLARI ...	152
	11.1. Texas Instruments kompaniyasining signal protsessorlari	152
	11.2. Analog Devices kompaniyasi signal protsessorlarining modellari	162
	11.3. Motorola kompaniyasining signal protsessorlar modellari	172
	11.4. Signal protsessorlar arxitekturasi rivojlanish istiqbollari.....	176
	Nazorat savollari	183
XII BOB	DASTURNI TAYYORLASH VA SOZLASHNING APPARAT-DASTURIY VOSITALARI.....	184
	12.1. Dasturiy ilovalarni loyihalashning asosiy bosqichlari	184
	12.2. Baholovchi va kengaytiruvchi platalari	187
	12.3. Ichki tuzilma emulyatorlari	188
	12.4. Dasturiy ilovalarni ishlab chiqishning asosiy bosqichlari	189
	Nazorat savollari	194
	Adabiyotlar ro'yxati	195

KIRISH

Signallarga raqamli ishlov berish – bu signal ma'lumotlarini raqam yoki belgilar ketma-ketligi shaklida taqdim etishni nazarda tutadi. Bunday qayta ishlashning maqsadi signalning xarakterli parametrlarini baholash yoki signalni bir ma'noda qulay shaklga keltirishdan iboratdir. Tezkor raqamli hisoblash mashinalarining mavjudligi signallarni qayta ishlashning murakkab va samarali algoritmlarini rivojlantirishga imkon beradi. Integral mikrosxemalar sohasidagi so'nggi texnologiya yutuqlari murakkab bo'lgan raqamli signallarni qayta ishlash tizimlarini qurishning yuqori samaradorligini ta'minlab beradi.

Signallarni qayta ishlash biotibbiyot, akustika, ovozli ma'lumotlar, radar tizimlar, seysmologiya, aloqa, ma'lumotlar uzatish tizimlari, yadro texnikasi va boshqa ko'plab sohalarda qo'llaniladi. Misol uchun, elektroensefalogrammalarni, elektrokardiogrammalarni tahlil qilishda, shuningdek, nutqni uzatish va tanib olishda signalning ba'zi xarakterli parametrlarini ajratib olish kerak bo'ladi. Ba'zan shovqinli muhitdan kerakli signalni ajratib olish yoki signalni foydalanuvchi uchun yanada qulay bo'lgan ko'rinishga olib kelish muhim hisoblanadi. Signallarni qayta ishlashga yana bir misol sifatida aloqa kanallari orqali uzatiladigan signal turli xil buzilishlarga duchor bo'lish va qabul qiluvchi qurilma ularni tiklash jarayonlarini keltirish mumkin.

Faqatgina bir o'lchamli signallargina emas, balki ko'pgina tizimlarda ikki o'lcham sifatida tasvirlarga ham raqamli ishlov beriladi. Shunday qilib, tasvirni qayta ishlash bilan bog'liq holatlarda ikki o'lchovli signallarni qayta ishlash usullari qo'llaniladi. Bu rentgen nurlarini yaxshilash, o'rmon yong'inlarini aniqlash yoki ekinlarga zarar yetkazish, sun'iy yo'ldoshlar orqali olingan fotosuratlarini tahlil qilish, shuningdek, oy va uzoq koinotning televizor tasvirlarini yaxshilash uchun koinot fotosuratlaridagi tasvirlarni takomillashtirish va tahlil qilish uchun zarurdir. Neft manbalarini qidirish, zilzila kuchini o'lchash va yadroviy portlashlarni nazorat qilish uchun zarur bo'lgan seysmik ma'lumotlarni tahlil qilish uchun ko'p o'lchovli signallarni qayta ishlash usullari ham qo'llaniladi.

Yaqin vaqtgacha signallarni qayta ishlash odatda analog qurilmalar yordamida amalga oshirilardi. Geofizik ma'lumotlarni tahlil qilish raqamli kompyuterlardan foydalangan holda signallarni qayta ishlashning birinchi misollaridan biri bo'ldi. Ushbu turdagi signallarni qayta ishlash har doim ham real vaqtda amalga oshirilmas edi. Misol uchun, magnit lentaga faqat bir necha soniya davomida saqlangan ma'lumotlarni qayta ishlash uchun, odatda, bir daqiqa yoki bir necha mashina sikli talab qilinardi. Shu bilan birga, raqamli hisoblash mashinalari ko'p qirraliligi yuqori ishlov berish samaradorligini ham ta'minlaydi.

Raqamli signallarni qayta ishlashning yangi istiqbolini ishlab chiqish 1965-yilda Furiye o'zgartirishini hisoblashning samarali algoritmlari kashf etilishi bilan yanada tezlashdi. Ushbu algoritmlar sinfi tezkor Furiye o'zgartirishi (FFT - Fast Fourier Transform) nomi bilan mashhur bo'ldi. FFT imkoniyatlari bir necha jihatdan muhim edi. Raqamli kompyuterlarda olingan signallarni qayta ishlashning ko'plab algoritmlari real vaqtdan kattaroq kattalikdagi ishlov berish vaqtini talab qiladi. Bunga ko'pincha spektral tahlil jarayonlarining signallarni qayta ishlashning muhim qismi bo'lganligi va uni amalga oshirishning samarali vositasi ma'lum bo'lmaganligi sabab bo'lgan. Furiye o'zgartirishining tezkor algoritmi Furiye o'zgartirishini hisoblash vaqtini bir necha darajaga qisqartirdi. Bu real vaqtda signallarni qayta ishlashning juda murakkab algoritmlarini ishlab chiqishga imkon berdi. Bundan tashqari, tezkor Furiye o'zgartirish algoritmini ixtisoslashtirilgan raqamli qurilmada real vaqtda amalga oshirish imkoniyatlarini hisobga olgan holda, ilgari amaliy bo'lmagan ko'plab signallarni qayta ishlash algoritmlari ixtisoslashtirilgan qurilmalarda o'zlashtirila boshlandi.

Ushbu o'quv qo'llanmada tizimlar va signallarni qayta ishlashning barcha mumkin bo'lgan sohalarini, real vaqtda signallarni qayta ishlashning algoritmlarini va signal protsessorlar arxitekturalari haqidagi bilimlarni yanada takomillashtirish uchun mustahkam asos yaratishga imkon berish yoritilgan.

I BOB. SIGNALLAR, ULARNING TURLARI, PARAMETRLARI VA XOSSALARI

1.1. Signallarni qayta ishlash tizimlarining tarkibi va tuzilishi

Signallarga raqamli ishlov berish (SRIB) telekommunikatsiya, raqamli televideniya, ovoz yozish, biometrika, mobil aloqa va video tizimlar kabi texnologiyalar sohasiga tobora ko'proq ta'sir ko'rsatib bormoqda. Bu aloqa muhandisligi, hisoblash texnologiyalari va elektronika bo'yicha barcha kurslarda asosiy yo'nalish hisoblanadi [1, 2, 3].

Signal – bu foydali ma'lumotlarni o'z ichiga olgan, yozib olinadigan yoki qayta ishlanadigan (o'lchov, shaklni o'zgartirish, parametrlarni hisoblash, namoyish etish, tashuvchi vositalariga yozish) raqamli qiymatlaridir.

Haqiqiy signallarga misollar [1, 5]:

- ovoz, nutq va musiqa signallari (mikrofon, telefon);
- datchiklardan qabul qilingan biosignallar (ensefalogrammalar, kardiogrammalar, impuls va bosim signallari, ultratovush signallari);
- texnologik jarayonlarning sensorlaridan qabul qilingan signallar (harorat, oqim tezligi, bosim, kuchlanish, daraja, tezlik);
- radiotexnik nazorat va kuzatuv tizimlarining signallari (aviatsiya radarlari, gidroakustika, havo hujumidan mudofaa tizimlari).

Biz tabiatda uchratadigan signallarning aksariyati analog shaklga ega. Analog signallar vaqtning uzluksiz funksiyasini ifodalaydi. Analog signalga misol tariqasida tovush bo'lishi mumkin. Bizning sezgi organlarimiz signallarning analog shakllariga aniq sezgir hisoblanadi: quloqlar tovushga, ko'zlar nurga, terimiz haroratga, burun hidni sezish uchun. Bizning sezgi organlarimiz fizik signallarni (tovush, yorug'lik, harorat, hidlar) o'lchaydi va o'zgartiradi, shuningdek ularni miyaga qayta ishlash va qaror qabul qilish uchun yuboradi. Signallar dinamik jarayonlarning o'z vaqtida ishlash modeli hisoblanadi, shuning uchun bunday signallarni qayta ishlash jarayonlarining o'zi signallar orqali o'rganish imkonini beradi. Atrofimizdagi dunyo analog (vaqt, masofa, harorat) hisoblanadi, ammo mutaxassislar signallarga aniqroq

ishlov berish uchun analog-fizik parametrlarni o'lchash va ularni raqamli shaklga aylantirishni o'rgandilar.

Analog signallarga raqamli ishlov berish va saqlash qiyinroq bo'lib, ularga raqamli texnologiyalarni qo'llash mumkin emas. Signallarning raqamli shakli, ya'ni ikkilik ko'rinishi raqamli ishlov berish uchun qulay hisoblanadi. Bunday holda nafaqat signallarni ro'yxatdan o'tkazish, shuningdek ularni kompyuterlarda saqlash va qayta ishlash mumkin.

Signallarga raqamli ishlov berishning asosiy vazifalari:

- signal parametrlari - amplituda, faza, chastota, spektrni o'lchash orqali obyekt haqida ma'lumot olish;
- shovqinli muhitda foydali signal komponentlarini ajratib olish;
- signallarni siqish;
- noma'lum signallarni tahlil qilish va belgilangan parametrlarga ega signallarni sintez qilish.

1.2. Signallarni qayta ishlash qurilmalarining asosiy elementlari va vazifalari, signallarning vaqt va chastota sohalarida ifodalanishi

Datchik – bu fizik parametрни mutanosib elektr signaliga aylantiruvchi qurilmadir. Datchiklarga misollar: mikrofon, termometr, tezlik o'lchagich, og'irlik, bosim o'lchagichlar. Signallarni qayta ishlashda asosan datchiklardan qabul qilingan kirish signal ma'lumotlari ma'lum bosqichlardan o'tkaziladi [3, 5].

SRIB tizimining asosiy elementlari (1.1-rasm):

D - analog signal sensori;

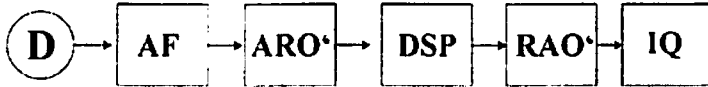
AF - past chastotali analog filtr;

ARO' - analog-raqamli o'zgartirgich;

DSP - signal protsessori (Digital Signal Processing);

RAO' - raqamli-analog o'zgartirgich;

IQ - ijro qiluvchi qurilma.



1.1-rasm. Raqamli signalni qayta ishlash tizimining tuzilishi

Alohida qurilmalarning vazifalarini ko'rib chiqamiz [1, 2, 6].

Analog filtr – bu analog signal pulslarini tekislovchi va signalda foydali ma'lumotli chastotalarni ajratuvchi reaktiv elementlardan (L - induktivlik, C-sig'im, R-rezistor) iborat elektr sxema.

ARO', RAO' – bu signallarni diskretlash va kvantlash qurilmalari bo'lib, ular signallarni analogdan raqamligga va aksincha raqamlidan analog ko'rinishga o'zgartiruvchidir.

DSP (*Digital Signal Processing*) – bu raqamli signallarni qayta ishlash algoritmlari asosida raqamli ishlov beruvchi signal protsessori.

Signal xususiyatlari. Signallar bir o'lchamli, ikki o'lchamli yoki uch o'lchamli bo'lishi mumkin. Matematik jihatdan bunday signallar mos ravishda bir, ikki va uch o'zgaruvchili funksiyalar bilan tasvirlanadi.

Tabiatda juda ko'p signallar davriy bo'lib, ularning qiymatlari davrga teng oraliqlarda takrorlanadi (1.1-jadval).

Signal energiyasi – bu shovqinli muhitda raqamli signallarning foydali qismlarini ajratib olish uchun muhim xususiyatidir. Signalning foydali komponent qismlari tasodifiy shovqinli qismiga nisbatan ko'proq energiyaga ega bo'ladi. Raqamli signal energiyasi berilgan segmentdagi signal qiymatlari kvadratlari yig'indisi sifatida hosil bo'ladi (1.1) [7]:

$$E = \sum_{k=1}^{N-1} X^2(t) \quad (1.1)$$

Signal turi	Giometrik timsoli (namuna)
1. a) Determerik ($s(t)$ qiymatni har qanday t vaqtda aniqlash mumkin)	
b) Tasodifiy ($s(t)$ qiymatni har qanday t vaqtda aniqlash mumkin emas)	
2. a) Uzlüksiz (birinchi turdagi uzlüksiz)	
b) Impulsi (birinchi turdagi uzilishlar bilan)	
3. a) Davriy (T davriy)	
b) Nodavriy ($T = \infty$)	
4. a) Cheklangan muddatli (T)	
b) Cheklanmagan muddatli ($T = \infty$)	
5. a) Analogli (istalgan t vaqtda mavjud va $[S_{min}, S_{max}]$ intervalda istalgan qiymatni olishi mumkin)	
b) Diskret (faqat raqamli momentlarda mavjud, ya'ni ketma-ket puls qiymatlarni ifodalaydi)	
v) Raqamli (ketma-ket raqamli qiymatlar)	

Foydali signal mavjudligining yana bir ko'rsatkichi bu segmentdagi joriy signal kuchidir (1.2):

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N-1} X^2(t) \quad (1.2)$$

Ikki signalning o'zaro energiyasi va kuchi ularning o'xshashlik darajasini tavsiflaydi. Agar ikkita signal $P1$ va $P2$ kuchlarga ega bo'lib, ularni aniqlash intervalining barcha nuqtalarida to'liq mos tushsa, u holda umumiy signalning quvvati quyidagicha aniqlanadi (1.3):

$$R(1,2) = R1 + R2 + 2R(1,2) = 4R1 \quad (1.3)$$

bunday signallar izchil deb ataladi.

Agar ikki signalning o'zaro kuchi nolga teng bo'lsa, bunday signallar signal kuchi bo'yicha ortogonal deyiladi [8].

Signal intervalining istalgan nuqtasida uning qiymatlarini aniqlash ma'lum bo'lgan signallarga determinik signallar deb ataladi.

Tasodifiy signallar – bu aniqlanish intervali ichida qiymatlari tasodifiy bo'lgan signallarga aytiladi.

Tasodifiy signallar quyidagi sonli xususiyatlar bilan aniqlanadi: **matematik kutilma, dispersiya va korrelyatsiya funksiyasi.**

Matematik kutilma tanlangan segmentdagi tasodifiy signalning o'rtacha qiymatiga teng (1.4):

$$M(t) = \frac{1}{n} \sum x(t) \quad (1.4)$$

Tasodifiy signalning dispersiyasi tasodifiy signal qiymatlarining uning o'rtacha qiymatlaridan taqsimot xususiyati bilan ifodalaniladi (1.5):

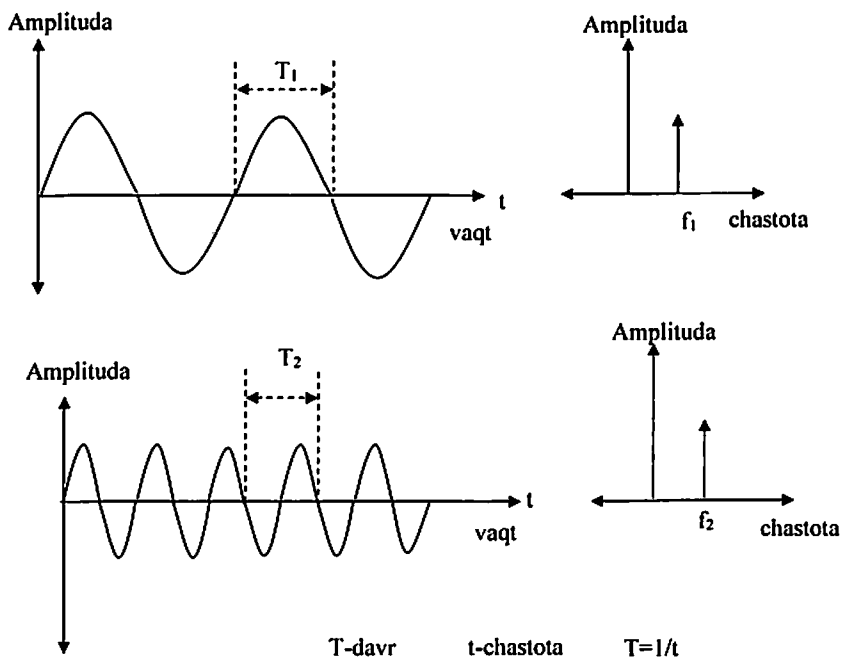
$$D(t) = \frac{1}{n} \sum [x(t) - x(\bar{t})] \quad (1.5)$$

Haqiqiy signallarning vaqt va chastota sohalarida ifodalanishi.

Signal qiymatlari o'zgarishlarini tasvirlashda vaqt sohasi asosida ifodalash qulay hisoblanadi. Dinamik jarayonlarning signallari tabiatan tebranuvchan bo'lib, ularning har biri uchta parametr: amplituda, boshlang'ich faza va chastota bilan sinusoidlar shaklida ifodalanadi (1.2 – rasm).

Amplituda – bu signalning maksimal qiymati. Boshlang'ich faza – bu signalning nolinci nuqtadagi kirish fazasi. Chastota (f) – bu signalning bir sekunddagi tebranishlar soni. Chastotaga teskari kattalik signal davri (T) deyiladi.

Barcha kiruvchi tebranishlar (sinusoidlar) ko'ringanda signalning chastotali spektrini tasvirlash uchun chastota sohasi bo'yicha ifodalash qulay hisoblanadi. Har bir sinusoida faqat bitta chastota komponenti bilan ifodalanadi, uning chastota sohasidagi amplitudasi vaqt sohasidagi sinusoida amplitudasiga proporsionaldir. Sinusoidaning chastotasi qancha yuqori bo'lsa, u chastota o'qi bo'ylab shuncha ko'p joylashadi [9,10].

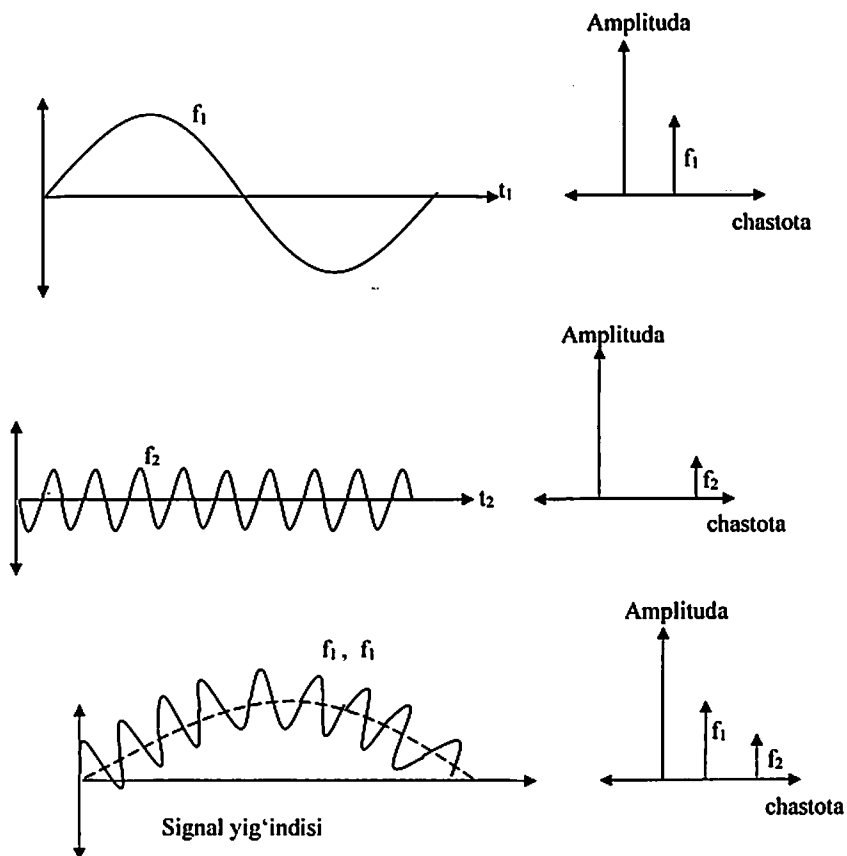


1.2-rasm. Signallarning vaqt va chastota sohaslarida ifodalanishi

Haqiqiy signallar turli xil chastota, amplituda va dastlabki fazalar bilan ko'plab sinusoidlarning kombinatsiyasini tashkil qiladi, ya'ni ular ko'p chastotali komponentlarni o'z ichiga oladi. Masalan, gitara tovushi – bu uning barcha torlarining tovushlaridan va ularning yig'indisidan iboratdir. Agar signal turli amplitudali ko'p chastotali komponentalarni o'z ichiga oladigan bo'lsa, chastota sohasining grafik ko'rinishi tahlil qilish uchun juda qulay hisoblanadi. 1.3-rasmda turli chastota va amplitudali (f_1 va f_2) ikkita signal ko'rsatilgan, shuningdek natijaviy umumiy signal ko'rinishi keltirilgan. Signalning amplituda-chastota tarkibi aynan shu

ikki komponentani o'z ichiga oladi. Bundan chastotali hamda amplitudali ifodalanish farqini ko'rishimiz mumkin [11].

Palasa kengligi – bu signallarning foydali qismlarining eng yuqori va eng past chastotalari orasidagi farqni ifodalovchi xususiyat bo'lib, bu murakkab signalning ekstremal chastotalari orasidagi masofa hisoblanadi. Palasa kengligi signalda mavjud chastotalar qiymati haqida ma'lumot bermaydi, balki faqat ma'lum bir signalning chastota diapazoni chegaralari haqida ma'lumot beradi [12].



1.3-rasm. Haqiqiy signallar spektrlar

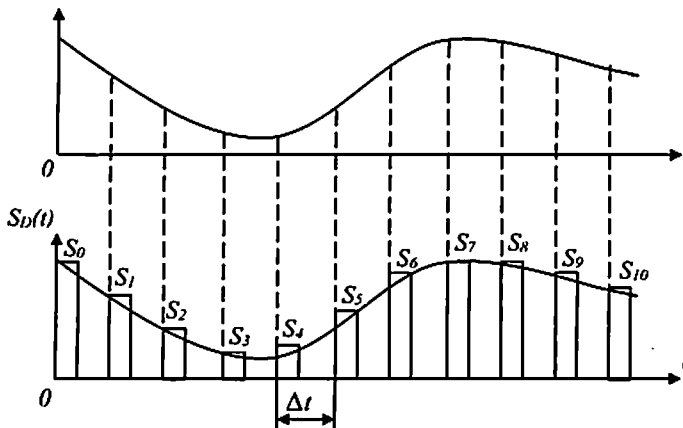
Spektr – bu murakkab signallarning chastotali tarkibini ko'rsatadi. Signallarning chastotali tarkibini bilish va tahlil qilish signalni baholash, zaruriy chastota komponentlarini aniqlash va keraksiz komponentlarni kuchsizlantirish

imkonini beradi. Spektr – signalning amplituda-chastotali tarkibi bo‘lib, amplituda-chastotali xususiyati (AChX) yordamida ifodalanadi [8, 9].

1.3. Signallarni vaqt bo‘yicha diskretlash va amplituda bo‘yicha kvantlash

Analog signallar vaqt va amplituda bo‘yicha uzluksiz ko‘rinishda bo‘ladi. Raqamli signal ($S_d(t)$) vaqtning (t) diskret nuqtalarida mavjud bo‘lib, har bir nuqta ikkilik koddagi qiymatga ega.

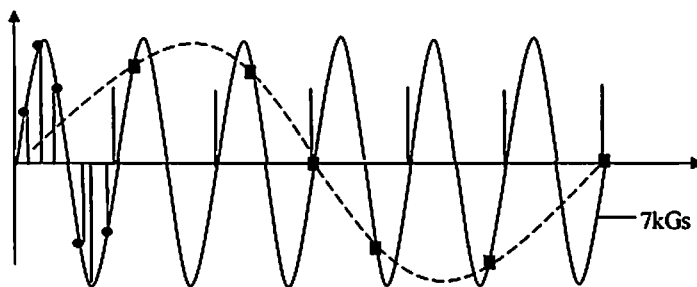
Vaqt bo‘yicha diskretlash – bu signal amplitudasining oniy qiymatlarini muntazam oraliqlarda qayd qilish (o‘lchash) jarayonidir [12]. Boshqacha qilib aytganda, bu doimiy o‘zgaruvchan ma’lumotlardan oniy qiymatlarni tanlashdir. Analogli uzluksiz signaldan diskret signal ko‘rinishiga o‘tkazish vaqt bo‘yicha diskretlash asosida amalga oshiriladi (1.4-rasm).



1.4-rasm. Vaqt bo‘yicha diskretlash

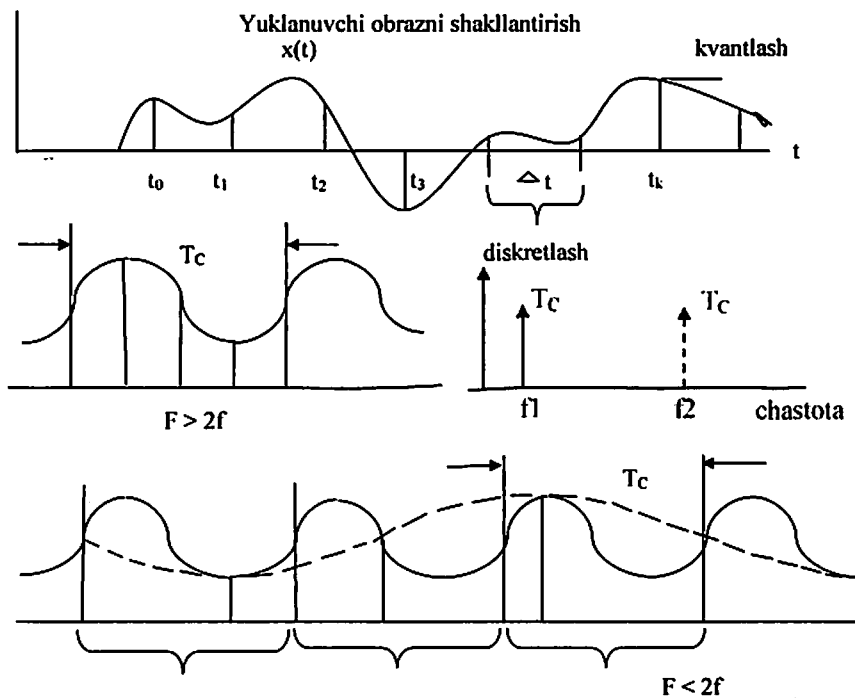
Yuqoridagi tasvirdan ko‘rinib turibdiki, kiruvchi uzluksiz signal $S_D(t)$ qiymatlar ketma-ketligini $\{S_k\}$ ifodalaydi. Interval Δt diskretlash qadami deb ataladi, $fd = 1/\Delta t$ – bu esa diskretlash chastotasi deb ataladi. Diskretlash chastotasi signallarga samarali ishlov berish uchun signalni to‘g‘ri ifodalashga bog‘liq bo‘lgan muhim parametr hisoblanadi.

Daraja bo'yicha kvantlash – bu o'zgarmas (oniq) signal qiymatlarini N razryadli ikkilik kodga o'girishdir. Kompyuter tizimlarida N razryad qiymati 6-12 ikkilik raqamlar oralig'ida tanlanadi (1.5-rasm).



1.5-rasm. Daraja bo'yicha kvantlash

Qiymat teoremasi. Agar barcha ishlov berish jarayoni joriy signal qiymatlarining vaqt birliklari asosida amalga oshiriladigan bo'lsa, bunday ishlov berish vaqt sohasi bo'yicha ishlov berish deyiladi.



1.6-rasm. Signalni diskretlash qadamini tanlash

Shunisi aniqki, axborot yo'qotilishining oldini olish uchun namuna olish qadami yetarli darajada kichik bo'lishi kerak. Boshqa tomondan esa, juda tez-tez qiymatlarni olish axborot va apparat uskunalarning murakkablashishga olib keladi (1.6-rasm).

Kotelnikov teoremasiga ko'ra uzluksiz analog signalni uzatish talab qilinsa signalning barcha qismini uzatish shart emas, balki ma'lum vaqt oralig'idagi tasodifiy qiymatlarini uzatish kifoyadir. Qabul qiluvchi qism mana shu oniy qismlar bo'yicha birlamchi analog signalni qayta tiklab oladi. Kotelnikov teoremasi Δt ni to'g'ri tanlashga mos javob bo'la oladi [1, 2, 5]:

- chastotasi F bo'lgan ixtiyoriy signal $s(t)$ tegishli intervallarda olingan qiymatlar ketma-ketligini (1.6) formula asosida to'liq tiklash mumkin:

$$\Delta t = 1/2F \quad (1.6)$$

Diskretlash va kvantlash chastotasi aynan signal chastotasidan ikki barovardan kichik bo'lmasligi kerak (Naykvist chastotasi).

Agar diskretlash chastotasi Naykvist chastotasidan yuqori chastotada amalga oshirilsa, signalni ifodalash aniqligi yuqori bo'ladi, lekin ishlov beriladigan axborot hajmi juda katta bo'ladi. Bu nafaqat kompyuterda signallarga raqamli ishlov berish jarayonida, balki masofadan signal qiymatlarini uzatishda ham ($N=8$ da har bir signal 8 bit hajmi egallaydi) qiyinchiliklarga sabab bo'ladi. Diskretlash chastotasining 8 kGs standart o'lchamida uzatiladigan signal qiymati sekundiga 64 kbit bo'ladi.

Agar diskretlash chastotasi Naykvist chastotasidan past chastotada amalga oshirilsa, qayta tiklanadigan signal ko'rinishi va chastota xususiyati butunlay boshqacha ko'rinishga ega bo'ladigan holat yuzaga kelishi mumkin. Ushbu holatdan kelib chiqqan holda, haqiqiy signalni qayta tiklash mumkin emas. Diskretlash chastotasi to'g'ri tanlash uchun signal palasasi va uning chastota diapazonini bilish kerak bo'ladi.

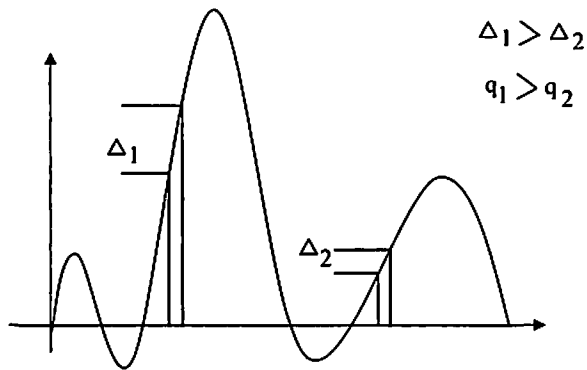
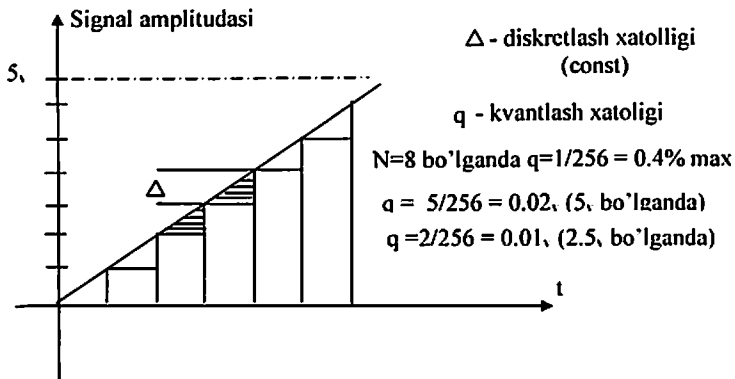
Haqiqiy signallar spektrini chegaralash. Haqiqiy signallar ko'pgina chastotali tashkil etuvchilarini o'z ichiga oladi, ularning diskretlash jarayonlari qiyin. Agar yuqori chastotali tashkil etuvchilarga e'tiborni qaratadigan bo'lsak, diskretlash chastotasi keraksiz darajada oshishi mumkin va ma'lumotlar miqdori juda oshib ketadi. Shu bilan birga, ko'pgina yuqori chastotali tashkil etuvchilari odatda ahamiyatsiz va tasodifiy xarakterga ega bo'lishini e'tiborga olish kerak. Optimal diskretlash maqsadida signal spektri chegaralanadi va signal tarkibidan yuqori chastotali tashkil etuvchilari olib tashlanadi. Buning uchun analog-raqamli o'zgartirish jarayonida analog signalda dastlab past chastotali filtrlash qo'llaniladi (1.1-rasm). Spektrni chegaralash signalda faqat muhim chastotalarni qoldirish va asosiy signal chastotasida buzilishlarni bartaraf etuvchi diskretlashni amalga oshirish imkonini beradi [5, 6].

1.4. Analog-raqam va raqam-analogli o'zgartirgich

Raqamli signalni shakllantirish ikki bosqichda amalga oshiriladi: diskretlash va kvantlash. Diskretlash signalning oniy qiymatini kerakli vaqtda aniqlash, kvantlash esa kuchlanish qiymatini oniy kuchlanish qiymatiga teng ikkilik kodga aylantirish imkonini beradi. Ushbu jarayonlarning har ikkalasida ham kuchlanishni kodga aylantirish vaqti va aniqligi muhimdir [2, 3].

Diskretlash va kvantlash jarayonlari signallarni raqamlashtirish jarayoniga o'z xatoliklari bilan ta'sir qiladi. Diskretlash jarayonidagi xatoliklar doimiy kvantlash qadamlari asosida yuzaga keladi va signal tarkibining keskinligi asosida qo'shni qiymatlar bir-biridan keskin farq qilishi mumkin. Bunda diskretlash xatoligi yuzaga keladi, ya'ni signalning qo'shni nuqtalari orasidagi qiymatlarni aniqlab bo'lmaydi (1.7-rasm).

Diskretlash xatoligi signalning chiziqli bo'limlari uchun doimiy xususiyatga ega va gorizontal bo'limlar uchun esa yo'q. Diskretlash xatoliklarini kamaytirishga kvantlash chastotasini oshirish va qiymatlar orasidagi masofani kamaytirish orqali erishish mumkin, ammo bu qayta ishlanadigan yoki uzatiladigan ma'lumotlar miqdorining ortishiga olib keladi.

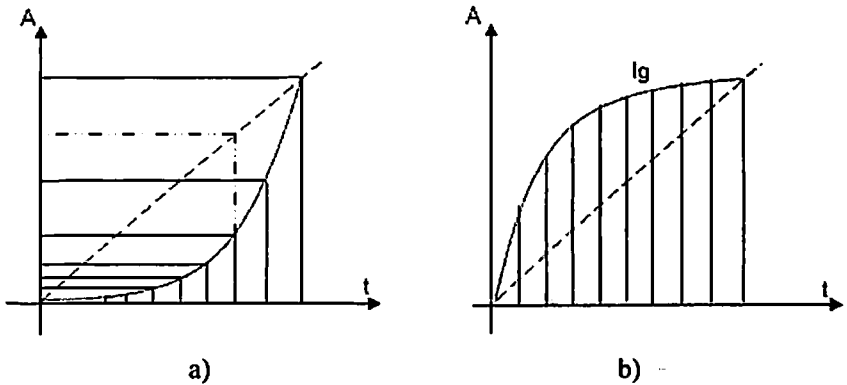


1.7-rasm. Diskretlash va kvantlash xatoliklari

Kvantlash jarayonidagi xatoliklarni o'zgartirish razryad soniga bog'liq bo'lib, analog-raqamli o'zgartirgichning razryadi qancha katta bo'lsa, signalni ifodalash aniqligi shuncha yuqori bo'ladi. Yuqori bo'lmagan aniqlik talabi (masalan, sanoatni avtomatlashtirishda) 6-8 (64-256 kvantlash darajasi) oralg'ida tanlanadi. Yuqori aniqlik talablari 10-14 razryad qiymatlari (1024-16384 kvantlash darajasi) oralg'ida bo'lishi mumkin.

Kvantlash xatoliklarini kamaytirishning yana bir usuli – bu kvantlash darajalar sonini oshirishdir, ammo bu yondashuv har doim ham muammoning yechimi bo'la olmaydi. Agar signallarda amplitudalar darajasi past bo'lgan joylar mavjud bo'lsa, bu ma'lumotlar hajmining ko'payishiga olib keladi. O'zgaruvchi kvantlash qadami

apparatni juda murakkablashtiradi. Signalning siqilishi (diapazonning siqilishi) doimiy kvantlash bosqichida signal qiymatlarini namoyish etish ko'lamini o'zgartirishga imkon beradi (1.8-rasm).

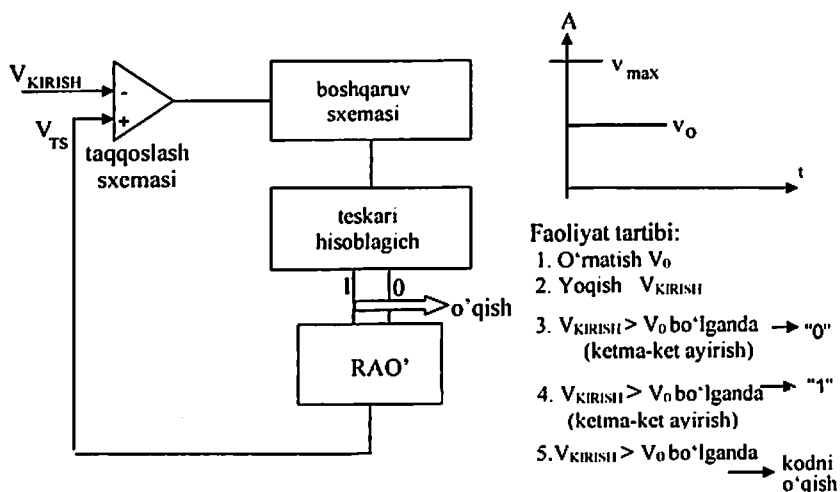


1.8-rasm. Diskretlash va kvantlash xatoliklarini kamaytirish:
a) diapazonning siqilishi; b) tiklash

Kvantlashda logarifmik o'zgartirish shkalasi yordamida siqishga erishiladi, ya'ni signal namunalarining raqamli shakldagi qiymatlari har bir qadamda masshtablashgan koeffitsiyentiga ko'paytirish orqali shakllantiriladi. Signal amplitudasining raqamli ekvivalenti bu nuqtalardagi signalning haqiqiy qiymatidan kam bo'ladi. Qabul qilish tomonida signal qiymatlari kirish qiymatlariga mos holda tiklanishi kerak. Buning uchun signal qiymatlari qabul qiluvchi tomonida ularni logarifmik shkalaning masshtab koeffitsiyentlariga bo'lish orqali signal qiymatlarini tiklash amalga oshiriladi. Shunday qilib, signal asl shakliga tiklanadi.

Diskretlash va kvantlash jarayonlarini amalga oshiruvchi asosiy qurilma analog-raqamli o'zgartirgichlar (ARO') hisoblanadi. ARO' ni qurishning eng ko'p tarqalgan usuli – bu ketma-ket approksimatsiya usulidan foydalanishdir. Bu turdagi ARO' larda kirish taqqoslash sxemasi, boshqarish sxemasi, teskari hisoblagich va raqam-analogli o'zgartirgichlarni (RAO') tashkil etib, uning chiqishi taqqoslash sxema kirishiga bog'langan bo'ladi (1.9-rasm). Taqqoslagichning analog sxemasining bir kirishida kiruvchi signal V_{kr} , sxemaning boshqa kirishida esa RAO' ning chiqishidan teskari aloqa signali V_{ts} kirib keladi. Taqqoslash natijasiga asoslanib,

boshqaruv sxemasi teskari hisoblagich uchun qo'shish yoki ayirish signalini hosil qiladi.



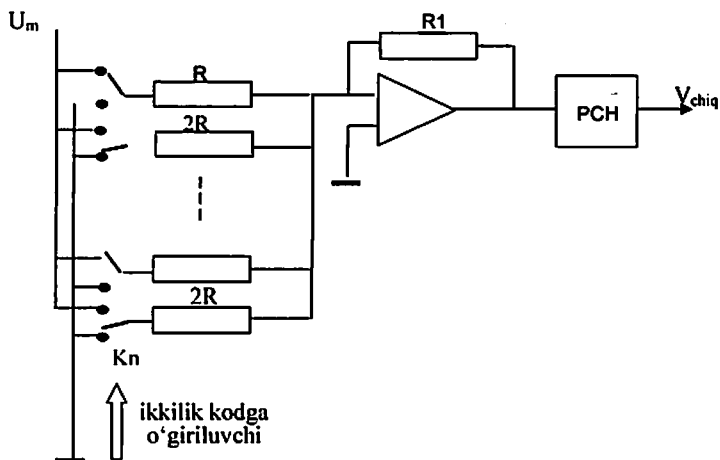
1.9-rasm. Analog-raqamli o'zgartirgich sxemasi

Teskari hisoblagichning joriy kodi RAO' ga qabul qilinadi, teskari aloqaning ekvivalent kuchlanishi V_{TS} ga aylanadi va taqqoslash sxemasining kirishiga qabul qilinadi. Bu jarayon V_{KIRISH} va V_{TS} kattaliklar tenglashguniga qadar davom etadi. Ayni paytda $V_{KIRISH} = V_{TS}$, boshqaruvchi qurilma "tenglik" haqida signal beradi va teskari hisoblagich holatini "o'qish" shinasini orqali qayta ishlash kompyuteriga uzatadi [13, 14]. Sxemaning boshlang'ich nuqtasida teskari hisoblagichning holati V_{kr} – maksimal kirish kuchlanish diapazonining V_{TS} – yarmiga o'rnatiladi. Bu taqqoslash momentini tezlashtirish uchun bajariladi $V_{KIRISH} = V_{TS}$. Taqqoslash momenti belgilangandan so'ng teskari hisoblagichning holati "o'qish" o'qish shinasini orqali taqqoslash yacheykasining kirishiga yana uzatiladi. Agar bu vaqtga kelib signal teskari aloqa ($V_{KIRISH} > V_{TS}$) dan oshib ketgan bo'lsa, nazorat kuchaytirgichi qo'shish signalini chiqaradi va teskari hisoblagich $V_{KIRISH} = V_{TS}$ yana sodir bo'lgunga qadar uning holatini oshiradi. Bu analog-raqam o'zgartirgichning bir davri hisoblanadi.

Zamonaviy ARO' larning turlicha turlari mavjud. Bu turlar aniqligi va tezligi bilan, ya'ni raqamlar soni va kuchlanishning kodga aylanish usuli bilan farqlanadi. Ko'rib chiqilgan ARO' ning turi eng keng tarqalgan hisoblanadi.

Raqam-analogli o'zgartirgich. Signallarni raqamli qayta ishlashning ko'pgina masalalarida analog signalni qayta tiklash talab etiladi. Buning uchun raqam-analog o'zgartirgichlar (RAO')dan foydalaniladi, uning kirishida signal qiymatlarining raqamli ko'rinishi qabul qilinadi va chiqishida esa analog signal uzatiladi [15].

RAO' qurilish sxemalari bir-biridan kam farq qiladi va ular vaznli rezistorlar kommutatsiyasiga asoslangan (1.10-rasm).

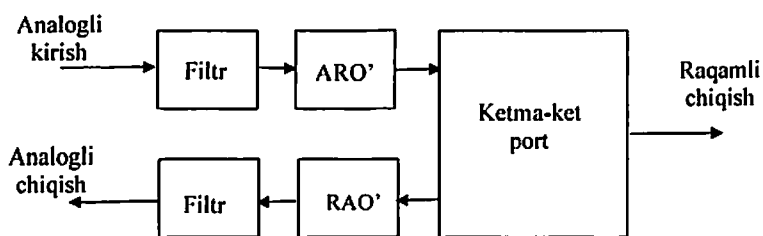


1.10-rasm. Raqam-analogli o'zgartirgich sxemasi

Bu sxema moslama kuchlanishini U_m manba kuchlanishiga ko'paytirish tamoyiliga asoslangan. Analogli chiqish kuchlanishi darajasini aniqlovchi ko'paytirish koeffitsiyenti kirish va teskari aloqadagi vaznli rezistorlarning og'irliklari nisbatiga bog'liq (R_1/R va $R_1/2R$). Har bir rezistor mos ravishda moslama kuchlanish manbaiga U_m yoki yer nuqtasiga ulanishi mumkin. Birinchi holat koddagi "1" holatga, ikkinchi holat esa kirish binar koddagi "0" holatiga mos keladi. Boshqacha aytganda, kalitlarning holati K_1, \dots, K_n ga aylantirilgan binar kodning bitlari qiymatiga mos keladi.

Kalitlarni yopish va ochish natijasida kuchaytirgichning chiqishida sodir bo'ladigan kuchlanishning keskin o'zgarishlari RAO' chiqishidagi analog filtr bilan silliqiladi. Hozirgi vaqtda boshqarish tizimlarida filtr, ARO' va RAO' lar alohida sxemalar uchun ishlatiladi, lekin signal protsessorlarida filtrlash, o'zgartirish va uzatishning barcha funksiyalarini birlashtiruvchi integral qurilmalar sifatida shakllantirilgan (1.11-rasm). Shunday qilib, integrallashgan qurilmalar signallarga boshlang'ich ishlov berishning butun siklini amalga oshiradi:

- signal spektrini cheklash ;
- signalning raqamlashtirilishi;
- daraja bo'yicha kvantlash;
- kuchlanishga teskari o'zgartirish;
- analog chiqish signalini silliqilash;
- aloqa kanaliga yuborish.



1.11-rasm. Integrallashgan qurilma sxemasi

Mikro-miniatyura integrallashgan qurilmalari ko'pincha harbiy va mobil aloqa va ishlov berish tizimlarida qo'llaniladi.

Nazorat uchun savollar

1. Signallarga raqamli ishlov berish qaysi sohalarda keng qo'llaniladi?
2. Signal deb nimaga aytiladi?
3. Haqiqiy signallarga misollar keltiring.
4. Signallarga raqamli ishlov berishning asosiy vazifalari nima?
5. Analog filtr deb nimaga aytiladi?
6. Signal energiyasiga ta'rif bering.

II BOB. VAQT SOHASIDA SIGNALLARNI QAYTA ISHLASHNING ASOSIY OPERATSIYALARI

2.1. Signallarning lokal va integral xususiyatlari

Vaqt sohasida tez-tez qo'llaniladigan signallarga raqamli ishlov berish operatsiyalar:

- signallarning lokal xususiyatlarini hisoblash;
- qiymatlar ketma-ketligini svyortkalash;
- qiymatlar ketma-ketligining korrelyatsiyasi;
- filtrlash;
- diskretlash chastotasini o'zgartirish;
- energiya xususiyatlarini hisoblash;
- diskret o'zgartirishlar.

Signallarning lokal xususiyatlariga quyidagilar kiradi.

- signallarning boshlanishi va tugash momentlari va ularning qismlari;
- segment yoki butun davr uchun signallarning davomiyligi;
- ekstrimal nuqtalar (max, min, burilish nuqtalari);
- dinamik muvozanat nuqtalari.

Signallarning integral xususiyatlariga quyidagilar kiradi:

- tegishli segmentdagi signal energiyasi yoki quvvati;
- dispersiya;
- korrelyatsiya funksiyasi,
- spektral ko'rinishi.

Signallarning lokal xususiyatlarini hisoblash. Signallarning aksariyati cheklangan, boshlanish va tugash nuqtalari mavjud bo'ladi. Ularni aniqlash uchun signal vaqt sohasi bo'yicha ifodalaniladi. Signalning davomiyligi diskretlash chastotasi va joriy qiymatlarni hisoblash orqali aniqlanadi. Maksimal va minimal nuqtalari signal qiymatlarining o'sishdan pasayishga o'tish vaqtini belgilash orqali va aksincha aniqlanadi. Signalning burilish nuqtasi signalning birinchi hosilasi belgisi qo'shni nuqtalarda o'zgargan momentni aniqlash orqali aniqlanadi.

Dinamik muvozanat nuqtalari - bu signal qiymatlari absissa o'qidan o'tuvchi momentlar. Bunday nuqta qo'shni signal qiymatlari belgilari o'zgargan momentni aniqlash orqali aniqlanadi.

2.2. Svyortka va korrelyatsiya amallari

Svyortka eng ko'p ishlatiladigan amallardan biri bo'lib, u ikkita signallar ketma-ketligi asosida amalga oshiriladi: signallardan biri kirish signali, ikkinchisi esa tegishli filtrning impulsli xususiyati [2, 9].

Ikki signallar ketma-ketligida svyortka amalini bajarishning algoritmik jarayoni $h(n)$ va $x(n)$ qiymatlarning $h(n)$ ga nisbatan $x(n)$ ni ketma-ket siljish bilan bosqichma-bosqich yo'naltirilgan ko'paytirishdan iborat. Bunday holda quyidagi operatsiyalar amalga oshiriladi: bosqichma-bosqich siljitish, signalning juft qiymatlarini va impulsli xususiyatlarini ko'paytirish, juft ko'paytirish natijalarini to'plashdan (ketma-ket yig'ish) iborat. 2.1-rasmda ikki signallar ketma-ketligida ($X = (1, 2, 3)$ va $Y = (1, 3, 5)$) svyortka amalini bajarish natijasini hisoblash ketma-ketligi keltirilgan. 2.2-rasmda esa raqamli signal ketma-ketliklari yordamida ikkita raqamli signallarni svyortkalash tartibi keltirilgan.

Korrelyatsiya. O'zaro-korrelyatsiya funksiyasi (O'KF) svyortkalash bazasi asosida ikkita signallar: ma'lum (asosiy) va noma'lum (o'lchangan) orqali hisoblanadi. Bu ikkita signalning o'xshashlik darajasi va umumiy xususiyatlarining ko'rsatkichidir. Avto-korrelyatsiya funksiyasi (AKF) signal va uning siljigan nusxasi o'rtasidagi o'xshashlik darajasini ko'rsatadi. Korrelyatsion tahlil elektron qurilmalarda va signallarga raqamli ishlov berish tizimlarida noma'lum kirish signallari yoki shovqinlarga ega bo'lgan signallarni tahlil qilish va taqqoslashda qo'llaniladi [16].

Diskret AKF signallar uchun signalning juft qiymatlari hosilasining yig'indisi va uning siljigan nusxasi ishlatiladi. Yig'indida kirish signalga nisbatan namunaning qancha holatga siljiganligini ko'rsatuvchi n butun son ishlatiladi (2.1):

$$V_s(n) = S_i * S_{i-n} \quad (2.1)$$

bu yerda S_1 – diskret kirish signalining namunaviy qiymati, $S_{i,n}$ – bu n holatga kechiktirilgan signal nusxasining namunaviy qiymati.

to'g'ri ketma-ketlik

1	2	3
---	---	---

teskari ketma-ketlik

1	3	5
---	---	---

svyortkaniy 0 - qiymati ($m = 0$)

		1	2	3
1	3	5		

$f(0) = 1 \times 5 = 5$

svyortkaniy 1 - qiymati ($m = 1$)

		1	2	3
1	3	5		

$f(1) = 1 \times 3 + 2 \times 5 = 13$

svyortkaniy 2 - qiymati
($m = 2$)

		1	2	3
1	3	5		

$f(2) = 1 \times 1 + 2 \times 3 + 3 \times 5 = 22$

svyortkaniy 3 - qiymati
($m = 3$)

		1	2	3
	1	3	5	

$f(3) = 2 \times 1 + 3 \times 3 = 11$

svyortkaniy 4 - qiymati
($m = 4$)

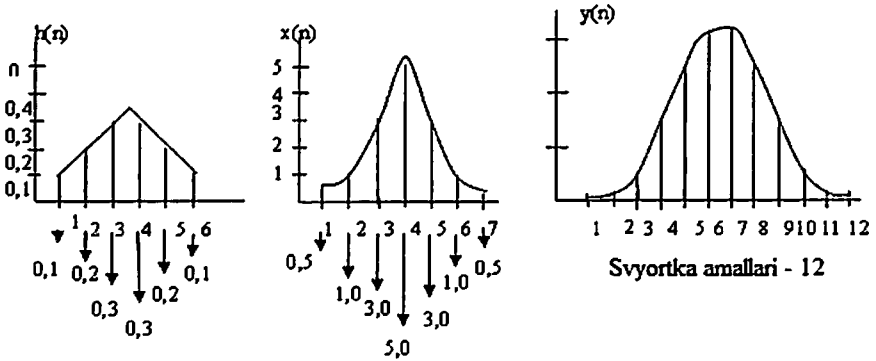
		1	2	3	
			1	3	5

$f(4) = 3 \times 1 = 3$

Natija: $f(m) = (5, 13, 22, 11, 3)$

2.1-rasm. Ikki signallar ketma-ketligini svyortkalanish jarayoni

SVYORTKA



$h(n)$ - ishlov berish tizimining impulsli xususiyati

$x(n)$ - kirish signalining ketma-ketligi

$y(n)$ - chiqish ketma-ketligi (svyortka)

$$y(n) = x(n)h(n) = \sum h(k)x(n-k)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, (M-1),$$

$M = N_1 + N_2 - 1$ – svyortka qadamlar soni

1. $0,5 \times 0,1 = 0,05$

2. $1,0 \times 0,1 + 0,5 \times 0,2 = 0,2$

3. $3,0 \times 0,1 + 1,0 \times 0,2 + 0,5 \times 0,3 = 0,65$

4. $5,0 \times 0,1 + 3,0 \times 0,2 + 1,0 \times 0,3 + 0,5 \times 0,3 = 1,553$

5. $3,0 \times 0,1 + 5,0 \times 0,2 + 3,0 \times 0,3 + 1,0 \times 0,3 + 0,5 \times 0,2 = 2,6$

6. $1,0 \times 0,1 + 3,0 \times 0,2 + 5,0 \times 0,3 + 3,0 \times 0,3 + 1,0 \times 0,2 + 0,5 \times 0,1 = 3,135$

7. $0,5 \times 0,1 + 1,0 \times 0,2 + 3,0 \times 0,3 + 5,0 \times 0,3 + 3,0 \times 0,2 + 1,0 \times 0,1 = 3,35$

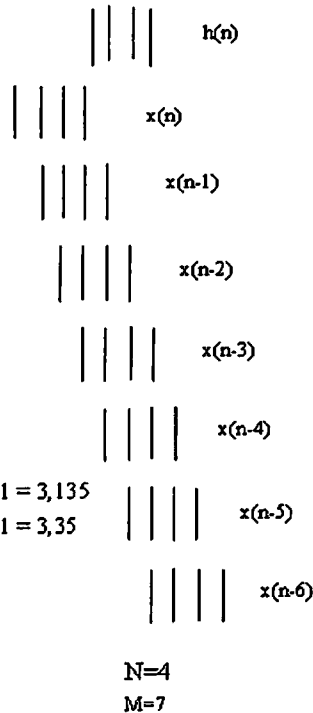
8. $0,5 \times 0,2 + 1,0 \times 0,3 + 3,0 \times 0,3 + 5,0 \times 0,2 + 3,0 \times 0,1 = 2,6$

9. $0,5 \times 0,3 + 1,0 \times 0,3 + 3,0 \times 0,2 + 5,0 \times 0,1 = 1,55$

10. $0,5 \times 0,3 + 1,0 \times 0,2 + 3,0 \times 0,1 = 0,65$

11. $0,5 \times 0,2 + 1,0 \times 0,1 = 0,2$

12. $0,5 \times 0,1 = 0,05$



2.2-rasm. Raqamli signallarni ketma-ketlikni svyortkalash tartibi

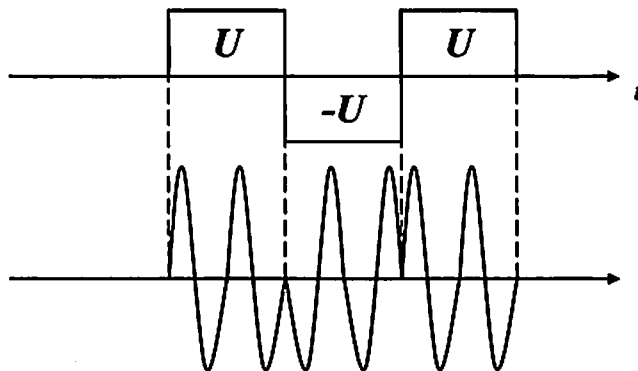
Ikki diskret signalning o'zaro-korrelyatsiya funksiyasi (O'KF) tushunchasi shunga o'xshash tarzda kiritilgan (2.2):

$$V_{uv(n)} = U_i * V_{i-n} \tag{2.2}$$

Taqdim etilgan formulalar bo'yicha hisob-kitoblarni ixtisoslashtirilgan hisoblash moslamasi yoki raqamli signal protsessori (RSP) amalga oshirishi mumkin.

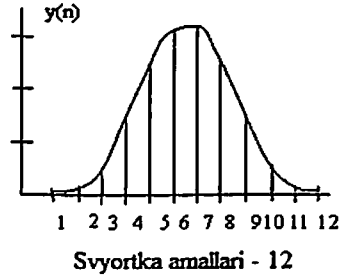
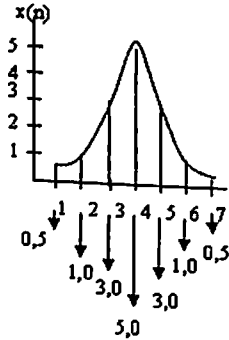
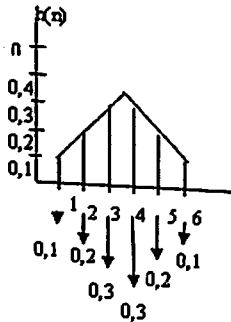
Radio elektron qurilmalardagi diskret signalning o'zaro bog'liqlik (korrelyatsiya) xususiyati haqidagi savol ko'pincha signal uzatish liniyasi darajasida paydo bo'ladi. Odatda diskret signallarni uzatish ketma-ket uchlamchi kod bilan amalga oshiriladi. Bunday holda, joriy vaqt pozitsiyalar deb nomlangan elementar intervallarga bo'linadi. Ushbu pozitsiyalar aloqa liniyasining uzatuvchi va qabul qiluvchi tomonlarida sinxron ravishda o'lchanadi. Sinxronlash vaqti-vaqti bilan maxsus sinxronlash signallarini uzatish orqali amalga oshiriladi. Har bir pozitsiyada signal uchta qiymatdan birini olishi mumkin: 0, +1 yoki -1. Nolinchi ma'lumot yo'qligini anglatadi, aks holda signal yo'q, +1 - bu ayni paytda log 1 uzatilayotganligini anglatadi, -1 log 0 hozirda uzatilayotganligini anglatadi.

Odatda, liniya bo'ylab xabarlarini uzatish quyidagicha ko'rinadi: liniyada xabarlar bo'lmagan taqdirda, faqat nollar kuzatiladi, keyin M1 pozitsiyalarni egallovchi birinchi signal paydo bo'ladi va +1 va -1 kombinatsiyasini ifodalaydi, keyin nollardan iborat pauza bo'ladi, so'ngra M2 pozitsiyalarini egallagan ikkinchi signal paydo bo'ladi va hokazo. Ko'pincha M razryadli belgilangan signallar uzatiladi. 2.3-rasmda uch pozitsiyali signalning namunasi ko'rsatilgan (1, -1, 1).



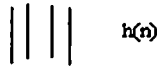
2.3-rasm. Uch pozitsiyali signalga misol

SVYORTKA



$h(n)$ - ishlov berish tizimining impulsli xususiyati

$x(n)$ - kirish signalning ketma-ketligi



$y(n)$ - chiqish ketma-ketligi (svyortka)



$$y(n) = x(n)h(n) = \sum h(k)x(n-k)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, (M-1),$$

$M = N_1 + N_2 - 1$ - svyortka qadamlar soni



1. $0,5x_0, 1=0,05$

2. $1,0x_0, 1+0,5x_0, 2=0,2$

3. $3,0x_0, 1+1,0x_0, 2+0,5x_0, 3=0,65$

4. $5,0x_0, 1+3,0x_0, 2+1,0x_0, 3+0,5x_0, 3=1,553$

5. $3,0x_0, 1+5,0x_0, 2+3,0x_0, 3+1,0x_0, 3+0,5x_0, 2=2,6$

6. $1,0x_0, 1+3,0x_0, 2+5,0x_0, 3+3,0x_0, 3+1,0x_0, 2+0,5x_0, 1 = 3,135$

7. $0,5x_0, 1+1,0x_0, 2+3,0x_0, 3+5,0x_0, 3+3,0x_0, 2+1,0x_0, 1 = 3,35$

8. $0,5x_0, 2+1,0x_0, 3+3,0x_0, 3+5,0x_0, 2+3,0x_0, 1=2,6$

9. $0,5x_0, 3+1,0x_0, 3+3,0x_0, 2+5,0x_0, 1=1,55$

10. $0,5x_0, 3+1,0x_0, 2+3,0x_0, 1=0,65$

11. $0,5x_0, 2+1,0x_0, 1=0,2$

12. $0,5x_0, 1=0,05$



$N=4$

$M=7$

2.2-rasm. Raqamli signallarni ketma-ketlikni svyortkalash tartibi

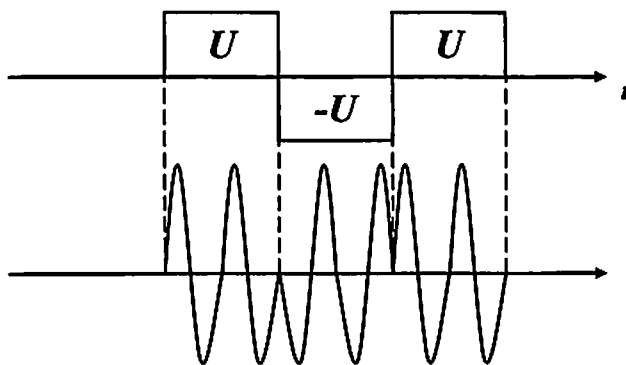
Ikki diskret signalning o'zaro-korrelyatsiya funksiyasi (O'KF) tushunchasi shunga o'xshash tarzda kiritilgan (2.2):

$$V_{uv(n)} = U_i * V_{i-n} \tag{2.2}$$

Taqdim etilgan formulalar bo'yicha hisob-kitoblarni ixtisoslashtirilgan hisoblash moslamasi yoki raqamli signal protsessori (RSP) amalga oshirishi mumkin.

Radio elektron qurilmalardagi diskret signalning o'zaro bog'liqlik (korrelyatsiya) xususiyati haqidagi savol ko'pincha signal uzatish liniyasi darajasida paydo bo'ladi. Odatda diskret signallarni uzatish ketma-ket uchlamchi kod bilan amalga oshiriladi. Bunday holda, joriy vaqt pozitsiyalar deb nomlangan elementar intervallarga bo'linadi. Ushbu pozitsiyalar aloqa liniyasining uzatuvchi va qabul qiluvchi tomonlarida sinxron ravishda o'lchanadi. Sinxronlash vaqti-vaqti bilan maxsus sinxronlash signallarini uzatish orqali amalga oshiriladi. Har bir pozitsiyada signal uchta qiymatdan birini olishi mumkin: 0, +1 yoki -1. Nolinchi ma'lumot yo'qligini anglatadi, aks holda signal yo'q, +1 - bu ayni paytda log 1 uzatilayotganligini anglatadi, -1 log 0 hozirda uzatilayotganligini anglatadi.

Odatda, liniya bo'ylab xabarlarni uzatish quyidagicha ko'rinadi: liniyada xabarlar bo'lmagan taqdirda, faqat nollar kuzatiladi, keyin M1 pozitsiyalarni egallovchi birinchi signal paydo bo'ladi va +1 va -1 kombinatsiyasini ifodalaydi, keyin nollardan iborat pauza bo'ladi, so'ngra M2 pozitsiyalarini egallagan ikkinchi signal paydo bo'ladi va hokazo. Ko'pincha M razryadli belgilangan signallar uzatiladi. 2.3-rasmda uchta pozitsiyali signalning namunasi ko'rsatilgan (1, -1, 1).



2.3-rasm. Uch pozitsiyali signalga misol

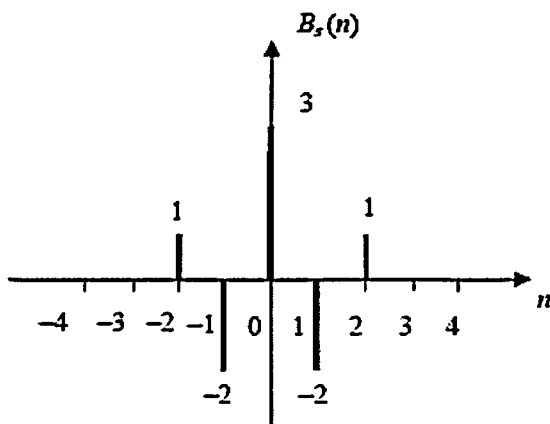
Bunda a) holat bo'yicha ijobiy kuchlanish +1 ga, salbiy kuchlanish -1 ga to'g'ri keladi. Bunday amplitudali kodlash simli aloqa liniyasi uchun juda mos keladi, masalan, telefon liniyasi.

Keyingi b) holatida +1 belgisi nolinch boshlang'ich fazali tebranish segmentiga, -1 esa boshlang'ich fazaga to'g'ri keladi. Ushbu fazali kodlash simsiz aloqa liniyalari uchun mos keladi, bu yerda ma'lumot tashuvchisi sifatida yuqori chastotali to'lqin shakli ishlatiladi.

Diskret signalni kodlashning fizik mohiyatidan kelib chiqib, rasmda keltirilgan ikkala holat ham quyidagicha yozilishi mumkin:

... .0001-11000....

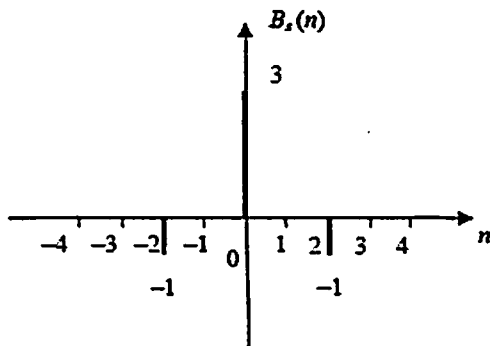
Yuqoridagi formuladan foydalanib hisoblangan ushbu signalning avtokorrelyatsiya funksiyasi 2.4-rasmda keltirilgan.



2.4-rasm. Avto-korrelyatsiya funksiyasi grafigi

Misol. Signalning AKF-ni toping (1, 1, -1).

Formuladan foydalangan holda hisob-kitoblar pastki rasmda ko'rsatilgan natijaga olib keladi. Oldin ko'rib chiqilgan ikkita signalning AKF-ni taqqoslab, biz signal (1, 1, -1) AKF yon tomonlari darajasi bo'yicha eng yaxshi ekanligini ko'rishimiz mumkin (2.5-rasm).



2.5-rasm. Avtokorrelyatsiya funksiyasi natijasi

XX asrning 50-60 yillarida mukammal korrelyatsion xususiyatlarga ega bo'lgan diskret signallarning butun sinflari ishlab chiqildi. Ularning orasida Barker kodlari juda mashhur bo'lib, ular ajoyib xususiyatga ega: M pozitsiyalar sonidan qat'i nazar, AKF qiymati $n \neq 0$ uchun birdan oshmaydi. Shu bilan birga, ushbu signallarning energiyasi, ya'ni $B_x(0)$, M ga teng.

Barker signallari faqat $M = 2, 3, 4, 5, 7, 11, 13$ uchun amalga oshirilishi mumkin. Masalan, $M = 5$ uchun Barker signalining shakli $(1, 1, 1, -1, 1)$ va $M = 7$ uchun Barker signali $(1, 1, 1, -1, -1, 1, 1)$.

2.3. Z-o'zgartirish

Diskret signallarning matematik tavsifida, ayniqsa telekommunikatsiya va ma'lumotlarni uzatish tizimlarida Z-o'zgartirish keng qo'llaniladi. Signallarning bunday tasvirlanishi hisob-kitoblarni soddalashtirishga va signallarni va ularning fragmentlarini qo'shish masalalarida oddiyroq matematik amallarni bajarishga, ikki signalning uzun svyorkalash jarayonini nisbatan sodda ko'paytirish orqali kamaytirishga imkon beradi. Raqamli filtrlashda ushbu o'zgartirish cheksiz impulsli xususiyatli filtrlarda qiymatlar ketma-ketligini aks ettirishni soddalashtiradi [7, 8, 9].

Z-o'zgartirishning asosiy xususiyatlarini va ikkita diskret signal svyorkalashni amalga oshirishga misol ko'rib chiqamiz.

$\{x_k\} = (x_0, x_1, x_2 \dots)$ – bu diskret signal qiymatlari

Signalning Z-o'zgartirishi summa asosida aniqlanadi:

$$X(z) = x_0 + \frac{x_1}{z} + \frac{x_2}{z^2} + \dots = \sum x_k * z^{-k} \quad (2.3)$$

Z-o'zgartirishning asosiy xususiyatlari:

1. Z^{-1} belgisi bir pozitsiyali kechikish operatori.
2. Ikkita diskret signal yig'indisi ularning Z-o'zgarishlari yig'indisiga mos keladi.
3. Bu signallarning Z-timsollari ikki signalning svyortkasiga mos keladi.

Misol: $X(z) = 1 + 2/Z + 3/Z^2$, $Y(z) = 5 + 3/Z + 1/Z^2$. Bu ikki raqamli signalning svyortkalash natijasini toping.

Vazifa bu ikkita signalning svyortkalash natijasini topishdir. Yechim: asosiy xususiyatlarning 3-bandiga muvofiq:

$$\begin{aligned} F(z) &= X(z) * Y(z) = (1 + 2/Z + 3/Z^2) * (5 + 3/Z + 1/Z^2) \\ &= 5 + 3/Z + 1/Z^2 + 10/Z + 6/Z^2 + 2/Z^3 + 15/Z^2 + 9/Z^3 \\ &\quad + 3/Z^4 = 5 + 13/Z + 22/Z^2 + 11/Z^3 + 3/Z^4 \end{aligned}$$

Ko'rib turganingizdek, svyortkalash natijasi 2.1-rasmda ilgari keltirilgan misol bilan bir xil.

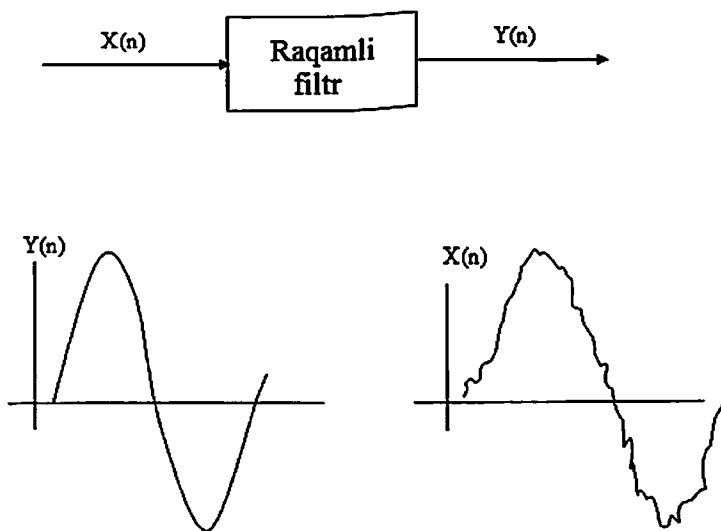
Nazorat uchun savollar

1. Vaqt sohasida qo'llaniladigan signallarga raqamli ishlov berish operatsiyalarini bayon qiling.
2. Signallarning lokal xususiyatlariga nimalar kiradi?
3. Signallarning integral xususiyatlariga nimalar kiradi?
4. Signallarning dinamik muvozanat nuqtalari nima?
5. Signallarni qayta ishlashda svyortka amali qanday bajariladi?
6. Signallarni qayta ishlashda korrelyatsiya amali qanday bajariladi?
7. Signallarni qayta ishlashda Z-o'zgartirish qanday amalga oshiriladi?

III BOB. SIGNALLARNI RAQAMLI FILTRLASH

3.1. Signallarni shovqinlardan tozalash vazifalassssri

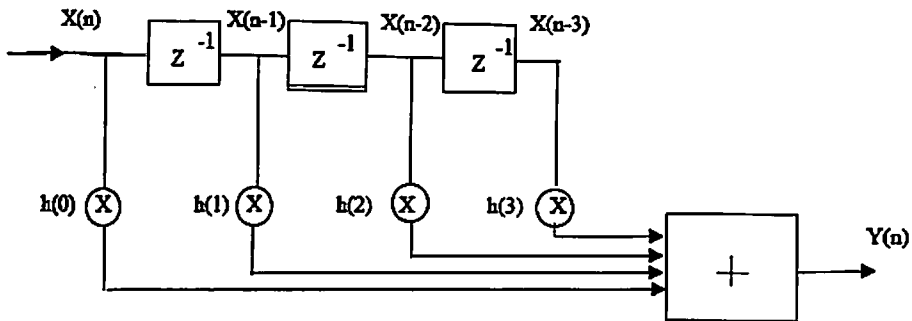
Filtrlash – bu statsionar xalaqitlar (shovqin) fonida foydali signalni ajratib olish jarayonidir. Raqamli filtr – bu kompyuter ilovasi yoki alohida hisoblash qurilmasi bo'lishi mumkin. Matematik nuqtai nazaridan, filtrlash – bu asosan, impuls xususiyatiga ega signalning svyortkalash jarayonidir, bu yerda impuls xususiyati rolini filtr koeffitsiyentlari $h(k)$ bajaradi (3.1-rasm). $X(n)$ signalining qiymatlari raqamli filtrning kirish qismiga ketma-ket kirib keladi, filtrlangandan so'ng silliqlangan signal $Y(n)$ filtr chiqishida paydo bo'ladi [2, 3, 9].



3.1-rasm. Raqamli filtr elementlari

Eng oddiy filtr turi – bu sirpanuvchi o'rtacha filtr hisoblanadi. Sirpanuvchi o'rtacha filtrda amalga oshiriladigan hisob-kitoblarni ko'rib chiqamiz.

Raqamli filtrning kirish signali – bu kiruvchi analog signalni diskretlash va kvantlash natijasida hosil bo'ladigan raqamli qiymatlar ketma-ketligidir (3.2-rasm).



3.2 – rasm. 4 nuqtali harakatlanuvchi o'rtacha filtr diagrammasi

Kechikish elementi Z^{-1} diskretlashning bir davriga to'g'ri keladigan (birlik kechikishi) vaqtinchalik kechiktirish. Shuning uchun har bir kechiktirish elementi Z^{-1} qiymatlarni diskretlashning bir davri bilan kechiktiradi. Hisoblash formulasi quyidagicha (3.1):

$$Y(n) = \sum [h(k) * x(n - k)] \quad (3.1)$$

Bu holda filtr koeffitsiyentlari $h(k)$ doimiy (bular filtr og'irliklari) va $\frac{1}{4}$ ga teng. Har bir kechikish elementining chiqishi burilish deb nomlanadi. Burilishlardan olingan qiymatlar ko'paytirish sxemalariga beriladi, ular kechiktirilgan qiymatlarning miqdorini kerakli qiymatlarga qadar o'lchaydilar, ya'ni qiymatlarning kechiktirilgan miqdori og'irlik koeffitsiyentlariga ko'paytiriladi. Ko'paytirgichlarning chiqishi umumiy yig'uvchiga ulangan.

Raqamli filtdan chiquvchi signal tegishli miqdordagi kechiktirilgan va vaznli qiymatlar majmuasini ifodalaydi:

$$\begin{aligned} Y(n) &= h(0)*x(n) + h(1)*x(n-1) + h(2)*x(n-2) + h(3)*x(n-3) \\ &= \frac{1}{4} [x(n) + x(n-1) + x(n-2) + x(n-3)] \end{aligned}$$

Raqamli filtrning ishlash algoritmi. Hisoblashlar birinchi $x(n)$ qiymatning filtr kirish qismiga kirishidan boshlanadi. Kiruvchi qiymat $h(0)$ ga ko'paytiriladi, ya'ni $\frac{1}{4}$ ga va kechiktirish (z) orqali filtrning ikkinchi bosqichiga uzatiladi va uning $x(n)/4$ hosilasi yig'uvchining kirish qismiga uzatiladi. Xuddi shu tarzda, $x(n)$,

- | | | |
|-----|----------------------------------|-----|
| 7. | $1,2*0,25+2,0*0,5+2,0*0,25=1,8$ | 2,0 |
| 8. | $2,0*0,25+2,0*0,5+1,0*0,25=1,75$ | 2,0 |
| 9. | $2,0*0,25+1,0*0,5=1,0$ | 1,0 |
| 10. | $1,0*0,5=0,25$ | |

Yuqorida muhokama qilingan raqamli filtr turi shovqin darajasi past bo'lgan oddiy mikrosxemalarda qo'llaniladi. Ko'p tomonlama raqamli filtrlar ularni ishlab chiqishda ko'proq parametrlardan foydalanadi.

3.2. Chekli impuls xususiyatli raqamli filtr qurish

Filtr koeffitsiyentlarini hisoblash uchun bir nechta parametrlarni aniqlash kerak: o'tkazish oralig'i (buzilmasdan filtrdan o'tadigan chastotalar), o'tish diapazonining kengligi (kechiktirilgan va o'tgan chastotalarni ajratuvchi diapazon), o'tish diapazonidagi so'nish tezligi (amplituda-chastota xususiyatiga moyilligi). Raqamli filtrlarning barcha parametrlarini aniqlash uchun tenglamalarni yechish kerak, shuning uchun filtr koeffitsiyentlariga hisoblab chiqilgan maxsus dastur paketlari ishlab chiqilgan.

Raqamli filtrlarning ishlash sifatini baholash – bu tegishli kesimning aniq chastotalar uchun amplituda-chastotali xususiyatining (AChX) moyilligi hisoblanadi. Filtr kaskadlari qancha ko'p bo'lsa, AChX ning pasayishi tezroq bo'ladi. Kaskadlar sonining ko'payishi bilan impuls xususiyati qiymatlari mutanosib ravishda ko'payadi, ammo bu raqam doimiy, cheklangan bo'lib qoladi. Shuning uchun bu turdagi filtr chekli impuls xususiyatli (FIR - finite impulse response) filtrlar deb ataladi [10, 11]. Ular musiqa, video ma'lumotlarini qayta ishlashda keng qo'llaniladi, ularning faza-chastotali xususiyatlari qat'iy ravishda chiziqli hisoblanadi.

Cheksiz impuls xususiyatli (IIR - infinite impulse response) filtrlari oddiyroq filtrlarga asoslangan to'g'ri va teskari aloqali kaskadga ega bo'lgan yanada murakkab qurilmadir.

Shuningdek, filtr apparati tomonidan amalga oshiriladigan asosiy hisoblash funksiyasi – bu yig'ish asosida ko'paytirish operatsiyalari (MAC - Multiply–Accumulate operatsiyalari) ketma-ketligidan tashkil topadi.

Raqamli filtrlarning afzalliklari shundaki, ular dasturlashtiriladigan qurilmalar bo'lib, ularning asosiy xususiyatlari (uzilish chastotasi, so'nish tezligi, amplituda-chastotali xususiyati) kerakli miqdordagi koeffitsiyentlarni kiritish orqali dasturiy ravishda o'zgartirilishi mumkin.

Raqamli filtrlarda bir nechta asosiy xatolik manbalari mavjud [4, 6].

1. Signallarni kvantlash. ARO' kvantlash xatolikni keltirib chiqaradi.
2. Koeffitsiyentlarni kvantlash (odatda koeffitsiyentlar 16 yoki 32 razryadga ega bo'ladi).
3. Filtrning cheklangan razryadi tufayli ko'paytirish amalini bajarishda yaxlitlash.
4. Ko'paytirish amallari mavjudligi sababli hisoblash paytida razryad katakchasing to'lib qolishi.
5. Filtr yoki protsessorning so'z uzunligining cheklangan razryadi.

3.3. Chekli impuls xususiyatli filtr koeffitsiyentlarini hisoblash

Raqamli filtrlarni loyihalash masalasini signalning quyi chastotalarini o'tkazadigan va yuqori chastotalarni bostiradigan chekli impuls xususiyatli filtr sxemasini tanlash misolida ko'rib chiqamiz.

3.4-rasmda past chastotali AChX filtriga misol ko'rsatilgan. Rasmda ko'rib turganingizdek, bu filtr past chastotalarni o'tkazadi, va boshqa barcha chastotalarni olib tashlaydi yoki ularni zaiflashtiradi.

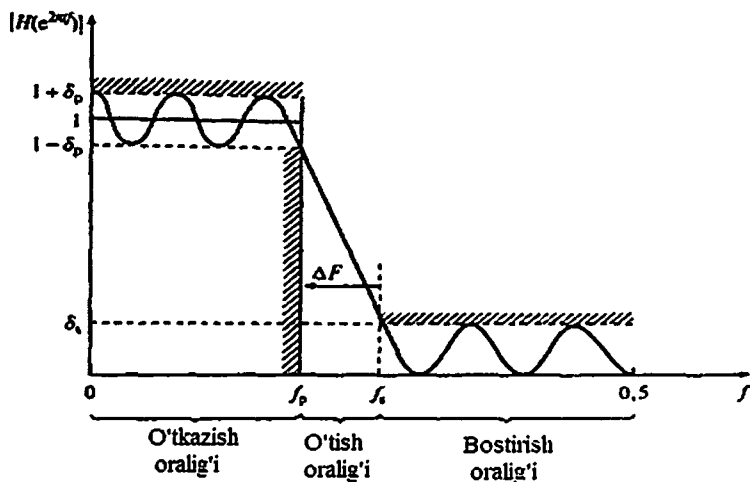
O'tkazish va bostirish oraliqlardagi og'ishlar qabul qilinayotgan signalga qarab tanlanadi, lekin turli og'irlik funksiyalaridan foydalanilganda ular cheklanishlarga duch kelishi mumkin.

Ushbu filtr analitik ifodaga muvofiq ishlaydi (3.2):

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} (h_k(n) \times x(n-k)) \quad (3.2)$$

Filtr parametrlarini aniqlash. Tabiiyki, turli xil filtrlar uchun turli xil koeffitsiyentlar kerak bo'ladi va buning uchun filtr parametrlarini aniqlashtirish kerak bo'ladi. Bu odatda nazariy jihatdan amalga oshiriladi (signalimizning chastotasi

qanday ekanligini, keyin filtrlanishi kerak bo'lgan chastotalarni aniqlaymiz), keyin esa AChX ning haqiqiy o'lchovlarni o'rganamiz [8].



3.4-rasm. Past chastotali AChX filtri

Ushbu AChX ni ideal chastota xususiyati bilan aniqlaymiz (qaysi chastotalar erkin o'tadi, qaysilarini va qanchalik darajada olib tashlaymiz), endi bizga ideal impuls xususiyati kerak bo'ladi (3.3):

$$h_D(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H_D(w) \times e^{jwn} dw \quad (3.3)$$

bu yerda $H_D(w)$ – ideal impuls xususiyati.

Ammo oddiyroq yo'ldan ham borish mumkin – oldindan hisoblangan ideal impuls xususiyatlari mavjud, masalan, past chastotali filtr uchun formulalar quyidagicha:

$$n \neq 0 \quad \text{uchun} \quad h_D(n) = 2f_c \times \frac{\sin(nw_c)}{nw_c} \quad (3.4)$$

$$n = 0 \quad \text{uchun} \quad h_D(n) = 2f_c \quad (3.5)$$

bu yerda f_c va w_c – kesim chastotasi.

Endi ideal impuls xususiyatidan “real” impuls xususiyatiga o'tishimiz kerak. Uni hisoblash uchun $w(n)$ vazn funksiyasi kerak bo'ladi, filtrga qo'yiladigan

talablarga qarab (Hamming, Henning, Blekman, Kaiyzer funksiyalari) ularning bir nechta turlari mavjud [15, 16].

Bizning holatda, biz Blekman funksiyasidan foydalanamiz (3.6):

$$w(n) = 0,42 - 0,5 * \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + 0,08 * \cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right) \quad (3.6)$$

bu yerda N – filtr uzunligi, ya'ni koeffitsiyentlar soni.

Endi esa ideal impuls xususiyatini va vazn funksiyasini ko'paytrish kerak bo'ladi (3.7):

$$h(n) = h_D(n) * w(n) \quad (3.7)$$

Filtr xarakteristikalarini loyihalash.

Hozirgi vaqtda raqamli filtrlar dasturiy paketlar yordamida loyihalashtiriladi. Turli murakkablikdagi va funksional maqsaddagi raqamli filtrlarni sintezlash uchun ko'plab paketlar mavjud. Raqamli filtr xususiyatlarini yuqori sifatli loyihalash uchun MATLAB amaliy dasturlar paketi keng tarqalgan bo'lib, unda filtr strukturasi loyihalash, filtr koeffitsiyentlarini aniqlash va xatolarni hisoblash uchun ko'plab dasturlar mavjud.

Filtni qurish sxemasini loyihalash uchun quyidagi ko'rsatkichlar aniqlanishi kerak:

- o'tkazish oraliq kengligi;
- o'tish oralig'ining so'nish tezligi;
- kechikish oralig'ining kengligi;
- o'tish oralig'ining kengligi.

Ushbu ma'lumotlar yordamida dasturiy loyihalash quyidagilarni aniqlaydi:

- elektron qismlar soni (filtr kaskadlar soni);
- impuls xususiyatlar koeffitsiyentlari;
- impuls xususiyatlar grafigi;
- AChX va FChX grafiklari.

Raqamli filtrlarning afzalliklari: ishlov berishning aniqligi va kaskadlarni, masshtablash koeffitsiyentlarini o'zgartirish orqali qayta ishlash rejimlarini qayta

dasturlash qobiliyatining mavjudligi. Ko'p kaskadli va murakkab arxitekturaga ega bo'lgan juda murakkab filtrlarni qurish zarur bo'lganda, SRIB protsessorlari (signal protsessorlari) ishlatiladi.

Signal protsessorlaridan foydalanish filtrlash vazifasini soddalashtiradi, chunki ishlov berish rejimlarini o'zgartirish, qo'shimcha siqishni protseduralarini yoqish, signallarning foydali qismlarini ajratib olish, approksimatsiya interpolyatsiyaning maxsus usullarini qo'llash mumkin bo'ladi.

3.4. Signallarni interpolyatsiya va detsimatsiyalash

Diskretlash chastotasini o'zgartirish. Turli xil signallarga raqamli ishlov berish vazifalarini hal qilishda signallarni diskretlash chastotasini oshirish yoki kamaytirish kerak bo'ladi. Ushbu jarayon ko'pincha ma'lumotlarni saqlash yoki uzatishda talab qilinadi. Saqlashda bu muammo kompakt disklar formatlari (diskretlash chastotasi 44,1 kGs) va R-DAT (Rotating-head Digital Audio Tape) raqamli yozuvlari (diskretlash chastotasi 48 kGs) o'rtasida farqlar mavjud bo'lganda paydo bo'ladi. Ma'lumotlarni uzatishda Naykvist chastotasidan jiddiy og'ishlar (u yoki bu tomonga) ma'lumotlar buzilishiga yoki aloqa kanalining to'lib qolishiga olib kelishi mumkin [2, 3, 6, 8].

Ko'pincha diskretlash chastotasining koeffitsiyentlari butun son emas. Ushbu koeffitsiyentning qiymatiga qarab, diskretlash chastotasini o'zgartirishning quyidagi usullari mavjud.

1. *Interpolyatsiya* – diskretlash chastotasini butun songa oshirish.
2. *Detsimatsiya* (qisqartirish) – diskretlash chastotasini butun songa kamaytirish.
3. *Qayta diskretlash* – diskretlash chastotasini ixtiyoriy (ko'pincha kasrli) marta o'zgartirish.

Diskretlash chastotasini o'zgartirishda signalni dastlabki interpolyatsiya va detsimatsiyalash talab qilinadi. Diskretlash chastotasini oshirish va pasaytirish mavjud ketma-ket tartibdagi signal qiymatlariga o'zgartirish bilan bog'liq.

Diskretlash chastotasini oshirish orqali signal tarkibiga yangi qiymatlar qo'shiladi, diskretlash chastotasini pasaytirganda esa qiymatlar soni kamayadi.

Detsimatsiya (qisqartirish). Diskretlash chastotasini N marta kamaytirish uchun har bir N -chi qiymatni dastlabki signal ketma-ketlikdan olish kifoya. Ammo, agar dastlabki signal spektri tarkibida yangi diskretlash chastotasining yarmidan kattaroq chastotalarni qamrab olsa (yangi Naykvist chastotasi), bu chiqish signali spektri tarkibida soxta chastota komponentlarining paydo bo'lishiga olib keladi. Signaldagi soxta tarkibiy qismlarning paydo bo'lish holatini oldini olish uchun haqiqiy signallarning spektrini cheklashning dastlabki protsedurasi talab qilinadi, ya'ni cheklash chastotasi Naykvist chastotasiga teng bo'lgan past chastotali filtrdan foydalanish [9].

Buning uchun rekursiv bo'lmagan (FIR-filtr) past chastotali filtridan foydalanish samaraliroqdir. Shundan so'ng, har bir kerakli N -chi qiymatni chiqarib tashlash orqali diskretlash chastotasini pasaytirish mumkin. Agar N butun son bo'lsa qiymatni olib tashlash jarayoni qiyinchilik tug'dirmaydi. Ammo, agar N kasr son bo'lsa, ya'ni diskretlash chastotasini 1,5 baravar kamaytirish kerak bo'lsa, vazifa ancha murakkablashadi.

Interpolyatsiya. Interpolyatsiyalashda diskretlash chastotasini N martaga oshirish kerak, ya'ni mavjud qiymatlar orasidagi bo'shliqlar yangilari bilan to'ldiriladi. N butun son bilan vazifa qiyin bo'lmaydi, kasr son bilan vazifa ancha murakkablashadi. Ushbu muammoning har qanday yechimida interpolyatsiya matematik yaqinlashuv usullari yordamida amalga oshirilishi kerak. Sonli usullar va interpolyatsiya formulalari yordamida hal qilingan interpolyatsiya masalalari algebraik polinomlar ko'rinishida signallarni yoki ularning segmentlarini approksimatsiya va aks ettirishda yanada murakkab matematik protseduralarni talab qiladi [9, 10].

To'liq bo'lmagan N qiymati uchun diskretlash chastotasini o'zgartirishning umumiy tartibi qayta diskretlashdir.

Qayta diskretlash – bu interpolyatsiya va detsimatsiya kombinatsiyasidir.

Dastlabki diskretlash chastotasini P/Q ga ko'paytirilishi kerak bo'lgan variantni ko'rib chiqamiz, bu holda P ning qiymati Q dan kichik, ya'ni kasr koeffitsiyenti bilan detsimatsiyaning umumiy vazifasi qo'yiladi. Bunday holda, avval P -koeffitsiyent interpolatsiya qilinadi, so'ngra Q -koeffitsiyent detsimatsiya amalga oshiriladi. Yuqorida aytib o'tilganidek, Naykvist qoidasi bilan bog'liq buzilishlarning oldini olish uchun raqamli signal avval RAO' orqali, so'ngra past chastotali silliqlash filtri qo'llanilishi kerak va keyin Q -koeffitsiyent bilan miqdori aniqlanadi [16].

Ushbu harakatlar raqamli filtrlar yoki signal protsessor dasturlari yordamida amalga oshirilishi mumkin. Real vaqt rejimidagi ba'zi bir tizimlarda, kasrli koeffitsiyent asosida diskretlash chastotasini o'zgartirish zarur bo'lsa, raqamli signal analog shaklga o'tkaziladi, agar kerak bo'lsa filtrlanadi, keyin esa diskretlash va kvantlash protsedurasi belgilangan chastotada amalga oshiriladi.

Shuni ta'kidlash kerakki, diskretlash chastotasini o'zgartirish tartibi ko'pincha signallarni yuqori tezkorlikdagi qayta ishlash asosidagi aloqa va ma'lumotlarni uzatish tizimlarida qo'llaniladi, ya'ni turli xil diskretlash chastotasi asosida signallarga ko'p kanalli ishlov berish.

Nazorat uchun savollar

1. Filtrlash jarayoni qanday amalga oshiriladi?
2. Sirpanuvchi o'rtacha filtr qanday amalga oshiriladi?
3. Raqamli filtrlarning ishlash sifatini baholash qanday amalga oshiriladi?
4. MAC operatsiyalari ahamiyatini bayon qiling.
5. Raqamli filtrlarda qanday xatolik manbalari mavjud?
6. KIX filtrlarining koeffitsiyentlarini qanday hisoblanadi?
7. Filtni sxemasini loyihalash uchun qanday ko'rsatkichlar aniqlanishi kerak?
8. Signallarni interpolatsiyalashni bayon qiling.
9. Signallarni detsimatsiyalashni bayon qiling.
10. Qayta diskretlash qanday amalga oshiriladi?

IV BOB. SIGNALLARNI CHASTOTA SOHASIDA IFODALASH, SPEKTRAL TAHLIL

4.1. Signallarni spektral sohasida ifodalash

Signallarni vaqt sohasi bo'yicha ifodalashdan tashqari, chastota sohasida ham signallar akslantiriladi, ya'ni signalda mavjud bo'lgan chastotalar (garmonikalar) to'plami sifatida. Ushbu ifodalash usuli raqamli signallarni qayta ishlash tizimlarida juda muhim rol o'ynaydi. Masalan, nutqni tahlil qilishda tovushlarni alohida fragmentlarini tanib olish uchun chastotali tarkibiy qismlarga ajratiladi. Aloqa kanallari orqali yuborilayotgan nutq signali kanalning chastotaviy xususiyatiga mos kelishi uchun signallarning chastotaviy tarkibini bilish kerak bo'ladi [2, 4, 8].

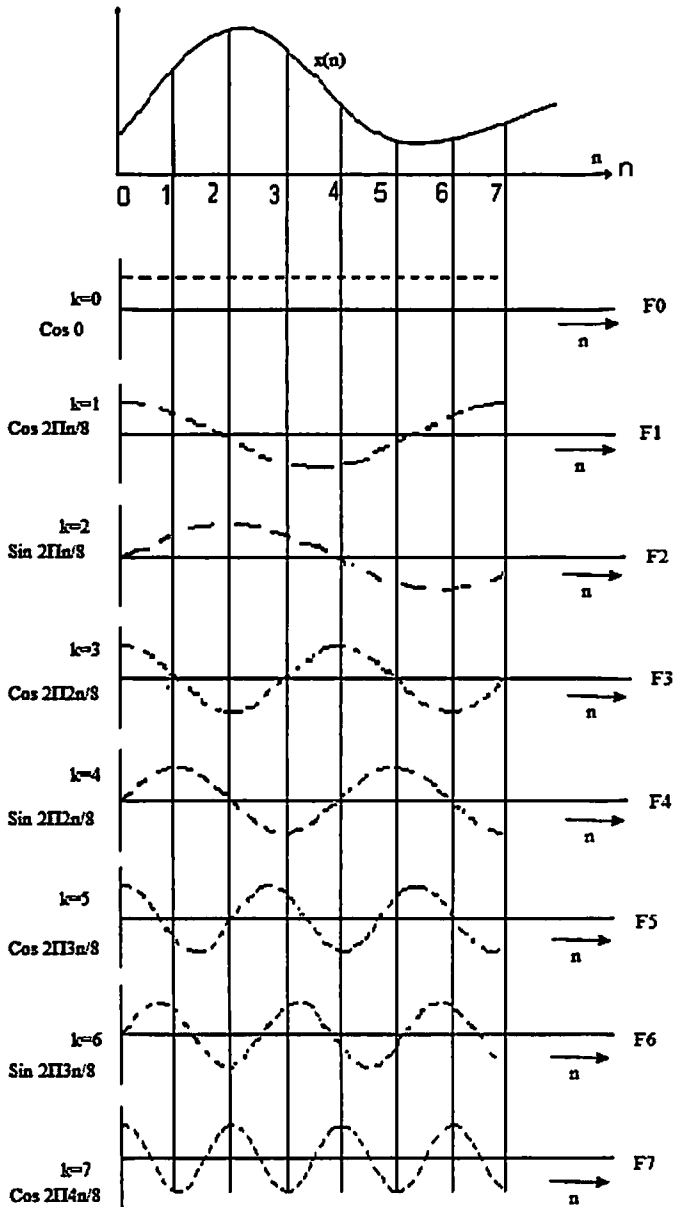
Signalni vaqt sohasidan spektral sohasiga o'tkazish uchun asosiy algoritim - Fure o'zgartirish hisoblanadi. Matematik jihatdan bu signalning garmonik tashkil etuvchilar yig'indisidan tashkil topgan Fure qatorlari deb ataladi. Fure qatoridan foydalangan holda har qanday davriy signalni tavsiflash mumkin. Ushbu o'zgartirishning muhim xususiyati shundaki, signalni vaqt sohasidan spektral sohasiga o'tkazish, aksincha, signalni spektral sohasidan vaqt sohasiga o'tkazish protseduralari mavjud. Ushbu protseduralar to'g'ri va teskari Fure o'zgartirishlari deb nomlanadi.

Signallarni diskret Fure o'zgartirish ko'rinishida ifodalash. Asosiy algoritmlardan biri bu diskret Fure o'zgartirishi (DFO') [11, 12]. DFO' algoritmini chiqishida $F(k)$ spektral (og'irlik) koeffitsiyentlar to'plami hosil bo'ladi, bu yerda k - garmonikaning tartib chastotasiga mos keladigan koeffitsiyent tartib raqami (4.1-rasm).

$$F(k) = \frac{1}{N} \sum x(n) (\cos(2\pi nk / N) - j \sin(2\pi nk / N)) \quad (4.1)$$

Teskari diskret Fure o'zgartirish esa aksincha, signalni spektral sohasidagi ifodalanishidan vaqt sohasiga tegishli miqdordagi nuqtalarga o'tkazishga imkon beradi.

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum F(k)(\cos(2\pi nk / N) + j \sin(2\pi nk / N)) \quad (4.2)$$



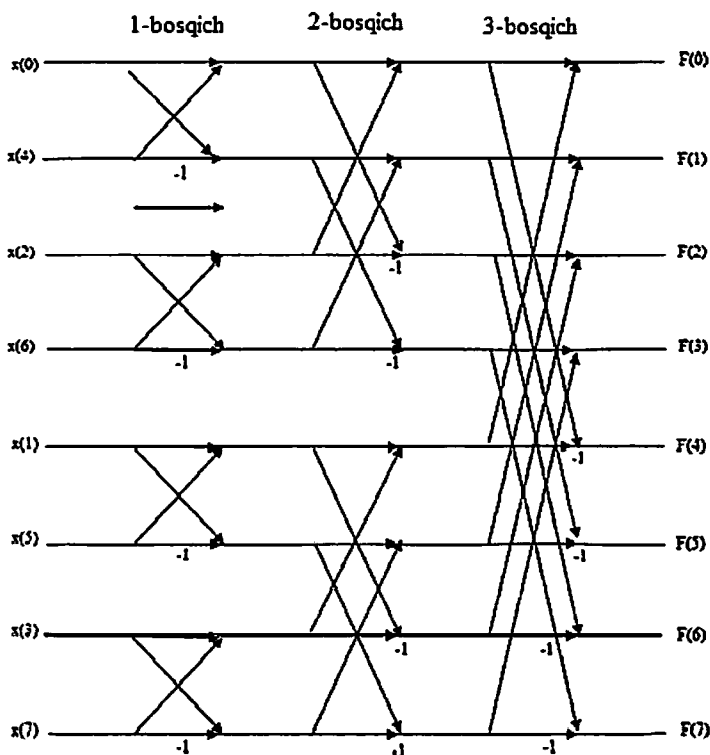
4.1-rasm. Fure o'zgartirishi

To'g'ri diskret Fure o'zgartirishi kirish signalining cheklangan sonli qiymatlari $(2n)$ bo'yicha amalga oshiriladi, bu signalni vaqti-vaqti bilan spektral ko'rinishga o'tkazishga imkon beradi.

Spektral ko'effitsiyentlar $F(k)$ signalning kirish qiymatlarini Fure funksiyalari - sinuslar va kosinuslar bilan svyortkalash (juftliklar asosida ko'paytirish) natijasida olinadi.

Sin va Cos asos funksiyalari fazaviy tekisligining 0 va 90 burchak nuqtalarida nolga teng bo'lganligi sababli, uning yoyilmasida haqiqiy (Cos) va mavhum (Sin) tashkil etuvchilarini o'z ichiga oladi.

Tezkor Fure o'zgartirishi (TFO'). Bu tezkor Fure o'zgartirishi hisoblash algoritmi tegishli ko'paytirish va qo'shish operatsiyalari sonini kamaytirish orqali amalga oshiriladi (4.2-rasm).



4.2-rasm. Tezkor Fure o'zgartirishi qadamlari

Odatiy DFO'dan farqli o'laroq, $N \times N$ ko'paytirish amallarini talab qiladigan bu jarayonni amalga oshirishda TFO'ga faqat $N \cdot \log_2 N$ ko'paytmalari kerak bo'ladi.

Masalan, 32 nuqtali DFO'ni amalga oshirishda 1024 marta ko'paytirish amali talab qilinsa, TFO' uchun atigi 160 marta ko'paytirish amali kerak bo'ladi.

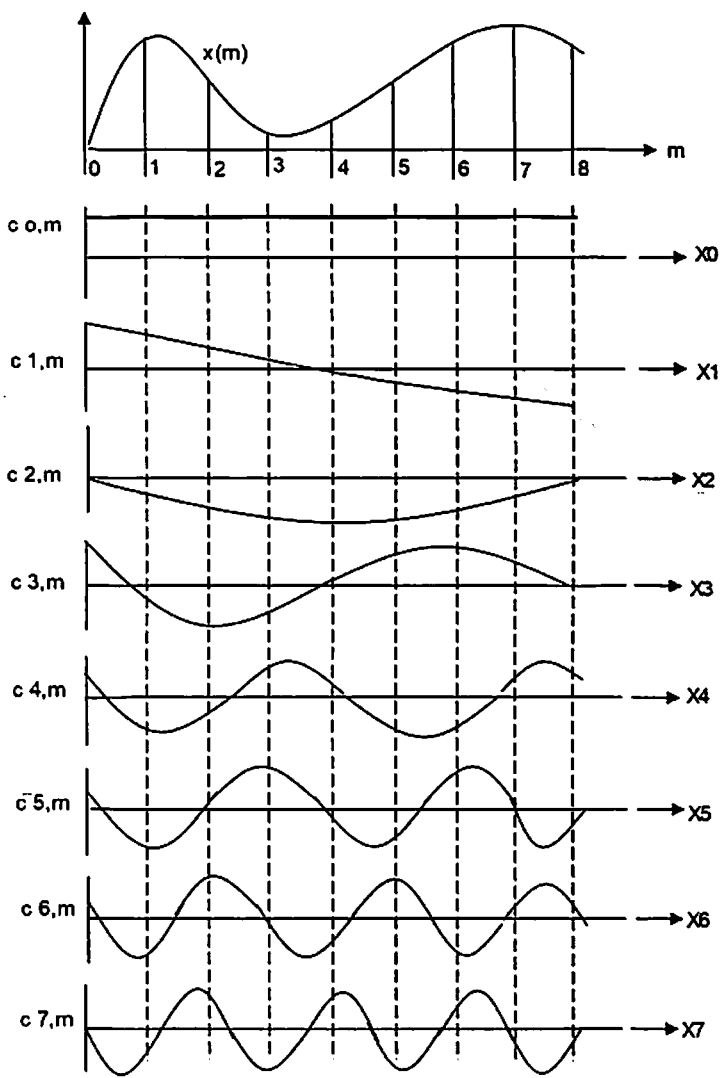
Shuni ta'kidlash kerakki, yuqoridagi Fure o'zgartirishlari integral o'zgartirish tizimlarini nazarda tutadi, ya'ni alohida koeffitsiyentlarning shakllanishi umumiy sonli $F(k)$ hosilalarini yig'indisi (birlashtirish) natijasida olinadi [12].

Bazis funksiyalarning boshqa tizimlari.

Diskret-kosinus o'zgartirish (DKO'). DKO' - Fure o'zgartirishining soddalashtirilgan analogi hisoblanadi, chunki mavhum va haqiqiy qismlarni hisoblash juda ko'p vaqt talab etadi va hisoblash jarayonini murakkablashtiradi. U Fure o'zgartirishi singari to'g'ri va teskari o'zgartirish formulalariga ega. Ushbu formulalar signalni vaqt sohasi ko'rinishidan spektral ko'rinishda ifodalashga imkon beradi va aksincha [12, 15].

Umumiy ko'rinishi va o'zgartirish formulalari 4.3-rasmda keltirilgan. Kirish signalining qiymatlari kosinuslar shakliga ega bo'lgan asosiy funksiyalar qiymatlari bilan ko'paytiriladi. O'zgartirish matritsasi 8×8 o'lchamga ega, signal qiymatlarining miqdori ham 8 ga tengdir. $x(m)$ va $c(n,m)$ larning mos juftliklari bilan o'zaro ko'paytiriladi va ketma-ket yig'indilar natijasida spektral koeffitsiyentlarning qiymatlari $X(n)$ hosil qilinadi. Bu kosinus bazisidan foydalangan holda signalni Fure spektriga to'g'ri o'zgartirishdir.

Teskari o'zgartirish dastlabki signal qiymatlarini $X(n)$ va $c(n,m)$ larning mos juftliklari bilan o'zaro ko'paytirish va yig'ish orqali tiklashga imkon beradi. Bu teskari o'zgarish jarayoni hisoblanadi.

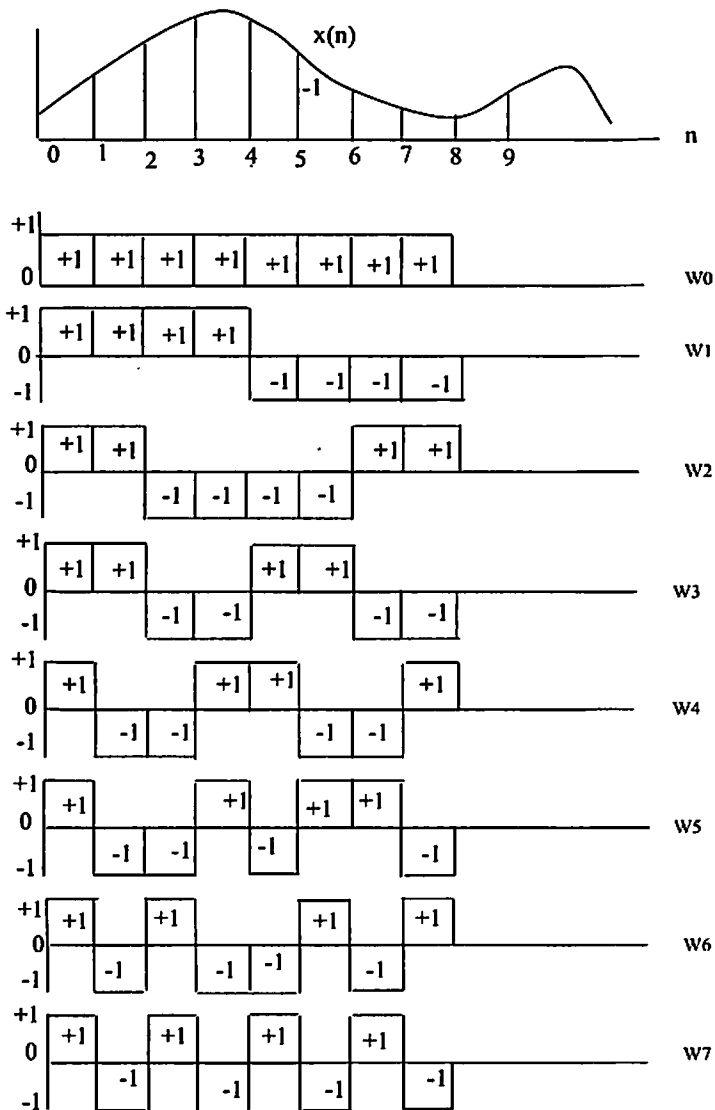


4.3-rasm. Diskret kosinus o'zgartirishi

4.2. Adamar o'zgartirishi

Fure tizimi tebranish xususiyatidagi garmonik signallarni qayta ishlash uchun juda mos keladi. Boshqa xususiyatlarga ega signallar - nogarmonik, yumshoq, trendli, statsionar nosoz, shuningdek grafik tasvirlar (grafikalar, fotosuratlar) uchun diskret

o'zgartirishning boshqa shakl va turdagi bazaviy funksiyalaridan foydalaniladi. Ushbu turga Adamar (4.4-rasm), Xara, Veyvlet-funksiyalari va boshqa shunga o'xshash boshqa bazaviy tizimlar kiradi [2, 8].



4.4-rasm. Adamar o'zgartirishi

Muayyan bazis tizimini tanlashda tegishli bazis parametrlari va kirish signalning o'xshashligi hisobga olinadi. Bazislar lokal (Xara va Veyvlet-funksiyalari) va integral (Adamar va Fure) xususiyatlarga ega bazislarga ajraladi. Bazis tizimini tanlashning yana bir mezon - bu hisoblash algoritmining hisoblash murakkabligi, bu ishlov berish tezligi va kerakli apparat resurslariga ta'sir qiladi.

Signalni spektrga yoyish Fure bazisiga o'xshash tarzda amalga oshiriladi, ya'ni signal qiymatlari va bazis funksiya juftliklari o'zaro ko'paytirish orqali amalga oshiriladi. To'g'ri va teskari o'zgartirishlarning formulalari quyidagicha:

$$a_k = \frac{1}{N} \sum x(n)W(n) \quad (4.3)$$

$$x(n) = \sum a_k W_k \quad (4.4)$$

Fure bazisidan farqli o'laroq, yuqoridagi formulada Sin yoki Cos qiymatlari bilan ko'paytirish mavjud emas, chunki $W(n)$ bazis funksiyalari +1 yoki -1 shakliga ega, ya'ni signal qiymatlari birga ko'paytiriladi, aslida esa belgini tayinlash jarayoni amalga oshiriladi (4.4-rasm). Bu funksiyalar va signallarni approksimatsiyalashda hamda ma'lumotlarni uzatishda keng ishlatiladigan spektral o'zgartirishning tezkor usuli.

4.3. Lokal bazis tizimlar

Hara bazis tizimi. Adamar bazisidan farqli o'laroq, bu yerda bazis funksiyalari og'irlik bilan almashtirish funksiyasiga ega (4.5-rasm):

$$H_{mj} = 2^{\frac{m-1}{2}}, \quad (4.5)$$

bu yerda $m = 0, 1, 2 \dots$ - bazis funksiyasining raqami; $j = 1, 2, 3 \dots$ - bitta bazis funksiyasida og'irlik elementining tartib raqami.

To'g'ri va teskari o'zgartirish quyidagicha:

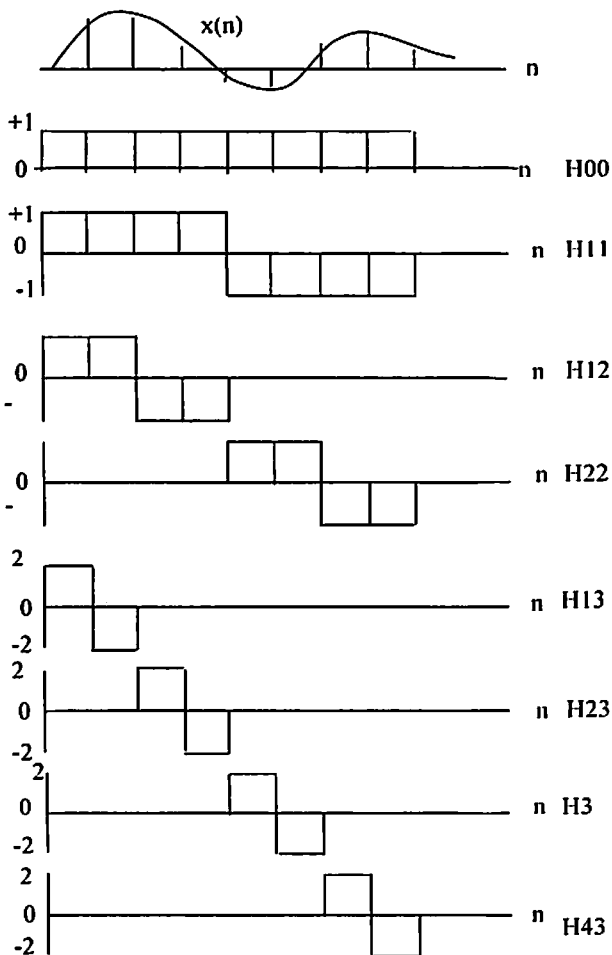
$$C_k = \sum_{k=0}^{N-1} x(n)H(k) \quad (4.6)$$

bu yerda $H(k)=H_m$

$$x(n) = \sum_{k=0}^{M-1} C_k H(k) \quad (4.7)$$

bu yerda $M=2m-1$.

Spektral Hara koefitsiyentlari tegishli lokal hududlarda signalning harakatini aks ettiradi, shuning uchun ular lokal xususiyatlarga ega bazalar toifasiga kiradi (4.5-rasm).



4.5-rasm. Hara o'zgartirishi

Adamar va Haraning yuqoridagi bazis tizimlari Fure singari, spektral koeffitsiyentlarni hisoblash algoritmlari tezligi bilan ajralib turadi, shuning uchun ular real ishlov berish uskunalarda ixtisoslashgan qurilmalar ko‘rinishida va signal protsessorlari algoritmlari ko‘rinishida juda keng qo‘llaniladi.

4.4. Veyvlet o‘zgartirishi va uning turlari

Veyvletlar - bu nol integral qiymatli va murakkab shaklga ega bo‘lgan qisqa to‘liqinli paketlarga ega bo‘lgan maxsus funksiyalarning umumlashtirilgan nomi. Veyvlet tahlil – bu murakkab garmonik tarkibli vaqti signallarini tahlil qilish muammolarini hal qilish uchun ishlatiladi, masalan, seysmik yoki nutq signallarini o‘rganishda. Veyvletlar tashqi ko‘rinishini, xususiyatlarini belgilaydigan va bir qator shartlarni qanoatlantiradigan prototiplarning maxsus bazis funksiyalari yordamida yaratiladi. Veyvletlar to‘plamidan foydalanib, biron bir xatolikka ega murakkab signallarni taxmin qilish mumkin.

Veyvlet o‘zgartirishida $f(t)$ funksiyasi ikki o‘zgaruvchi funksiyasi deb nomlanadi:

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (4.8)$$

bu yerda $\psi(t)$ - veyvlet, a - o‘lchov koeffitsiyenti, b - siljish parametri.

Asosiy prototiplar (asos veyvletlar) bir qator shartlarni qanoatlantirishi kerak.

1. Asos veyvletning o‘rtacha qiymati nolga teng bo‘lishi kerak: oilaning barcha funksiyalari masshtablash va siljish orqali tahlil qilinadigan veyvletlaridan olinadi:

$$\psi_{a,b}(t) = \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (4.9)$$

2. Ikki parametrli funksiyalar oilasi hosil bo‘ladi: a parametri - funksiya masshtabi (cho‘zish), b parametr - funksiya pozitsiyasi (siljishi).

3. Qaytuvchanlik xususiyati. Teskari o‘zgartirishning mavjudligi, dastlabki funksiyani veyvlet o‘zgartirish asosida tiklashdir.

4. Sozlash imkoniyatining mavjudligi. $\psi(t)$ funksiyasi fizik fazoda ham, Fure fazosida ham yaxshi joylashtirilgan bo‘lishi kerak.

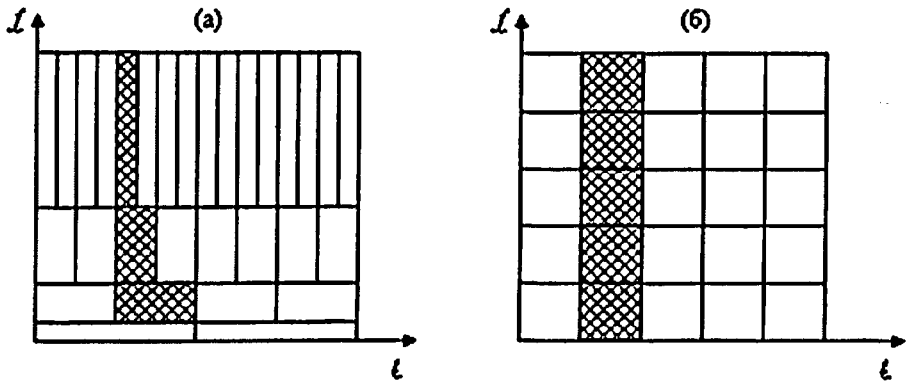
Veyvlet tahlili quyidagicha amalga oshiriladi.

1. Dastlabki veyvlet shkalasi tanlanadi (odatda 1 ga teng).

2. Veyvlet butun signal bo'ylab siljiydi va har bir qadamda uning qiymati kirish signali qiymati bilan taqqoslanadi. Ushbu protsedura natijasida chastota-vaqt sohasi koeffitsiyentlarining bir qatori hosil qilinadi.

3. Vaylet vaqt o'qi bo'ylab cho'ziladi yoki siqiladi va bu jarayon takrorlanadi.

4.6-rasmda signal ifodalash tuzilishi Veyvlet o'zgartirishi (a) va Fure o'zgartirishi (b) uchun berilgan.



4.6-rasm. Signalni ifodalashning qiyosiy tuzilmalari

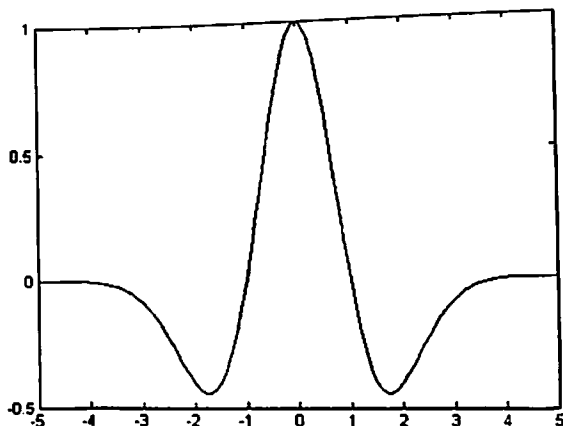
Tahlil asosida asos veyvlet turini tanlash muhim rol o'ynaydi. Umumiy qoida shundaki, asos veyvletning shakli tahlil qilingan signal shakliga o'xshash bo'lishi kerak.

Asos veyvletlar sifatida quyidagilar tanlanadi.

1. MHAT veyvletlar (Mexican HAT - "Meksikancha shlyapa"):

$$\psi(x) = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\pi^{\frac{1}{4}}\right) (1 - x^2)e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (4.10)$$

Qisqa signal qismlarini tahlil qilishda "Meksikancha shlyapa" turidagi veyvletlardan foydalanish maqsadga muvofiqdir, chunki bu signalning har bir vaqtini alohida "ko'rib chiqish" imkoniyatini beradi (4.7-rasm).



4.7-rasm. “Meksikancha shlyapa” veyvletining grafik tasviri

Bundan tashqari Hara, Dobeshi, Morle veyvletlari va boshqa ko‘plab turlari ham qo‘llaniladi. Bu veyvletlarning barchasi bir vaqtning o‘zida signalning asosiy xususiyatlarini va uning yuqori chastotali tarkibiy qismlarini ajratib olishga imkon beradi. Ushbu xususiyat signalni qayta ishlashning murakkab vazifalarida asosiy ustunlik bo‘lib, u yerda oynaning kengligi va siljishini o‘zgartirib, chastota va amplituda o‘zgarishlarning yashirin joylarini tanib olish mumkin.

4.5. Signalning kepstral parametrlarini hisoblash algoritmi

“Kepstr” atamasi chiziqli bo‘lmagan filtrlash yordamida signallarning siqilgan, ixcham tasvirini spektral o‘zgartirish qiymatlarining logarifmini olishni anglatadi. Ko‘pincha nutq signallarini qayta ishlashda kepstral ifodalashdan foydalaniladi. Biroq, ovoz traktining tug‘ma xususiyatlari va ishlatiladigan nutq uslubiyati tufayli har bir shaxsning nutqi takrorlanmas hisoblanadi. Nutqni tanib olishning ko‘plab usullari mavjud, aksariyat hollarda ularning barchasi statistik tahlil va ehtimollar nazariyasiga asoslangan. Shu bilan birga, birinchi bosqichda har doim akustik tahlil usullari qo‘llaniladi. Akustik daraja – bu ishlov berishning dastlabki bosqichi hisoblanadi, chunki u faqat audio signalga tegishli. Akustik jarayonlarni o‘rganish

ovozli signalni yozib olish, raqamli qayta ishlash va parametrlashni o'z ichiga oladi. Xususiyatlarni ajratib olish jarayonining maqsadi – kiruvchi akustik signalini ba'zi bir ixcham parametrli tasvirlash shakliga aylantirishdir [8].

Nutqni talaffuz qilish jarayonida o'zgartirishi mumkin bo'lgan va o'rganish davomida miqdoriy ko'rsatkichlarni aniqlash mumkin bo'lgan asosiy parametrlari ham vaqt sohasi bo'yicha ham spektral o'zgartirishlarning natijalaridir.

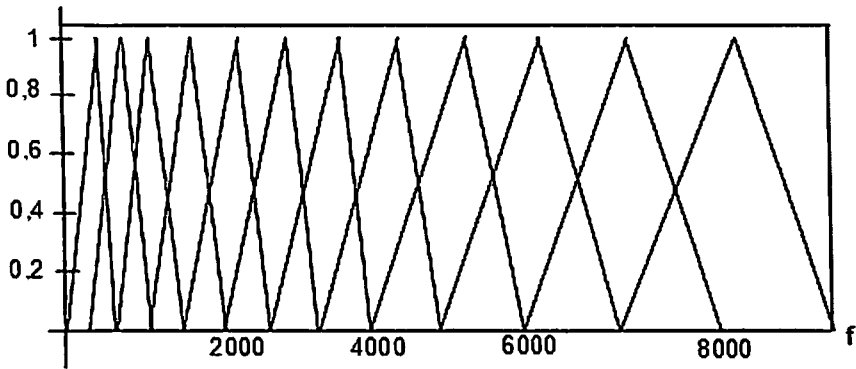
Vaqt sohasi bo'yicha o'zgartirish algoritmlarining parametrlari lokal parametrlarni o'z ichiga oladi, ularni aniqlash algoritmlari oldinroq berilgan edi. Spektral o'zgartirishlar parametrlarini aniqlash algoritmlari (signal fragmentlari spektrlari) tegishli bobla bayon etiladi. Ishlov berish zanjirida keyingi bosqichda nutq signallarining integral parametrlarini aniqlash algoritmlari: kepsstral ko'effitsiyentlarni aniqlash, formant chastotalarini ajratib olish va asosiy ton chastotasini shakllantirish amalga oshiriladi.

Tanib olish tizimlarida nutq signali fragmentlarga bo'linadi, har bir fragment belgilar vektoriga aylantiriladi, natijada kirish signali funksiya vektorlari to'plamining ketma-ketligi yoki parametrli tasvir bilan ifodalanadi. Noyob xususiyatli vektor sifatida kepsstr ko'effitsiyentlarning bir o'lchovli chastota vektori, shuningdek uning hosilalaridan tashkil topgan vektor ishlatiladi.

Kepsstr parametrlarni aniqlashning hisoblash algoritmi avvalgi bo'limlarda tasvirlangan ishlov berishning dastlabki bosqichlari natijalariga asoslangan: bo'laklarga bo'lish, Xemming oynasidan o'tkazish va DKO' algoritmi bilan spektrni olish. Mel-chastota kepsstr ko'effitsiyentlari (Mel-frequency cepstrum coefficients – MFCC) axborot xususiyatlari sifatida ishlatiladi. Ular ikkita asosiy filtrlash tushunchalariga asoslangan: kepsstr va mel-shkala. Kepsstr – bu signalning amplituda spektrining logarifmidan olingan DKO' natijasi [8, 9].

Joriy ishlov berishda, ya'ni nutq signalining fragmentlaridan birini qayta ishlashda, DKO' yoyilmasining $2^n = 256$ spektral ko'effitsiyentlari olinadi. «Mel - shkalasi» yordamida DKO' amplituda spektri chiziqli bo'lmagan (logarifmik) mel-shkalada joylashgan «uchburchak» chastota diapazonlari doirasidagi spektral

koeffitsiyentlarning amplitudalarini qo'shib silliqiladi (4.8-rasm)). Sodda shakl uchun ularning soni 12 ga teng.



4.8-rasm. 12 diapazonli mel-chastotali filtrlarning tarog'i

Yuqorida mel-shkalada olingan spektrni parchalash uchun filtrlarning "tarqchasini" hosil qilish kerak, bu yerda har bir mel-filtr uchburchak oynaning funksiyasi bo'lib, u ma'lum bir chastota diapazonidagi energiya miqdorini yig'ishga va shu bilan Mel-koeffitsiyentini olishga imkon beradi. Mel-koeffitsiyentlarning qiymatlari tahlil qilingan chastota diapazoniga ega bo'lgan holda, bunday filtrlar to'plamini qurish mumkin. Mel-koeffitsiyentining tartib raqami qancha ko'p bo'lsa, filtr poydevori shunchalik keng bo'ladi.

Xomaki namunasi uchun diskretlash chastotasi 16 kGs bo'lgan 24 chastota diapazoni olinadi. Birinchi amplituda koeffitsiyenti - spektrning doimiy komponenti e'tiborga olinmaydi, qolgan 255 spektral koeffitsiyent amplitudasi 24 uchburchak filtrlar orqali o'rtacha hisoblanadi. Ushbu diapazonlarning chastotalari 4.1-jadvalda keltirilgan.

O'rtacha vazn ma'lum bir filtr uchun quyi va yuqori chastotalar orasidagi chastotalarga mos keladigan amplituda spektral koeffitsiyentlar uchun topiladi. Agar amplituda polosasi markaziy chastotasiga to'liq mos keladigan bo'lsa, unda 1-koeffitsiyentiga ko'paytiriladi.

Amplituda qiymatiga mos keladigan chastotani o'rtadan quyi yoki yuqori chegaraga o'tkazishda koeffitsiyent 1 dan nolga kamayadi. Amplitudalarning

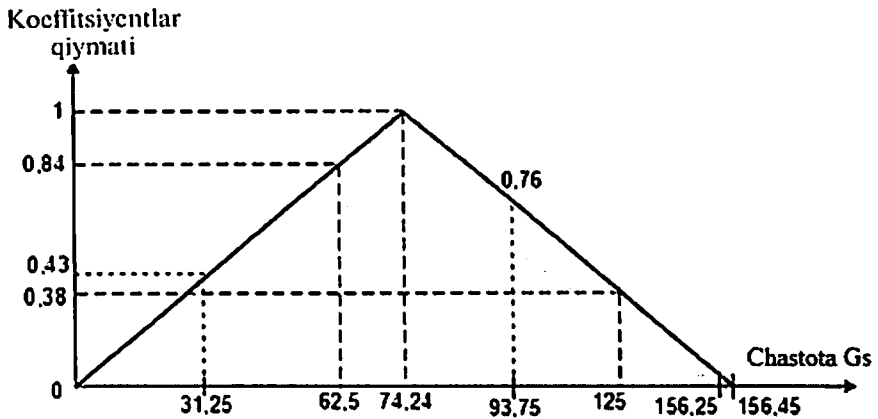
koeffitsiyentlar bo'yicha hosilalari yig'ilib, amplituda qiymatlari soniga bo'linadi. Bu ma'lum bir chastota diapazoni uchun o'rtacha og'irlik.

4.1-jadval

Diapazon	Quy chastota (Gs)	O'rt chastota (Gs)	Yuqor chastota (Gt)
1	0,0000	74,24	156,4
2	74,24	156,4	247,2
3	156,4	247,2	347,6
4	247,2	347,6	458,7
5	347,6	458,7	581,6
6	458,7	581,6	717,5
7	581,6	717,5	867,9
8	717,5	867,9	1034
9	867,9	1034	1218
10	1034	1218	1422
11	1218	1422	1647
12	1422	1647	1895
13	1647	1895	2171
14	1895	2171	2475
15	2171	2475	2812
16	2475	2812	3184
17	2812	3184	3596
18	3184	3596	4052
19	3596	4052	4556
20	4052	4556	5113
21	4556	5113	5730
22	5113	5730	6412
23	5730	6412	7166
24	6412	7166	8000

Algoritmi amalga oshirishga misol. 4.1-jadvalga muvofiq signal spektrining 256 amplitudasi 0 dan 8000 Gs gacha bo'lgan chastotalarga to'g'ri keladi, harakatlanish bosqichi esa $8000/256 = 31,25$ Gs. Birinchi amplituda (4.9-rasm) 0 Gs

chastotasiga, ikkinchisi 31,25 Gs, uchinchisi 62,5 Gs, to'rtinchi amplituda 93,75 Gs, beshinchisi 125 Gs va oltinchi amplituda 156,25 Gs. Mel shkalasidagi filtr chastotalari: 0 Gs, 74,24 Gs, 156,45 Gs.



4.9-rasm. Uchburchakli filtrlarning birinchi diapozoni

Birinchi diapozon ko'paytma uchun 6 ta ko'paytirish koeffitsiyenti va mos keladigan oltita filtr koeffitsiyentini olish uchun (4.1-jadval), uchburchak oynasi funksiyasining gipotenuzalari nisbatlariga mos keladigan uchburchak katetlarining nisbatlarini hisoblash kerak:

1. 0;
2. $31,25/74,24 = 0,43$;
3. $62,5/74,24 = 0,84$;
4. $(156,4 - 93,75)/(156,4 - 74,24) = 62,65/82,16 = 0,76$;
5. $(156,4 - 125)/(156,4 - 74,24) = 0,38$;
6. 0.

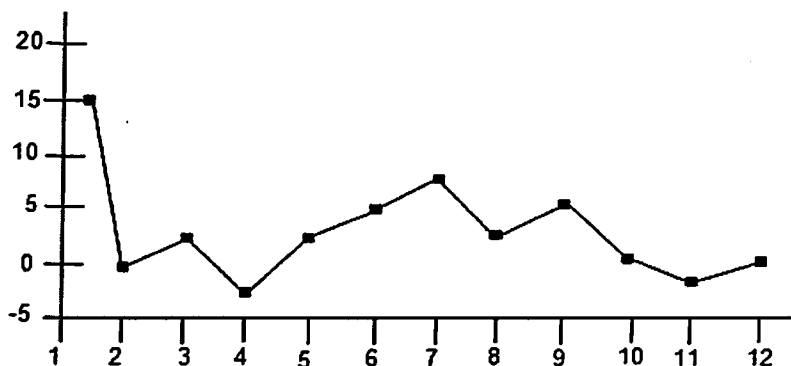
Hisoblashning keyingi bosqichida DKO' yoyilmasining spektral koeffitsiyentining har bir qiymati (birinchi uchburchakning chastota diapozoni 0 - 156,45 Gs ichida) yuqorida olingan uchburchakning tegishli koeffitsiyentiga ko'paytiriladi. Filtrlar DKO' modullarining kvadratlariga qo'llaniladi. Ushbu

koeffitsiyentlar bo'yicha spektr amplitudalarning hosilalari yig'ilib, 6 ga bo'linadi. Keyingi bosqichda olingan hosilalar logarifmlanadi.

MFCC koeffitsiyentlarini hisoblashning yakuniy bosqichi 4.1-jadvalning har bir bosqichida DKO'ni bajarishdir.

Bunday hisoblashlar natijasida 4.1-jadvalning barcha 24 bosqichida 24 elementli spektral (akustik) vektor hosil qilinadi. Va nihoyat, akustik vektorlar bitta til namunasi ichida normallashtiriladi. Buning uchun barcha vektorlarning qiymatlari maksimal uzunlik vektorining teskarisiga ko'paytiriladi.

Akustik vektorlar soni odatda 12 yoki 24 ga teng olinadi.



4.10-rasm. Kepstr koeffitsiyentlarining ketma-ketligi

Amalga oshirilgan matematik o'zgartirishlar natijasida tanib olishda nutq signalining minglab qiymatlarini muvaffaqiyatli almashtiradigan kichik qiymatlar to'plami (vektor) olingan (4.10-rasm). Ushbu akslantirish spektrogramma yoki nutq signalining vaqt sohasida ifodalangan shaklidan ancha kichikdir.

4.6. Signallarga funksiyali ishlov berishning umumiy algoritmlari

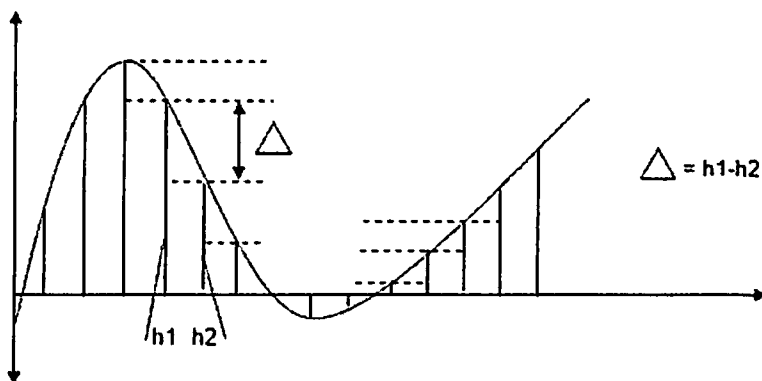
Funksional ishlov berishning asosiy algoritmlari [4, 5, 9]:

- vaqt va chastota sohalarida filtrlash algoritmlari;
- tasodifiy shovqinlar fonida foydali signallarni aniqlash algoritmlari;
- signal va tasvirlarni siqish algoritmlari.
- signallarni analitik qayta ishlash.

Vaqt sohasidagi filtrlash algoritmlari chekli va cheksiz impuls xususiyatli raqamli filtrlarga asoslangan bo'lib, ularning sxemalari va ishlashi oldinroq ko'rib chiqilgan edi. Ushbu algoritmlar uchun dastlabki ma'lumotlar vaqt sohasidagi signalning joriy qiymatlari hisoblanadi. Filtrlash uchun signalning foydali tarkibiy qismini aniqlaydigan signal chastotalari muhim bo'lib, qolgan chastotalar va signalning tegishli qiymatlari birdan kichik koeffitsiyentga ko'paytiriladi yoki yo'q qilinadi.

Chastota sohasidagi filtrlash algoritmlari signalni oldindan spektrga o'zgartirish, AChX ni qurish, o'tkazish diapozoni va spektr kengligini aniqlashni o'z ichiga oladi. Filtrlash chekli filtr o'tkazish diapozoni doirasidan tashqariga chiqadigan spektral koeffitsiyentlarni kamaytirish yoki yo'q qilish orqali amalga oshiriladi. Signal tarkibidagi xalaqitlar tasodifiy yoki doimiy xususiyatli bo'lishi mumkin. Tasodifiy xalaqitlar bir martalik bo'lishi mumkin. Ular odatda asosiy signalga chastota bo'yicha to'g'ri kelmaydi. Doimiy xalaqitlar signalning butun uzunligi bo'ylab mavjud va chastotasi signalga to'g'ri kelishi mumkin. Doimiy xalaqitlardan xalos bo'lish va foydali signallarni ajratib olish korrelyatsion tahlil yordamida amalga oshiriladi. Bunday tahlil yordamida qayta ishlashga radar tizimlari, geofizik tadqiqotlar, nutqqa raqamli ishlov berish misol bo'ladi.

Vaqt sohasida signalni siqish algoritmlari differensial impuls-kodli modulyatsiyasi yordamida amalga oshiriladi (4.11-rasm).



4.11-rasm. Differensial impuls-kodli modulyatsiya

Bunday holda, analog-raqamli o'zgartirish jarayonida ikkita qo'shni qiymatlar orasidagi farq hisoblab chiqiladi va bu farq aloqa kanaliga yoki xotiraga uzatiladi. Ushbu farqni ifodalaydigan kam miqdordagi raqamlar siqish effektini beradi. Ba'zan siqish uchun signal detsimatsiyasi ishlatiladi.

Spektral sohadagi siqish algoritmi signallar spektri, uning AChX har doim vaqt sohasidagi signal qiymatlariga qaraganda pastroq o'lchovga ega bo'lganligi sababli ta'minlanadi. Bunday holda, siqish koeffitsiyentini yoki kam vaznli spektral koeffitsiyentlarni yo'q qilish orqali yoki kepstr qiymatlarini hisoblash uchun qo'shimcha algoritm yordamida amalga oshirish mumkin. Bu signalning ma'lumotli parametrlari (xususiyatlari) sonini ko'paytirish va kirish signal modeli bo'lgan tegishli fizik jarayonni tanib olish sifatini oshirishga imkon beradi.

Signalga analitik ishlov berish signalning boshlanish va oxirgi momentlarini, uning maydonini, energiyasi va quvvatini hisoblashni, hosila belgisidagi o'zgarish nuqtalarini, maksimalini hisoblashni o'z ichiga oladi. Maxsus datchiklar yordamida tezlik, chizikli masofalar, tezlanish, aylanishlar soni, rangni o'lchash, so'ngra esa ularni hisoblash mumkin. Keng tarqalgan ishlov berish usullari va algoritmlaridan biri bu analitik funksiyalar, algebraik polinomlar g'oyasida signallarni aks ettirishdir. Bunday vazifalar kompyuter grafikasi, loyihalash, geodeziya va kartografiyada keng qo'llaniladi. Signalni polinomning universal shakliga o'zgartirish vaqt sohasida ham (eng kichik kvadratlar usuli yordamida) va spektral sohada ham amalga oshirilishi mumkin.

Nazorat uchun savollar

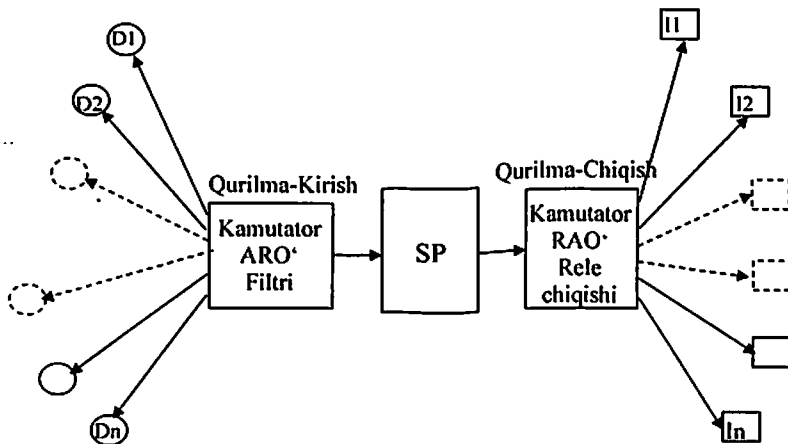
1. Signallarni diskret Fure o'zgartirishi jarayoni qanday amalga oshiriladi?
2. Teskor Fure o'zgartirishi jarayonini tushuntirib bering?
3. Signallarni diskret-kosinus o'zgartirish jarayoni qanday amalga oshiriladi?
4. Adamar o'zgartirishi qanday xususiyatlarga ega signallar uchun qo'llaniladi?
5. Hara bazis tizimi qanday bazis tizimlar guruhiga kiradi?
6. Veyvlet o'zgartirishiga ta'rif bering.
7. Signalning kepstral parametrlarini hisoblash nima maqsadda ishlatiladi?

V BOB. SIGNALLARNI QAYTA ISHLASH TIZIMLARINING ISHLASH REJIMLARI

5.1. Signallarni qayta ishlash tizimlarining apparat ta'minoti

Raqamli ishlov berish tizimlari odatda real vaqtda ishlaydi. Real vaqt tizimlari (RVT) - bu obyektlarni yoki jarayonlarni real vaqt rejimida kuzatib borish va boshqarish uchun kompyuter vositalari, ya'ni ma'lumotni (signallarni) obyekt yoki jarayondan olish darajasi bo'yicha yig'ish, qayta ishlash va berish jarayonidir [18, 19]. Obyekt texnik tizim (robot, mashina, samolyot, odam) bo'lishi, jarayon esa sanoat texnologiyasi, geofizik hodisa, biotibbiyot yoki fizik-kimyoviy jarayon bo'lishi mumkin. Obyekt ovoz yozish studiyasi yoki turli xil audio va video signallarni qayta ishlash uskunalari bo'lgan xonaning video kuzatuv tizimi bo'lishi ham mumkin.

RVT uchun SRIB apparat majmuasi (5.1-rasm):



5.1-rasm. Real vaqt tizimlarining tuzilishi

– axborotni o'lchash uskunalari – signal datchiklari (D), kirish kanallarining kommutatorlari, tasodifiy shovqinlarni silliqlash uchun analog filtrlar, o'lchash signallarining kuchaytirgichlari, ARO' va RAO' signallari, buferlash va formatga mos kelish vositalari;

– signalni qayta ishlash vositalari - signal protsessorlari (SP) chiplari yoki ixtisoslashtirilgan dasturlashtiriladigan mantiqiy integral mikrosxemalar shaklida tayyorlangan funksional signalni qayta ishlash protsessorlari;

– monitor va boshqaruv paneli ko‘rinishidagi tasvirlash va ro‘yxatga olish vositalari;

– obyektning ijro etuvchi aloqa kanali orqali axborotni boshqarish va yetkazish vositalari (agar zarurat bo‘lsa) (I).

Signallar – bu o‘lchangan dinamik jarayonning modellari bo‘lib, ular vaqt argumentiga ega funksiya sifatida ifodalanadi, chunki ular obyektning xatti-harakatidagi o‘zgarishlarning xususiyatini yoki jarayon parametrlarini o‘z vaqtida aniqlashga imkon beradi. Signallar bir o‘lchovli (yozib olingan), ikki o‘lchovli (tekis shakl) yoki uch o‘lchovli (fazoviy tasvirlar) bo‘lishi mumkin. Shunday qilib, SRIB – bu tashqi hodisalar oqimiga belgilangan vaqt ichida javob berishga qodir bo‘lgan apparat-dasturiy kompleks hisoblanadi.

5.2. Real vaqt rejimi

Tizimning kritik vaqtining reaksiya qiymati har xil bo‘lishi mumkin (hodisa xususiyatiga qarab), lekin tizimning o‘zi shakllantirilgan va oldindan bashoratlaniladi. Ovoz signallarini yoki nutqni qayta ishlash tizimlari uchun ishlab chiqilgan qayta ishlash tizimining sifatini belgilaydigan eng muhim omil bu bitta qiymatni hisoblash vaqti. Darhaqiqat, 0,1 soniyada bitta qiymat $u(n)$ hosil bo‘lsin. Unda, agar bu nutq signalining qiymati bo‘lsa, unda protsedura, matematik jihatdan to‘g‘ri, amaliy esa tezlik bo‘yicha deyarli mutlaqo foydasiz; agar bu havo harorati sezgichidan kelib chiqadigan juda sekin o‘zgaradigan signal qiymatlari bo‘lsa, foydalanuvchi tomonidan foydalaniladigan protsedura juda qoniqarli hisoblanadi. Shunday qilib, protseduraning aniqlovchi xususiyati uning amaliy hisoblanishi, ya‘ni $u(n)$ kirish signalining joriy qiymatini oniy vaqt ichida yoki ular aytganidek, real vaqtda ishlov berish qobiliyatidir, bu esa majburiy ravishda aniqlikka erishish [18, 19, 20, 21].

Real vaqt tizimlarida real vaqt operatsion tizimlari (RV OT) muhim rol o'ynaydi. RV OT-da asosiy vazifa - bu obyektga sodir bo'layotgan hodisalarga aks ta'sir tezligi va resurslardan foydalanish esa ikkinchi fonga o'tib qoladi.

RV OT-ning asosiy ajralib turadigan xususiyati - bu obyektga sodir bo'layotgan dinamik jarayonlarni boshqarishda obyektning apparat qismi bilan bog'lanishidir. Signal protsessori tomonidan boshqariladigan apparat-dasturiy majmua, obyektidagi voqealarni ro'yxatdan o'tkazadigan sensorlar bilan bir qatorda, kiritish/chiqarish modullarini o'z ichiga oladi, ularning yordamida signal protsessori tashqi hodisalarni qayta ishlash uchun operatsion tizimdan foydalanadi. Shuning uchun RV OT tuzilishi, yadro funksiyalari va kiritish/chiqarish tizimini qurishda umumiy maqsadli operatsion tizimlardan sezilarli farqlarga ega. Real vaqt tizimi asosiy xotirada bir vaqtning o'zida bir necha dasturlarni joylashtirish asosidagi ko'p dasturli ishlov berish rejimida ishlaydi. Bunda SP vaqti va resurslari tashqi qurilmalarning so'rovlariga binoan taqsimlanadi. Bunday holda, yadroning vazifalari ma'lumotlarni qabul qilish, algoritmlarni qayta ishlash, ishlov berishni to'xtatish va real vaqt rejimini ta'minlash dasturlarini rejalashtirish va sinxronizatsiya qilishdan iborat bo'ladi (5.2-rasm).



5.2-rasm. Real vaqt operatsion tizim tuzilishi

RV OT – bu o‘zining nostandart dastur modullarini rivojlantirish va dasturiy amalga oshirish vositalariga ega bo‘lgan ochiq tizimdir.

RV operatsion tizimining yana bir farqi - bu ishlanma tizimlari va ijro etuvchi tizimlarning aniq ajratilganligidadir. Ishlanma tizimi bu real vaqtda dasturlarni tuzish va otladka vositalarining to‘plamidir. Ijro etuvchi tizimi bu amaliy vazifalarning real vaqt rejimida ishlashini ta‘minlaydigan vositalar to‘plami (yadro, drayervlar, bajariladigan modullar).

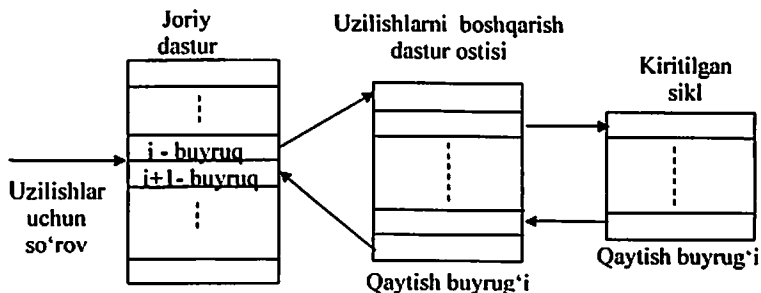
Real vaqt tizimlarining ikki xil turi mavjud: *"qattiq"* va *"yumshoq"* real vaqt tizimlari [22].

"Qattiq" real vaqt tizimlari ishlov berish dasturlarini bajarishda hech qanday kechikishlarga yo‘l qo‘ymaydi, chunki bu ishlash jarayonining buzilishiga (ishlamay qolish, rejimdan chiqish, jadvalning buzilishi) yoki hatto to‘xtab qolish va baxtsiz hodisaga olib kelishi mumkin. Parvozlarni boshqarish tizimlari (samolyotlar, raketa, sun‘iy yo‘ldosh) qattiq tizimlarga misol bo‘lishi mumkin.

"Yumshoq" real vaqt tizimlari uchun ishlov berish jarayonidagi kechikish juda muhim emas, ammo bu ishlamay qolishi va ishlashning pasayishiga olib kelishi mumkin. Kompyuter tarmog‘ini boshqarish yumshoq tizimga misol bo‘la oladi. Agar tizim keyingi qabul qilingan ma‘lumot paketini qayta ishlashga ulgurmagan bo‘lsa, bu ma‘lumotlar yo‘qotilishiga olib keladi, ammo tizim ma‘lumotlar uzatishning umumiy tezligini pasaytirish orqali takroriy jo‘natishni ta‘minlay oladi.

5.3. Joriy dasturning uzilish rejimi

SRIB ning real vaqt tizimlarida protsessorlardan foydalanganda, tez-tez ba‘zi bir manbadan kelgan signal bo‘yicha joriy dasturning bajarilishini to‘xtatish zarurati yuzaga keladi. Bunday vaziyatda (5.3-rasm) joriy dasturning bajarilishi to‘xtatiladi, uning uzilish paytidagi holati saqlab qo‘yiladi.



5.3-rasm. Joriy dasturni to'xtatish jarayonini amalga oshirish

Vujudga kelgan vaziyatni bartaraf etish uchun mo'ljallangan, oldindan yuklangan boshqa maxsus dasturning bajarilishi boshlanadi. Shundan so'ng, uzilishdan oldin saqlangan protsessor holati tiklanadi, ilgari to'xtatilgan dasturning bajarilishi davom etadi.

Ta'riflangan jarayon protsessorning uzilishi deb ataladi: uzilishga sabab bo'lgan signal uzilish so'rovi; bu signalning manbai uzilish manbai; uzilish sababini bartaraf etish bo'yicha harakatlar ketma-ketligi uzilish xizmati tomonidan amalga oshiriladi va uzilishda bajarilgan dastur uzilish xizmatining muntazamligi bilan amalga oshiriladi.

Uzilish manbalarining ikki turi mavjud [22]:

- apparat ta'minot;
- dasturiy ta'minot.

Tashqi va ichki periferik qurilmalar apparat ta'minot uzilishining manbalari hisoblanadi. Tashqi apparat ta'minot manbasidan uzilish so'rovi tegishli chiqish pinidagi faol signaldir. Tashqi uzilish manbalariga, shuningdek, barcha protsessorlarda mavjud bo'lgan RESET pinidagi signal orqali bajariladigan protsessorning dastlabki holatini tiklash (dastlabki holatga o'rnatish) kiradi.

Dasturiy ta'minotining uzilish manbalariga quyidagilar kiradi:

- protsessorning boshqariladigan dasturiy ta'minotining uzilishi uchun maxsus buyruqlar. Ushbu buyruqlar foydalanuvchi tomonidan dasturning bir yoki bir nechta

nuqtalarida beriladi va amaliy dasturlarning bajarilishining tegishli mavqeyini belgilashi mumkin;

– istisno vaziyatlarda protsessorning reaksiyasini namoyish etuvchi buyruq bajarilganda paydo bo‘ladigan boshqarilmaydigan dasturiy ta‘minot uzilishlari (to‘lib qolish, nolga bo‘lish, stek xatosi, yaroqsiz operatsiyalar); maxsus shartlar uchun uzilishlar avtomatik ravishda ham, dasturning maxsus shartlari mavjud bo‘lgan nuqtalarida foydalanuvchi tomonidan taqdim etilgan uzilish buyrug‘i bilan ham xizmat qilishi mumkin.

Dasturiy ta‘minot manбайдan uzilish so‘rovi to‘g‘ridan-to‘g‘ri uzilish buyrug‘i yoki protsessor holatining bitini yoki bitlarini o‘rnatishdir, bu maxsus holatning paydo bo‘lishini aniqlaydi va mos keladigan holatda avtomatik uzilishga olib keladi.

5.4. Ma‘lumotlarni kiritish / chiqarish rejimi

Signal protsessorlarida kiritish/chiqarish jarayonini tashkil qilishning uchta usuli qo‘llaniladi [19, 20, 21, 22]:

- dasturiy ta‘minot bilan boshqariladigan kiritish/chiqarish;
- uzilishlar bo‘yicha kiritish/chiqarish;
- xotiraga bevosita kirish.

Dasturiy ta‘minot bilan boshqariladigan kiritish-chiqarish bilan bog‘liq barcha harakatlar protsessor tashabbusi bilan va uning nazorati ostida sodir bo‘ladi. Kiritishni to‘g‘ridan-to‘g‘ri boshqarish dasturini bajarishda tashqi qurilmaning holati (tayyorligi) tekshiriladi, kiritish yoki chiqarish buyrug‘i beriladi, so‘ngra protsessor uning bajarilishini kutadi. Ayriboshlashni tashkil qilishning bu usuli vaqtni sezilarli darajada yo‘qotishiga olib keladi, chunki protsessor kiritish/chiqarish qurilmalariga (modullarga) qaraganda ancha tezroq ishlaydi.

Uzilishlar bo‘yicha kiritish/chiqarish asosan dasturiy ta‘minotga asoslangan usul bilan bir xil. Farqi shundaki, uzilishlar bo‘yicha kiritish/chiqarish buyrug‘i berilgandan so‘ng, protsessor modul holatini so‘ramaydi, lekin uzilishlar dasturi boshqa buyruqlarini bajarishda davom etadi. Bu protsessor moduldan so‘rov qabul qilguncha davom etadi, bu esa kiritish/chiqarish buyrug‘i tugaganligini bildiradi.

Kiritish/chiqarishning eng tezkor usuli bu xotiraga bevosita murojaat qilishidir. Ushbu usulni amalga oshirish uchun xotiraga bevosita kirish boshqaruvchisi ishlatiladi. Bu protsessor ishtirokisiz ma'lumotlar uzatishni tashkil qilish uchun mo'ljallangan, chunki shinani boshqarish va operativ xotira bilan tashqi qurilma o'rtasida ma'lumotlarni uzatish uchun protsessor funksiyalarini o'z zimmasiga oladi. Aslida, xotiraga bevosita kirish tekshiruvi to'g'ridan-to'g'ri xotiraga kirish rejimini amalga oshiradigan kiritish/chiqarish modulidir.

Nazorat uchun savollar

1. Real vaqt rejimi qanday masalalarda keng foydalaniladi?
2. Real vaqt tizimlarida real vaqt operatsion tizimlarining asosiy xususiyati nima?
3. Real vaqt tizimlarining necha xil turi mavjud?
5. "Qattiq" real vaqt tizimlariga ta'rif va misollar keltiring.
6. "Yumshoq" real vaqt tizimlariga ta'rif va misollar keltiring.
7. Tashqi qurilmadan uzilish rejimlarini tushuntirib bering.
8. Uzilish manbalarining qanday turlari mavjud?
9. Dasturiy ta'minotining uzilish manbalariga nimalar kiradi?
10. Apparat ta'minotining uzilish manbalariga nimalar kiradi?
11. Signal protsessorlarida kiritish/chiqarish jarayonini tashkil qilishning nechta usuli qo'llaniladi?

VI BOB. SIGNAL PROSESSORLARINING ARXITEKTURASI

6.1. Signal protsessorlari xotirasining tashkil etilishi

Xotirani tashkil etishning an'anaviy sxemalarida (masalan, serverlar yoki personal kompyuterlar uchun) barcha eslab qoluvchi qurilmalar protsessorli, ichki va tashqi bo'lishi mumkin. SP arxitekturasida xotira uchun muhim rol ajratilgan, chunki SPda nisbatan sekin ishlovchi tashqi qurilmalar yo'q. Signal protsessorlarning asosiy xotirasi protsessor kristali ichida yig'ilgan, shuning uchun tashqi xotira deganda tizimli platada joylashgan, chiplar ko'rinishidagi xotira nazarda tutiladi. Protsessor buyruqlarining cheklangan soni, yuqori tezlikda ishlov berish talablari, ko'p sonli bir tipdagi MAC (multiply-accumulate) – amallar SRIB tizimlarida xotiradan foydalanishning o'ziga xos xususiyatlarini belgilaydi [22].

SP xotirasining tashkil etilishini yaxshiroq tushunish uchun xotirani protsessorlarning garvard arxitekturasiga asoslangan joylashtirishi ikki darajasini ko'rib chiqishi mumkin. Protsessor kristalida buyruqlar xotirasi va ma'lumotlar xotirasi joylashtirilgan. Bu signal protsessorning ichki xotirasi. U nisbatan kichik sig'im va yuqori ta'sirga ega. Protsessor kristaliga nisbatan tashqi xotira ancha katta sig'im bo'ladi, biroq kichik ta'sirga ega. Kesh-xotira ichki xotira kategoriyasiga kiradi, lekin mustaqil funksiyalarni bajaradi.

Ichki xotira – bu tezkor xotira (RAM – Random Access Memory) va doimiy xotira DX – (ROM – Read Only Memory)lardan tashkil etiladi. Ular xotiraning manzillanadigan turiga kiradi, chunki yacheykalar massivi ko'rinishida bajarilgan va istalgan yacheykaga murojaat erkin ketma-ketlikda amalga oshirilishi kerak. Manzillanadigan yacheyka mustaqil modullar ko'rinishida tashkil etiladi, ularning har biri protsessor bilan ko'p razryadli ichki shinalar orqali bog'langan. Bunday qurilish ikkala operandni bir vaqtning o'zida o'qish va oldin qo'lga kiritilgan natijani yozish, ya'ni MAC – amalini amalga oshirish imkonini beradi. Ichki xotirada dasturlar, ma'lumotlar va turli konstantalar saqlanadi.

Xotirani ma'lumotlar xotirasi va dasturlar xotirasi, shuningdek turli bloklarga bo'lish haqidagi ilgari keltirilgan fikrlar protsessorlarning ichki xotirasiga tegishli.

Tashqi xotiraga murojaat uchun barcha protsessorlarda umumiy shinalar komplekti – manzil shinasini qo'llaniladi, ular orqali zarur bo'lganda buyruqlar va ma'lumotlar uzatiladi. Bu protsessorning tashqi chiqishlari sonini minimallashtirish va SP apparat qismini soddalashtirish talabidan kelib chiqqan. Tashqi xotira ham ichki xotira kabi TX va DX bloklariga ega bo'lishi mumkin.

Tashqi xotira protsessorga nisbatan yacheyka va alohida qismlari faqat manzillar bo'yicha farqlanadigan yagona xotira maydonidek ko'rib chiqiladi. Agar protsessorda umumiy xotirani ma'lumotlar xotirasi va buyruqlar xotirasiga, shuningdek ma'lumotlar xotirasini bloklarga (masalan, ma'lumotlar xotirasi X va ma'lumotlar xotirasi Y) bo'lish ko'zda tutilgan bo'lsa, tashqi xotiradagi ushbu bloklar faqat manzillar sohasi bilan farq qilishi mumkin. Ko'rsatilgan bloklar konfiguratsiyasi foydalanuvchi tomondan aniqlanadi va odatda u yoki bu boshqarish registrlariga yoziladi.

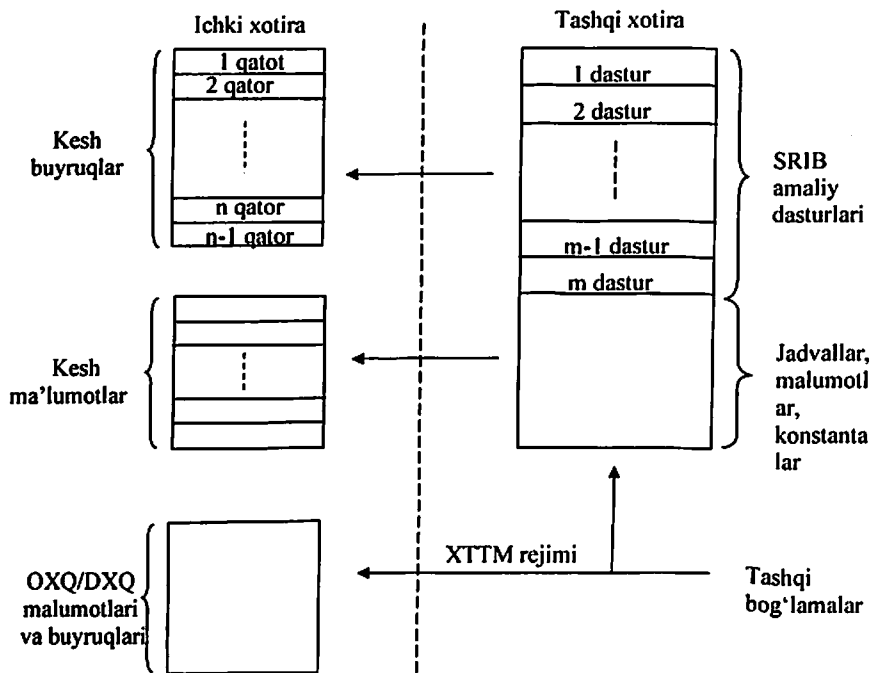
Bitta manzilli ma'lumot shinalar komplekti bo'lganda protsessor ishining bitta sikli davomida tashqi xotiraga faqat bitta murojaat bo'lishi mumkin. Agar bajarilayotgan dasturga binoan ko'proq murojaatlar talab qilinsa, buyruqlarni bajarish konveyri va navbatdagi buyruqni ishlash tutilib qolish konflekti ro'y beradi.

Joriy buyruqlarni bajarishda, (ayniqsa konveyr usulida ishlov berishda), MAC – amallarni bajarishda kesh-xotira qo'llaniladi. Bu buferli, manzillanmaydigan va programmist kira olmaydigan, tez ta'sir qiluvchi xotira. Kesh-xotira protsessor va tizim xotirasi o'rtasida bufer sifatida foydalaniladi. U ichki xotiradan o'qiladigan axborotni, eng avvalo kodlar buyruqlarini eslab qolish uchun qo'llaniladi.

O'qish uchun eng avvalo kesh-xotiraga murojaat bajariladi. Agar kerakli ma'lumotlar u yerda bo'lmasa, asosiy ichki yoki tashqi xotiraga murojaat amalga oshiriladi va qo'lga kiritilgan ma'lumotlar, shuningdek, kesh-xotiraga ham joylashtiriladi. Kesh-xotiradan foydalanishning foydasi shundaki, signallarni raqamli ishlash ko'pchilik amaliy dasturlari siklik xarakterga ega. Asosiy dasturga birinchi murojaatdan so'ng keshga (uning xajmi yetarlicha bo'lsa) dasturning barcha siklik takrorlanuvchi buyruqlari tushadi, ularni bajarish uchun asosiy xotiraga murojaat qilish shart emas. Kesh-xotiraning uncha katta bo'lmagan samarasiga "sekin" tashqi

xotira dasturini saqlash uchun foydalanganda erishiladi. Kesh ko'pincha assotsiativ tamoyil bo'yicha ishlaydi, bunda uning yacheykasida nafaqat ma'lumotlar so'zi, balki ushbu so'zni asosiy xotiraga joylashtirish manzili ham joylashtiriladi va shu manzil bo'yicha axborot izlanadi.

O'z navbatida kesh-xotira buyruqlar va ma'lumotlar kesh bloklariga bo'linadi. Signal protsessorlarning har xil turlari o'rtasida ma'lumotlar almashinuvining umumiy sxemasi 6.1-rasmda keltirilgan.



6.1-rasm. Xotira turlari o'rtasida dastur va ma'lumotlarni ko'chirish jarayoni.

SP ichki xotirasi kesh-buyruqlar, ma'lumotlar keshi va ma'lumotlar operativ xotira qurilmasining (OXQ) doimiy xotira qurilmasini (DXQ) o'z ichiga oladi. Tashqi xotira tarkibiga amaliy ishlov berish dasturlari, jadval ma'lumotlari, barcha mumkin konstantalar kiradi.

Kesh-xotira katta uzunlikka ega satrlardan tuzilgan, har bir satr operativ xotira so'zlari K uzunlikka ega, ya'ni kesh-xotiraning bitta satrida operativ xotiradan bitta

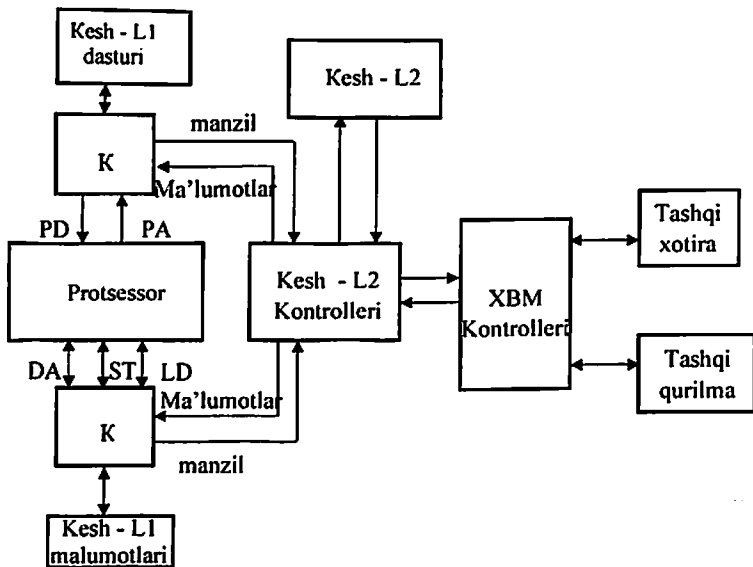
ma'lumotlar bloki joylashtiriladi. Operativ xotiraning hajmi keshdagi satrlar sonidan ancha katta bo'lganligi sababli operativ xotiraning ma'lumotlar bloki keshning bo'sh satrida joriy rejimda joylashtiriladi. Keshning ushbu satrida operativ xotiraning qaysi bloki joylashtirilganligi to'g'risidagi ma'lumot kesh-xotira satrining maxsus razryadida mavjud [22].

Buyruqlar va ma'lumotlar kesh-xotirasidan tashqari ichki xotirada ma'lumotlar operativ xotirasining TX va DX buyruqlar bloki joylashtiriladi. Texnologik jihatdan ichki operativ xotirani kesh- L2 ko'rinishida bajarish mumkin. Periferiya qurilmalaridan dastlabki ma'lumotlar ichki xotiraga to'g'ridan-to'g'ri kirish (XTK) rejimida yuklanadi.

Bajariladigan dasturlar va qo'shimcha ma'lumotlar tashqi xotiraga periferiya uzellardan oddiy kiritish rejimida kiritiladi.

SRIB algoritmlarini bajarishda tez hisoblashlarni tashkil etish bir necha xotira bloki shinalarning rivojlangan tizimli protsessor arxitekturasini talab qiladi. Asosiy ko'paytirish MAC – amalni bajarish uchun buyruqni va ikkita ko'paytuvchini tanlash uchun xotiraga uch marta murojaat qilish talab qilinadi. Ko'pchilik protsessorlarning arxitekturasi shunga yo'naltirilgan, biroq samarali hisoblashlarni tashkil etish uchun mustaqil xotira bloklarining turi va soni emas, balki xotiraga parallel kirishni tashkil etish imkoniyati muhim hisoblanadi.

Xotirani har xil turlarini tashkil etishni keng qo'llaniluvchi TMS signal protsessorlari misolida ko'rib chiqamiz. TI firmasining TMS320C30 dan boshlab umumiy manzilli xotira maydoniga ega. Ichki xotira bloklarini turli ma'lumotlar o'rtasida taqsimlanishi foydalanuvchi tomonidan bajariladi, ushbu bloklarga kirish esa bir necha bor shinalar bo'yicha amalga oshiriladi. S6000 oilasi protsessorlari (TMS 3206620x va TMS 320S640x) xotiraning murakkabroq tashkilotiga ega. Ular ajratilgan ichki dasturlar xotirasi va ma'lumotlar xotirasiga ega. Ichki dasturlar xotirasi oddiy manzillanadigan dasturlar xotirasi va dasturlar keshidek ishlashi mumkin (6.2-rasm).



6.2-rasm. TMS320C62xx protsessorida xotirani tashkil etish

Kesh o'z navbatida bir necha ish rejimiga ega. Oddiy rejim – bu protsessor va tashqi xotira o'rtasida dasturlar keshi. Bunda quyidagilar bajariladi: berilgan manzil bo'yicha o'qish keshdan amalga oshiriladi. Agar keshda kerakli axborot bo'lmasa, ma'lumotlarni o'qish, uni keshga yozish va protsessorga uzatish tashqi xotiradan amalga oshiriladi. Xuddi shu buyruqlarga qayta murojaat qilinganda o'qish to'g'ridan-to'g'ri keshdan amalga oshiriladi.

Ichki xotira ikki darajali keshga ega. Keshning L1 birinchi darajasi dasturlar va ma'lumotlar uchun alohida qismlardan tashkil topadi. Ko'rsatilgan kesh ikkita kontroller (K) bilan (dasturlar keshi va ma'lumotlar keshi uchun) boshqariladi. Protsessor dasturlar keshi bilan PD (program data) va PA (program adress) shinalari orqali bog'langan. Protsessorning ma'lumotlar keshi bilan aloqasi DA (data adress), ST (store data) va LD (load data) shinalar komplekti orqali amalga oshiriladi. Ma'lumotlar va dasturlar uchun umumiy bo'lgan ikkinchi darajali L2 keshi o'z kontrolleri bilan boshqariladi. U protsessorning tashqi xotirasi bilan kengaytirilgan XBM kontrolleri va tashqi xotira interfeysi orqali bog'lanadi. XBM kontrolleri L2

keshiga ma'lumotlarni turli periferiya qurilmalari, jumladan, kiritish/chiqarish ketma-ket portlari orqali yuklash imkonini beradi.

6.2. Signal protsessorlarida qo'llaniladigan manzillash usullari

Istalgan kompyuterning buyruqlar tizimi arxitekturasi, jumladan, signal protsessorlarda operandlarni manzillashning turli usullari ko'zda tutilgan. Eng avval "ijrochi manzil" va "manzilli kod" tushunchalarini aniqlash kerak.

Operandning ijrochi manzili deb, xotira yacheykasi nomerining operand manbai va qabul qilgichi sifatida xizmat qiluvchi ikkilamchi kodi ataladi. Ushbu kod xotiraning manzilli kirishlariga uzatiladi, u orqali ko'rsatilgan yacheykaga murojaat amalga oshiriladi. Agar operand asosiy xotirada emas, signal protsessor registrida saqlansa, ushbu registr nomeri uning ijrochi manzili bo'ladi.

Buyruqning manzilli kodi – buyruqning manzilli maydonidagi ikkilamchi kod bo'lib, undan operandning ijrochi manzilini shakllantirish kerak.

Zamonaviy kompyuterlarda ijrochi manzil va manzilli kod, qoida bo'yicha mos kelmaydi va ma'lumotlarga kirish uchun tegishli o'zgartirish talab qilinadi. Manzillash usuli – bu operandning ijrochi manzilining buyruq manzilli kodi bo'yicha shakllantirish usulidir. Manzillash usuli axborotni ishlash jarayoni parametrlariga katta ta'sir ko'rsatadi [22].

Buyruqda manzillar bilan bir qatorda bajarilishi kerak bo'lgan amal turi ham ko'rsatiladi. Shunday qilib, buyruq umumiy holatda:

- bajarilishi kerak bo'lgan amalni;
- amal bajarilishi kerak bo'lgan dastlabki ma'lumotlar manzillari;
- amal natijasi joylashtirilishi kerak bo'lgan amalni ko'rsatishi kerak.

Shunga binoan buyruq operatsion qismdan va manzilli qismdan tuzilgan (6.3-rasm). Buyruq formati uning strukturasi, buyruqning alohida maydonlari soni va joylashishini belgilaydi.

Shunday qilib, manzillash – bu operandga murojaat bo'lib, buyruqda unga ko'rsatma bor. Operandlar, saqlanish joyiga ko'ra, turli usullar bilan ko'rsatilishi mumkin. Saqlanish joyiga ko'ra operandlar:

– ma'lumotlar xotirasi yacheykalari manzillari bilan (yacheyka nomeri manzil deyiladi);

– agar operandlar registrlarda saqlansa, registrlar nomi bilan;

– agar operand buyruqning o'zida bo'lsa, konstantalar bilan ko'rsatilishi mumkin.

Saqlanish joyi operandni ko'rsatish mumkin bo'lgan usullarini belgilaydi. Ma'lumotlar xotirasi yacheykalari manzillari uchun to'g'ri yoki bevosita manzillash qo'llaniladi, registrlar nomi uchun to'g'ri manzillash, konstantalar uchun – bilvosita manzillash qo'llaniladi.

To'g'ri manzillash.

Operand manzillanishi to'g'ri deb ataladi (6.3 a-rasm), qachonki buyruqda:

– ijrochi manzil;

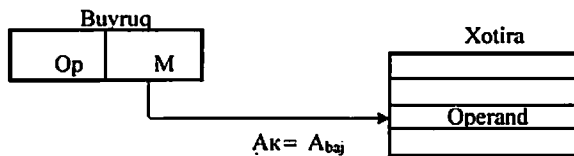
– ijrochi manzil avtomatik ravishda hisoblanadigan ma'lumotlar xotirasi sahifasida operand manzili;

– manba yoki priyomnik nomi bevosita ko'rsatilsa.

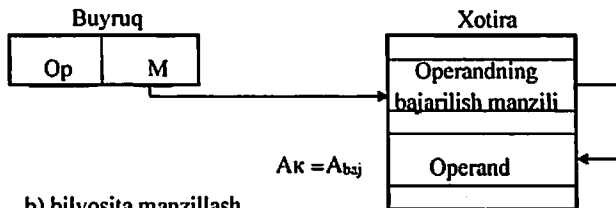
Operandlar to'g'ri manzillanishi har bir turi xususiyatlarini ko'rib chiqamiz. Manzillari to'g'ri ko'rsatilganda operandlar ma'lumotlar xotirasi sahifasida ijrochi manzillar bilan ko'rsatilishi mumkin (agar protsessor ushbu manzillash tipini qo'llab-quvvatlasa).

Agar protsessor ma'lumotlar xotirasini sahifalarga shartli bo'linish bo'lmasa, ijrochi manzil to'liq ko'rsatiladi. Buyruqning ikki so'zli formatida qisqa ijrochi manzillar buyruq so'zida, uzunlari – kengaytirish so'zida (buyruqning qo'shimcha maydoni) saqlanadi.

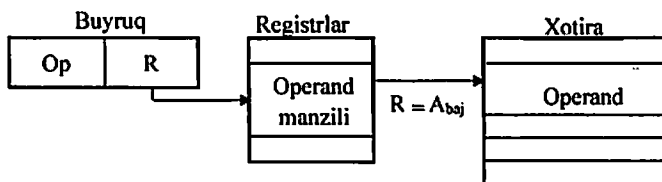
Operand manzilini xotira sahifasida ma'lumot xotirasi shartli ravishda sahifalarga bo'lingan protsessorlarda qo'llaniladi. Bunda ijrochi manzil sahifani hisobga olib avtomatik tarzda hisoblanadi. Sahifa tartib raqami dastur tomondan beriladi va protsessor holati registrida hisoblangan sahifa ko'rsatgichida saqlanadi.



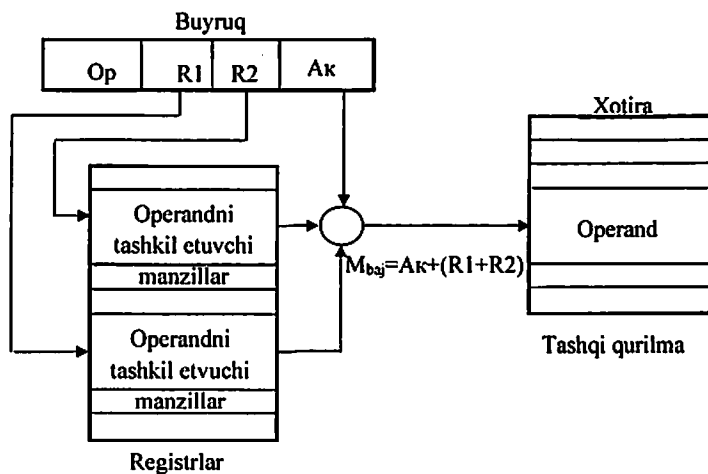
a) To'g'ridan-to'g'ri manzillash



b) bilvosita manzillash



v) bilvosita registrlarni manzillash



g) Siljitish bilan manzillash

6.3-rasm. Turli manzillashda protsessor bog'lamalarining o'zaro aloqa sxemalari

Agar operand umumiy qo'llanishdagi registrda saqlansa, buyruqda u registr – manba yoki priyomnik nomeri bilan to'g'ri ko'rsatiladi. To'g'ri manzillashning bunday turli-tumanligi dastlabki ma'lumotlar yoki natijalarni saqlash uchun maxsus operandlar registriga ega protsessorlar tomonidan qo'llanadi.

O'tishlarining to'g'ri manzillanishi o'tish manzilini to'g'ri ko'rsatishni anglatadi, u buyruqlar hisoblagichiga nusxalanadi, ularning bajarilishi ketma-ketligini o'zgartiradi. O'tish manzilini saqlash buyruq formati uzunligiga bog'liq, ikki so'zli formatda qisqa manzillar buyruq so'zida, uzunlari kengayish so'zida saqlanadi.

Bilvosita manzillash.

To'g'ri manzillashga xos bo'lgan muammolarni yengish yo'llaridan biri buyruqning cheklangan manzilli maydoni yordamida yacheyka manzili ko'rsatiladigan usuldan foydalanishdir. Yacheyka esa, o'z navbatida, operandning to'liq manziliga ega (6.3,b-rasm).

Agar ijrochi manzil o'zi saqlanadigan registr nomi bilan ko'rsatilsa, operand manzillanishi egri deyiladi. (Tegishli registr manzil registri deyiladi). Bunda operandning ijrochi manzili asosiy xotiraning yacheykasida emas, protsessor registrlaridan birida saqlanadi (6.3,v-rasm). Bilvosita manzillashda kengaytirish so'zi, qoidaga ko'ra, qo'llanilmaydi. Manzillash barcha signal amallar tomonidan qo'llaniladi.

Ma'lumotlar va manzillar ustida amallarni mustaqil bajarish uchun ko'pchilik signal protsessorlar uchun manzil ineratsiyasi qurilmasi nazarda tutilgan. Motorola firmasi protsessorlarida bu AGU manzil ineratsiyasi qurilmasi (Address Generation Unit), Analog Devices firmasi protsessorlarida DAG1 (Data Address Generator) m'lumotlar manzili generatori va Texas Instruments firmasining TMS320C2x protsessorlarida yordamchi registrning ARAU (Auxiliary Register Arithmetic Unit) arifmetik qurilmalari, TMS320C6xxx protsessorlarida – ma'lumotlar manzili generatsiyasining D-moduli. Manzillarining shakllanishi uch turli registrnlarni talab qiladi, ularning shartli nomlari:

- manzil registri;
- surish registri;

– arifmetika turi registrining funksiyalariga mos keladi.

Manzil registrlarining mavjudlik varianti 6.3,v-rasmda keltirilgan. Egri manzil xotirada emas registrda saqlanishi tufayli operandga xotiraga kirish uchun bitta kam murojaat talab qilinadi. Taniqli firmalarning ko'pchilik SPLarida manzilning 16-razryadli registridan foydalaniladi, bu xotira yacheykalarini 64 Kbayt chegarada manzillash imkonini ta'minlaydi.

Surishli manzillashda ijrochi manzil buyruq manzilli maydoni tarkibini protsessorning bir yoki bir necha registrari tarkibi bilan yig'ish natijasida shakllanadi (6.3,g-rasm). Ayrim protsessorlarda surish uchun maxsus registrarlar (surish registrarlari, asosiy yoki indeksli registrarlar) nazarda tutilgan. Unda buyruqning manzilli qismi faqat Ak maydonga ega. Agar umum foydalanuvchiga erkin registr qo'llanilsa, operand manzili tarkibiy qismi sifatida muayyan registrni ko'rsatish uchun buyruq maydoniga qo'shimcha R maydon qo'shiladi. Umumiy hollarda surishli manzillash ikkita manzilli maydon: Ak va R ni nazarda tutadi. Ko'rsatilgan manzillarni yig'ish natijasida ijrochi manzil olinadi va u bo'yicha operandning o'zi topiladi.

Bilvosita manzillashning yana bir turi – bu indeksli manzillash. Ushbu variantda Ak buyruq maydoni xotira yacheykasi manziliga, arifmetika registrarlari esa ushbu manzilga nisbatan surishga ega. Indeksli manzillash interfaol hisoblashlarni tashkil qilish uchun qulay mexanizmni taqdim etadi. Ko'pchilik SRIB algoritmlari ma'lumotlar massiviga ishlov berish bilan bog'liq. Bittaga yoki boshqa konstantaga surishli indeksli manzillash ma'lumotlar xotirasidagi qo'shni massiv elementlariga dasturiy murojaatni oddiy tashkil etishni ta'minlaydi.

Indeksli registr tarkibining ijrochi manzili shakllangandan keyingi avtomatik kattalashishi postinkrementli indekslanish deyiladi. Agar avval indeksli registr tarkibining kattalashuvi amalga oshirilib, keyin yangi qiymatdan ijrochi manzilning shakllanishida foydalanilsa, unda preinkrement indekslanish realizatsiya qilinadi. I da bevosita manzillash postdekrement/postinkrement manzillar I da indeksli buyruqning asosiy amalidan so'ng registr tarkibining avtomatik ravishda kichiklashuvi/kattalashuvini anglatadi va ushbu buyruqda ijrochi manzil o'zgar olmaydi. I da bevosita manzillashda predekrement/preinkrement manzillar I da

buyruqni bajarishdan oldin manzil registri tarkibining avtomatik ravishda kichiklashuvi/kattalashuvini anglatadi va buyruqni bajarishdan oldin yangi ijro etiladigan manzil hisoblab chiqiladi.

Siklik manzillash. Ko'plab SRIB algoritmlari, xususan, turli tenglamalar, svyortkalami hisoblash qo'zg'almas uzunlikdagi ma'lumotlar blokini siklik ishlashni bildiradi. Bunday ma'lumotlarni saqlash uchun xotirada berilgan hajm sohasi ajratiladi va bu bufer deb ataladi. Ma'lumotlar buferga tashqaridan kelishi yoki siklda hisoblanishi mumkin. Ma'lumotlarni buferga ketma-ket yozishni buferdan o'qilishini tashkil etish siklik buferni anglatadi.

Bufer yacheykalariga murojaat qilinganda ijro etiladigan manzillar moduli arifmetika qoidalariga binoan hisoblab chiqiladi, bu esa buferning oxiriga yetganligini va uning boshiga qaytganligini tekshirish amalini avtomatik bajarish imkonini beradi va bu bilan bufer ichida buferlar sirkulyatsiyasini ta'minlaydi.

Agar ijro etilayotgan manzil modulli arifmetika qoidalariga binoan hisoblanayotgan bo'lsa, operand manzillanishi siklik manzillash deb ataladi.

Bevosita manzillash. Bevosita manzillashda buyruqning manzilli maydonida Ak manzili o'rniga operandning o'zi bo'ladi. Ushbu usul arifmetik amallar, qiyoslash amallari, konstantalarni registrga yuklash bajarilayotganda qo'llanilishi mumkin. Signal protsessorlarida bevosita manzillash faqat dastlabki ma'lumotlarni ko'rsatishda qo'llaniladi.

Nazorat uchun savollar

1. Signal protsessorlar xotirasining tashkil etilishi haqida aytib bering.
2. Ichki xotira qanday xotiradan tashkil topadi?
3. Kesh o'z navbatida necha xil va qanday ish rejimiga ega?
4. Signal protsessorlarida qo'llaniladigan manzillash usullari sanab bering.

VII BOB. SIGNALLARNI QAYTA ISHLASH ALGORITMLARINING APPARATLI AMALGA OSHIRISH

7.1. Unumdorlikni oshiruvchi funksiyali tugunlar

Raqamli signal protsessorlarida unumdorlikni oshirishning barcha ma'lum usullari – buyruqlar va ma'lumotlar shinalarining bo'linishi, buyruqlarning konveyrli bajarilishi, dasturiy funksiyalarning apparat realizatsiyasi, funksional tugunlarning bir-birini takrorlashi va ularning parallel ijro etilishi, o'rnatilgan kesh-xotira, raqamli ishlov berishga yo'naltirilgan maxsus buyruqlarni kiritish keng qo'llanilmoqda. Bundan tashqari, SP kiritish/chiqarish qurilmalarining turli-tumanligi, xotiraga to'g'ridan-to'g'ri kirish kanallarining mavjudligi, analog raqam o'zgartirgich (ARO') va raqam analog o'zgartirgich (RAO'), turli-tuman qo'shimcha modullar bilan ajralib turadilar. SPning ushbu arxitekturaviy jihatlari yuqorida ko'rib chiqildi, ushbu bo'limda ayrim amallarning oddiy protsessorlarda dasturiy usul bilan bajariladigan apparat realizatsiyasi masalasi ko'rib chiqiladi. Bitta taktida ikkita operandning o'zaro ko'paytirish amalini bajaruvchi apparat ko'paytirgich shunday maxsus tugun hisoblanadi [17, 18, 19].

Funksional jihatdan ko'paytirgichlar ikki turga bo'linadi:

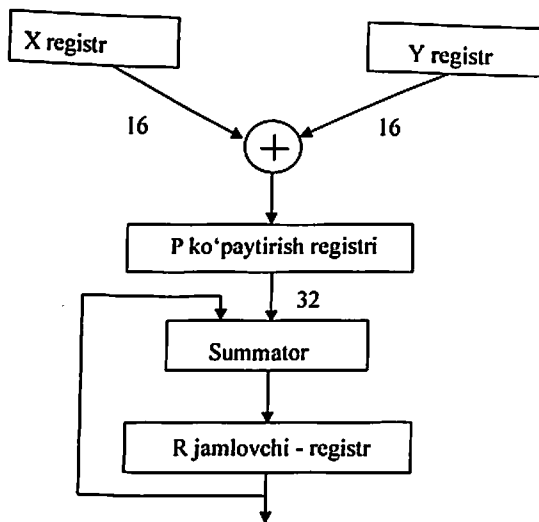
– oddiy ko'paytirgichlar, ular bitta so'z kengligiga ega ma'lumotlarni ko'paytirish amalini bajaradi va natijani ikkilamchi uzunlik registrida yoki ikkita oddiy registrlarda saqlaydi;

– ko'paytirib-qo'shuvchi, u yuqorida ko'rib chiqilgan to'planishli ko'paytirish MAC-amalini bajaradi (MAC-Multiplier Address Combination).

Ko'paytirib-qo'shuvchining tipik konfiguratsiyasi 7.1-rasmda ko'rsatilgan.

Bunday konfiguratsiyada ko'paytirgich ikkita kirish registri (X va U)ga (ular ko'paytirish tuguni kirishiga ulangan) va ko'paytirish natijasi ($N=16$ protsessorning so'z uzunligi)ni saqlash uchun $2N$ -bitli ko'paytma registri (R)ga ega. Ko'paytma registri chiqishi ushbu amalni bajarishning oraliq va oxirgi natijalarini shakllantirish uchun to'plovchi bilan tutashadi. Ma'lumotlar ko'paytirgich chiqishiga operativ xotiradan, keshdan yoki ichki registrlardan kelishi mumkin. An'anaviy

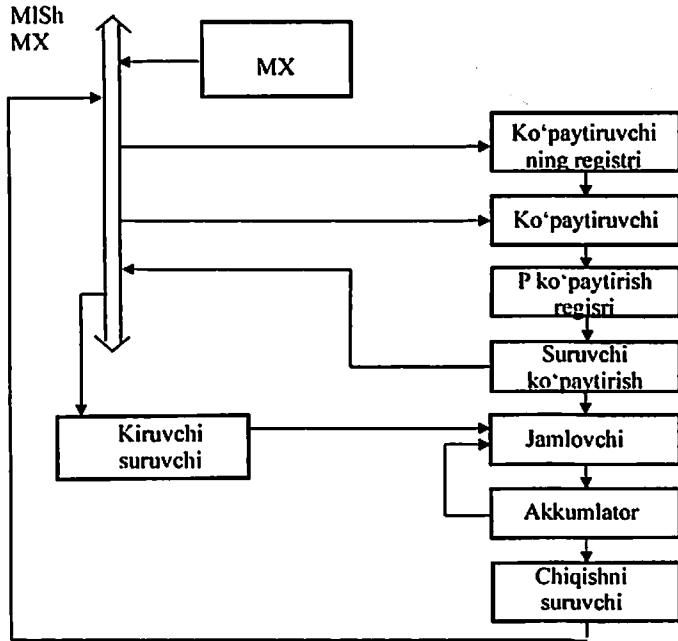
mikroprotsessorlardan farqli ravishda ko'paytirish dasturiy emas, balki protsessorning bir takti davomida (odatda 25 ns) apparat usul bilan bajariladi. Olingan ko'paytma R registrga tushadi. Summatorning vazifasi R registr miqdori va ilgari to'plangan yig'indini to'plashdan iborat. Natijada amalni bajarish ushbu bosqichining hosil bo'lgan umumiy yig'indisi registr-to'plagichda shakllanadi.



7.1-rasm. Ko'paytirib-qo'shuvchi strukturasi.

Ko'paytirib-qo'shuvchidan tashqari SP o'z tarkibida siljishning apparat qurilmalariga ega. Operandlarni ikkilamchi razryadlarning berilgan soniga chapga yoki o'ngga siljishi AMQ (Arifmetik-mantiqiy qurilmalar) da amalga oshirish mumkin, biroq buning uchun alohida buyruq kerak. SPning apparat siljituvchilari operandlarni uzatish va yuklashda siljitishni maxsus buyruqlarsiz amalga oshirish imkonini beradi. Ma'lumki, katta razryadlar tarafiga ikkilamchi sonni siljitish har bir taktida uning ikkilanishini beradi. Kichik razryadlar tomonga sonning siljishi esa har bir taktida 2ga bo'linishni beradi. Shunday qilib, operandlarni 2ga karrali songa ko'paytirish yoki bo'lish apparatli yo'l bilan siljuvchi registrlar yordamida ta'minlanishi mumkin.

Motorola, TI va ayrim boshqa protsessorlarda siljishning operandlarni uzatish zanjirlarida protsessorning turli tugunlari orasida joylashgan, apparat realizatsiyalangan modullari bor. Ular operandlarni uzatish va yuklashda siljishni qo'shimcha buyruqlardan foydalanmasdan amalga oshirish imkonini beradi. 7.2-rasmda protsessorning xotira va tugunlar o'rtasida ma'lumotlarni uzatish zanjiri ko'rsatilgan qismining funksional sxemasi keltirilgan (misol sifatida TMS oilasi ayrim modellarining protsessori olingan).



7.2-rasm. TMS protsessorlarida ma'lumotlarni uzatish zanjiri sxemasi

Ushbu protsessorlarda ma'lumotlar xotirasidan ma'lumotlar shinasi orqali summatorga yuklashda operand "Kiruvchi siljituvchi" orqali o'tadi. Amalning natijasi akkumlyatordan ma'lumotlar xotirasiga (MX) "Chiquvchi siljituvchi" orqali, R ko'paytma registridan ko'paytma summatorga yoki MXga – "Ko'paytma siljituvchi" orqali uzatiladi.

Bajariladigan vazifasiga ko'ra siljitivchilar quyidagilarga bo'linadi:

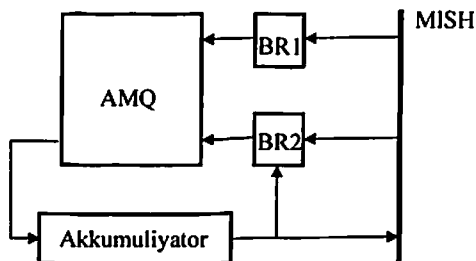
– siljishni amaldan oldin yoki uning bajarilish paytida amalga oshiruvchi oldindagi suruvchilar;

– siljishni amaldan keyin bajaruvchi keyingi suruvchilar.

Keyingi suruvchilarning vazifasi o'zgaruvchilarni oldindan masshtablash, shuningdek, buyruqlarni bajarish vaqtida arifmetik, mantiqiy va siklik siljishlarni amalga oshirishdan iborat.

Keyingi suruvchilarning vazifasi xotirada saqlashda natijalarni masshtablashtirish, belgini kengaytirish bitlarini o'chirish, bir xil tartiblarni normallashtirish, ajratishdan iborat.

Akkumulyator. Akkumulyator – AMQ (Arifmetik-mantiqiy qurilmalar) da bajariluvchi amallarning oraliq natijalarini vaqtincha saqlash uchun mo'ljallangan registr. Universal mikroprotsessorlar tuzilmasida akkumulyator AMQ tarkibiga kiradi va ko'pincha alohida ko'rsatilmaydi (7.3-rasm).



7.3-rasm. Universal mikroprotsessorlarda akkumulyatorning funksiyasi

Bunda uning vazifasi oraliq natijalarni nafaqat vaqtincha saqlash, balki inversiya, siljitishning eng oddiy amallarini bajarish hamdir. Akkumulyator nafaqat AMQ, balki ma'lumotlar shinasini (MSH) bilan ham bog'liq. Ishlashning oraliq natijasi AMQ ga BR2 bufer registrilaridan biri orqali siklning navbatdagi bosqichlari uchun uzatiladi, SHD ga ishlov berishning so'nggi natijalari xotiraga yozish uchun uzatiladi.

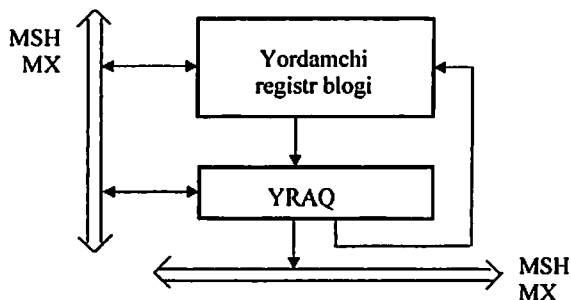
Ko'pchilik SPning arxitekturasiga ikkita akkumulyator ko'zda tutilgan, bu esa oraliq natijalarni saqlashni talab qiluvchi amallarning bajarilish tezligini oshirish

imkonini beradi. Texnik jihatdan akkumulyator bir necha registrlardan (kengaytirish registri, katta va kichik so'z registri) tuzilishi mumkin. Ularning asosiy vazifasi – oraliq natijalarni hisoblash aniqligini oshirishdir.

7.2. Qo'shimcha arifmetik qurilmalar

Turli arifmetik va mantiqiy amallarni bajaruvchi asosiy AMQ ga qo'shimcha ravishda SRIB protsessorlarda yordamchi arifmetik qurilmalar qo'llaniladi. Ular turli matematik amallarni asosiy AMQ bilan bir vaqtda amalga oshiradi, bu bilan tizimning unumdorligini oshirish imkonini beradi.

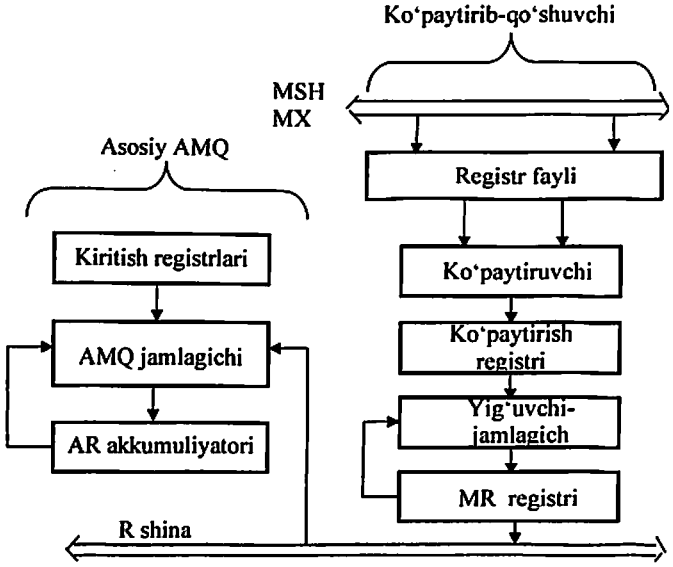
Masalan, TMS320 protsessorlarda yordamchi registrlarning arifmetik qurilmasi (YRAQ) yordamchi registrlar bilan ishlash uchun qo'llaniladi (7.4-rasm).



7.4-rasm. Yordamchi registrlarning arifmetik qurilmasi.

Yordamchi registrlar, asosan, ma'lumotlarning egri manzilatsiyasi uchun qo'llaniladi, shuningdek umumiy vazifalarni bajaruvchi registrlar sifatida xizmat qilishi mumkin. Registr va operandlarning ma'lumotlar xotirasidan ma'lumotlar shinasini bo'yicha uzatiladigan miqdori YRAQ uchun kiruvchi axborot bo'lishi mumkin. YRAQ registr miqdorini o'zgartirish va ma'lumotlar xotirasi (MSh) manzillashtirish shinasiga (MSh) uzatiluvchi ma'lumotlarni olish va registrlarda saqlash uchun qo'llaniladi.

7.5-rasmda Analog Devices firmasining AMQ protsessorlari va ko'rsatkichlarining funksional sxemasi keltirilgan. Ushbu protsessorlarda ko'paytirish natijalarini to'plash uchun (ya'ni MAC – amallarni bajarish uchun) ko'paytirib-qo'shuvchi qurilmasi tarkibiga kiruvchi to'plagich – alohida summator qo'llaniladi. MR registrdan R maxsus shina (natija shinasini) bo'yicha to'planish natijasi asosiy AMQ ga kelgusida ishlov berish uchun uzatiladi. Ayrim paytda SP ga investitsiyaning faqat mantiqiy amallarini, modul bo'yicha qo'shishlarni bajarish uchun qo'shimcha qurilma qo'shiladi.



7.5-rasm. TMS protsessorlaridagi qo'shimcha ko'paytirib-qo'shuvchi.

So'nggi modellarning ko'pchilik protsessorlari AMQda hisoblashlarning bir necha natijalarini saqlash imkonini beruvchi minimum ikkita akkumulyatorga ega.

Maxsuslashtirilgan manzilning generatsiya qurilmalari (MGQ).

SRIB protsessorlarida ma'lumotlar xotirasida ma'lumotlar manzillari generatsiyasi uchun maxsus qurilmalardan foydalaniladi. Ushbu qurilmalar PD ma'lumotlar xotirasida joylashtirilgan operandlarga murojaat uchun shakllantiriladi yoki modifikatsiyalanadi.

Manzilatsiyaning turli usullarida, ayniqsa maxsus usulda, manzillarni shakllantirish hisoblashlarni bajarish bilan bog'liq. MGQ boshqa modullar bilan parallel ravishda ishlaydi va AMQda amallarni bajarish bilan bir vaqtda operandlar manzillarini navbatdagi buyruq uchun hisoblash imkonini beradilar. Ularda manzillar va ayrim ma'lumotlar (masalan, indekslar yoki manzilni modifikatsiyalashda orttirmalar qiymati), ayrim paytlarda esa ixtisoslashtirilgan AMQ ni saqlash uchun registrlar to'plamlari qo'llaniladi.

Umumiy strukturasi va vazifasiga ko'ra MGQ 7.5-rasmda keltirilgan qurilma (yordamchi registrlar bloki va YRAQ)ga to'g'ri keladi. MGQ ma'lumotlar manzillari generatsiyasi qurilmasi sifatida Analog Devices, Motorola, TMS320C55x protsessorlarida alohida ajralib turadi. Ushbu protsessorlarda bir vaqtning o'zida ikkita operand uchun ikkita manzilni shakllantirish imkonini beruvchi ikkita qurilmadan foydalaniladi [22].

7.3. Raqamli ishlov berish sikllarini texnik jihatdan tashkil etish

Siklik jarayonlar, ya'ni yakka buyruqlar va ularning bloklarining takrorlanishi SRIB algoritmlari ichida muhim o'rin tutadi. Bu to'laqonli ravishda o'rash, korrelatsiyalash amallariga, raqamli filtratsiyaga tegishli. Dasturiy tarzda sikllarni oddiy tashkil etish sikllarning sikl dasturining har bir o'tishida bajarilishi kerak bo'lgan shakllanish va tugaganligi shartlarini tekshirish buyruqlaridan foydalanishni talab qiladi. Ushbu buyruqlarni bajarish uchun vaqt sarflanadi. Shuning uchun SPda sikllarni mumkin qadar kam vaqt sarflab tashkil etish, ya'ni siklning tugashi shartlarini tekshirish imkonini beruvchi qurilmalar qo'llaniladi. Minimal yo'qotishlarga ega sikllarning qo'llab-quvvatlanishi dasturchilarga sikllarni iteratsiyalarning kerakli sonini va sikl chegaralarini ko'rsatib tashkil etish imkonini beradi.

Texas Instruments firmasining signal protsessorlarida yakka buyruqni takrorlash uchun siklik amali oldidan buyruq bilan yuklanadigan va tarkibi har bir qadamda birga kamayadigan RC takrorlanishlar hisoblagichi qo'llaniladi. RC tarkibi

nolga teng bo'lmaguncha dasturiy schyotchik qiymati o'zgarmaydi. Bitta siklning buyruqlar blokini takrorlash uchun buyruqlar bloki boshi va oxiri qo'shimcha registrlari mavjud bo'lib, ularga birinchi va oxirgi takrorlanuvchi buyruqning manzillari yoziladi. Har bir qadamda buyruqlar hisoblagichi qiymati buyruqlar bloki oxiri registri tarkibi bilan tenglashadi. Agar buyruqlar hisoblagichi qiymati blok oxiri registri tarkibidan kattalashsa, buyruqlar hisoblagichiga blok oxiri registri qiymati yoziladi va takrorlanishlar soni hisoblagichi dekrementlanadi.

Ayrim SPLarda siklning birinchi o'tishida unda bajarilayotgan buyruqlar buferga joylashtirilishi mumkin, bu esa navbatdagi iteratsiyalarda xotiradan xuddi o'sha buyruqlarni takroran tanlash zaruriyatini bartaraf etadi.

Motorola protsessorlarida DO siklining maxsus buyrug'idan foydalaniladi. Bu buyruq siklning boshi va oxiri (LC va LA) registrlari bilan ishlaydi. Analog Devices firmasi protsessorlarida ham sikllar xuddi shunday ishlaydi [19, 22].

7.4. Bir necha arifmetik-mantiqiy qurilmalardan foydalanish

Bir vaqtning o'zida ishlayotgan bir necha funksional qurilmalarning qo'llanilish usuli yuqori unumdor protsessorlarning ko'plab modellarida o'z tadbiqini topgan. Parallel ishlov berishning bunday usuli unumdorlikni salmoqli oshirish imkonini beradi. Bunda protsessor arxitekturasiga ishlov berishning qo'shimcha uzunligini (arifmetik-mantiqiy qurilmani) kiritish, unumdorlikni oshiradi. Realizatsiyasining soddaligi nuqtai nazaridan o'xshash AMQlardan foydalanish afzal. Ishlov berishni tezlashtirishning bunday variantidan foydalanishga misollarni ko'rib chiqamiz. Texas Instruments, TMS320C55 protsessorlarida hisoblash yadrosi tarkibiga ikkita MAC – modul (ko'paytirish/to'plash qurilmalari), 40 razryadli summator/hisoblagich va 3 razryadli chegaralovchi kiradi. Hisoblagich yadrosi tarkibiga alohida 40 razryadli AMQ kiradi va u 40 razryadli akkumulyator ustida bitta amal yoki ikkita 16 razryadli amalni parallel bajarish mumkin. ADSP-21160 va ADSP-TSOOI TigerSHARC – protsessorlari ikkitadan tugunga ega bo'lib, ularning har biri registr fayli, ko'paytirgich va bir vaqtning o'zida ko'paytirish/to'plash

amallarini bajarish yoki bir-biriga tobe bo'lmagan vazifalarni bajarish imkonini beruvchi AMQni o'z ichiga oladi [21, 22].

Motorola MSC 810I protsessorlari to'rtta parallel ishlovchi AMQ ega bo'lib, ularning har biri ko'paytirgich/to'plam MAC-qurilmasi, alohida razryadlarga ishlov berish qurilmasidan tuzilgan. Barcha AMQlar uchun operandlar va natijalarning manbai va qabul qiluvchisi sifatida qo'llaniladigan 8 ta suruvchi va 16 ta registr barcha AMQlar uchun umumiy hisoblanadi. 16 razryadli so'z barcha AMQlar va ayrim boshqa funksional qurilmalar uchun buyruq hisoblanadi. Alohida tugunlarning birdan oltitagacha buyrug'i bitta umumiy buyruqqa birlashishi mumkin. Alohida AMQlar buyruqlari ikkita operand ustida turli amallarni, jumladan ko'paytirish/to'plash amallarini qo'shish imkoniyatiga ega.

Ko'pgina AMQlar TMS320C6000 platformasi protsessorlariga ega. Ularda sakkizta AMQ bor bo'lib, ular to'rttadan ikkita guruhga birlashgan – S, L, M, D. Guruh ichidagi AMQlar: M ko'paytirish va ko'paytirish/to'plash amallarini bajarish, S, L, D esa arifmetik amallarni bajarishga mo'ljallangan.

Bir necha signal protsessorlarning bitta kristallda to'planishi bir necha AMQlardan foydalanish yo'lidagi navbatdagi rivojlanish bosqichi hisoblanadi:

– ADSP2192 protsessori umumiy va lokal xotira sohasiga ega ikkita mustaqil SPni birlashtiradi;

– TMS320C5441 protsessori kristall ichida lokal va umumiy xotira sohasiga ega to'rtta S54x yadrosini o'z ichiga oladi;

– TMS320C5420 va S5421 protsessorlari kristall ichiga S54x yadroli, ular orasida ma'lumot almashish ichki magistralga ega ikkita mustaqil protsessorni oladi.

Registr fayllari.

Barcha SPlar ma'lumotlar va buyruqlarni birlashtirishning turli funksiyalarini bajarish uchun mo'ljallangan registrlar to'plami – registr fayllariga ega. To'plamlar va bu to'plamlardagi registrlar soni turli protsessorlarda yetarlicha keng diapazonda o'zgarib turadi va zamonaviy protsessorlarda ko'payib bormoqda.

Registr fayllarining asosiy vazifalari quyidagilardan iborat:

1. Registrlardan egri amalda operand manzilini saqlash va modifikatsiyalash uchun foydalanish. Misol uchun, TMS protsessorlaridagi yordamchi (ikkitadan sakkiztagacha) registrlarini keltirishimiz mumkin. Shuni qayd etish kerakki, ushbu registrlardan umumiy vazifani (masalan, ma'lumotlarni vaqtincha saqlash) bajaruvchi registr sifatida foydalanish mumkin.

2. Registrlar to'plami tizim ishi konfiguratsiyasini berish va saqlash (masalan, xotira konfiguratsiyasi, uzilishlarni maskirovkalash) va tizim ishi rejimlarini nazorat qilish uchun qo'llanilishi mumkin. Ushbu registrlarga va ularning alohida razryadlariga foydalanuvchi tizimning initsializatsiya bosqichida tizim konfiguratsiyasini va uning ish rejimini belgilovchi muayyan boshqaruvchi so'zlarni dasturiy tarzda yozadi. Protsessor dasturni bajarishda o'zining muayyan vaqtdagi holati to'g'risidagi o'zgaruvchan axborotni qayd etadi. Ushbu axborot protsessor ishini va holat o'zgarishini boshqarishda qo'llanilishi mumkin. Boshqaruvchi registrlar va holat registrlari, qoidaga binoan, protsessor xotirasida nomdan tashqari muayyan manzilga ega bo'ladilar va ularga axborotni o'qish uchun xotira yacheykasiga murojaat qilgandek kirish mumkin.

3. Registrlardan operandalar, natijani qabul qiluvchilar manbalari, operandlar va natijalar manbalari/qabul qiluvchilari sifatida foydalanish mumkin. Istalgan universal va ixtisoslashtirilgan protsessorlarda registr arxitekturasi operandlarning ikkita eslab qoluvchi muhitning birida: asosiy xotira yoki registrda joylashishiga yo'l beradi. Ishlov berish buyrug'ining uchta turi mavjud: "registr-registr", "registr-xotira", "xotira-xotira".

"Registr-registr" buyruq turi uni bajarishda ikkita operand manbai registr hisoblanishini anglatadi. Amal natijasi ham registrga joylashtiriladi. Yuqori darajadagi tillar kompilyatorlari "registr-registr" turidagi oddiy buyruqdan unumli foydalanadilar, ushbu buyruqlar tez bajariladi va bir necha AMQ ega, unumdorligi yuqori bo'lgan protsessorlarda mavjud. Operandlar manbai/qabul qiluvchisi sifatida registr fayllarning qo'llanilishi "registr-registr" buyruq turidan keng foydalanish va S tiliga yaqin arxitekturali protsessorlarni qurish imkonini beradi.

Turli firmalar SPlarida va bir firmaning turli oilalariga mansub protsessorlarda yuqorida aytib o'tilgan barcha buyruq turlari eng muhim buyruqlar sifatida qo'llaniladi, amallar natijalarini qabul qiluvchilar sifatida deyarli doim registrlar (registrlar to'plami) dan foydalaniladi.

Nazorat uchun savollar

1. Raqamli signal protsessorlarda unumdorlikni oshirishning barcha ma'lum usullarini sanab o'ting.
2. Bajariladigan vazifasiga ko'ra siljituvchilar nimalarga bo'linadi?
3. Akkumulyator nima vazifani bajaradi?
4. Maxsuslashtirilgan manzilning generatsiya qurilmalarini bayon qiling.
5. Registr fayllarini ko'rib chiqing.

VIII BOB. SIGNAL PROTSESSORLARIDA MA'LUMOTLARNI TAQDIM ETISH VA ISHLOV BERISH

8.1. Signal protsessorida xotira va shinani tashkil etishdagi parallelizm

Xotirani tashkil etishda, shinalar topologiyasida parallelizm hisobiga, shuningdek dasturlar va buyruqlar darajasida parallelizm hisobiga parallel ishlov berish vositalarning mavjudligi SP arxitekturasining o'ziga xos xususiyati hisoblanadi. Parallelizming ushbu darajalarini ko'rib chiqamiz [23- 25].

Xotirani tashkil etishdagi parallelizm. Yagona xotira maydoni mustaqil "X buyruqlar xotirasi" va "U ma'lumotlar xotirasi"ga bo'lishda Garvard arxitekturali protsessorlar xotirani tashkil etishda parallelizmga o'tishda birinchi qadam hisoblanadi. Shu bilan birga, real vaqtda tizimlarda kirish o'zgaruvchilarining katta oqimini qayta ishlashda, ishlov berish tezligi joriy natijalarning qabul qilish darajasida bo'lishini ta'minlashi kerak. Bunday tizimlarda ichki xotira unchalik katta bo'lmaydi, asosiy e'tibor hisoblash tezkorligiga va tezkor xotira va ALU o'rtasidagi ma'lumot almashish tezligiga qaratilgan. Ushbu muammoni hal qilish uchun protsessorlarning Garvard arxitekturasi qo'llaniladi.

Garvard arxitekturasida protsessorning ichki xotirasi alohida kirish vositasiga ega bo'lgan buyruqlar xotirasi va alohida ma'lumotlar xotirasiga bo'linadi. Ushbu usul buyruq va ma'lumotlarga parallel ravishda murojaat qilishni, ularni bir vaqtning o'zida ijro etuvchi qurilmalarga yuklash bilan ta'minlashga imkon berdi. Buyruqni olish va ma'lumotlarni olish davrlari bir vaqtning o'zida bajariladi. Garvard arxitekturasining takomillashtirilgan versiyasida buyruqlar va ma'lumotlar uchun alohida shinalar joriy etildi va yuqori tezlikda qiymat olish ta'minlandi. Garvard arxitekturasining keyingi rivojlanishi, o'zgartirilgan Garvard arxitekturasi bo'lib, unga ko'ra operandlar nafaqat ma'lumotlar xotirasida, balki dasturlar bilan bir qatorda ko'rsatmalar xotirasida ham saqlanishi mumkin. Masalan, raqamli filtrni amalga oshirishda filtr koeffitsiyentlari dastur xotirasida va kirish signallarining qiymatlari ma'lumotlar xotirasida saqlanishi mumkin. Koeffitsiyentlar va ma'lumotlar bitta mashina davrida o'qib olinishi mumkin.

Motorola firmasining DSP56002 modeldagi signal protsessori bunga misol bo'la oladi. Xotiraning bunday qurilishi grafik ilovalari uchun (X va U koordinatalari), OIX filtrlarni amalga oshirishda va TFO' algoritmlarini bajarishda juda qulay.

O'sha markadagi signal protsessorlarining keyingi modellarida DSP56300 operativ xotira (OXQ-X va OXQ-U – har biri 2K so'z hajmli) bilan bir qatorda 4K so'z hajmli dasturning kesh-xotirasi paydo bo'ldi. Kesh-xotiraning paydo bo'lishi ishlov berish tezligini ancha oshirdi, shuning uchun kesh-xotira SPning boshqa barcha markalarida qo'llaniladi. TMS markasining SPsida kesh bilan bir qatorda ikki kirishli xotiraning qo'llanilishi olg'a qo'yilgan yana bir qadam bo'ldi. Xotiraga to'g'ridan-to'g'ri kirish o'rnatilgan kotrolleri hisoblashlar va xotira bilan ma'lumot almashish protsedurasini vaqtga moslashtirish imkonini berdi.

Parallelizm tamoyilining keyingi rivojlanishida registr xotiraning turli variantlarda keng qo'llanilishi muhim o'rin tutadi. Ko'pincha arxitekturada umumiy vazifalarni bajaruvchi registrlar qo'llaniladi, u yerda ishlov berishning oraliq natijalari qo'llaniladi. Akkumulyatorlar, to'plovchilar, suruvchi registrlar, registr fayllar ko'p funksional registrlar hisoblanadi.

Xotirada parallelizmdan amaliy foydalanishga siklli manzillashda qo'llaniluvchi sirkulyar bufer misol bo'la oladi. Bu ma'lumotlar xotirasidagi yacheykalar to'plami bo'lib, ularga sikl bo'yicha murojaat qilinadi, ya'ni buferga yozilgan ma'lumotlarga murojaat bir va boshqa yo'nalishda yopiq doira bo'yicha amalga oshiriladi. Bunday sirkulyar bufer tutilishlar liniyasini tashkil etishda ham qo'llanilishi mumkin.

Protsessor shinasini tashkil etishdagi parallelizm. Yuqorida xotira elementlarining qurilishida parallelizmi tashkil etish variantlari ko'rib chiqildi, biroq ushbu elementlarning unumli ishlashida protsessor shinalari katta rol o'ynaydi. Ma'lumki, protsessorning tez ishlashi va operativ xotiradan ma'lumotlarni tanlash tezligining nisbatan pastligi asosiy muammo hisoblanadi. Ushbu muammoni bartaraf etish uchun xotiraning tezkor turlari ishlab chiqilgan: registr xotira, turli darajalardagi kesh-xotira, ikki kirishli xotira. Bu usullar ishlov berish jarayonini tezlashtiradi, biroq

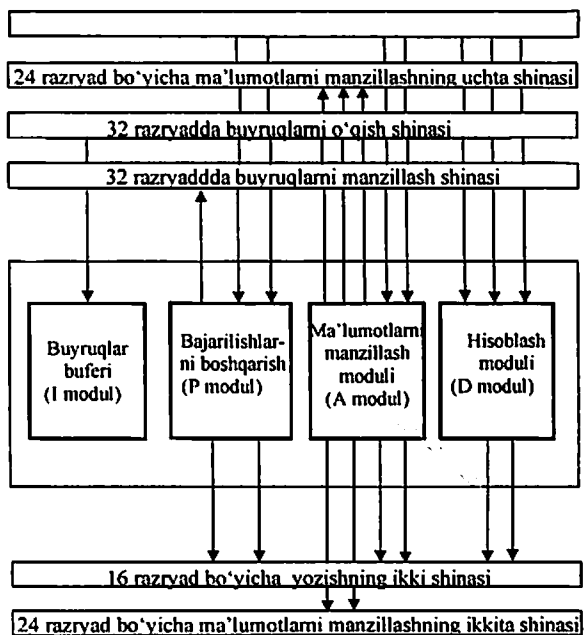
ular axborotni uzatuvchi tegishli buyruqlar protsessorli shinalarsiz unumdorligi kam bo'ladi [22].

Signal protsessorlar tizim ishi tezligi oxirgi OXQli ma'lumotlarni almashish tezligiga bog'liq bo'lgan ma'lumotlar oqimi bilan ishlaydi. Protsessor uchun ma'lumotlarni o'qish va yozish muammosining yechimi xotira shinalarini to'g'ri tashkil etish va xotiraga kirish sikllarining bajarilishiga bog'liq.

"Protsessor-shina-xotira" o'zaro ta'sir liniyasini tashkil etishda parallelizm ishlov berish yadrosini xotirani ortiqcha murakkablashtirmasdan optimal yuklash imkonini beradi.

SP arxitekturasi rivojlanishi bilan shinalar soni va ularning razryadligi (kengligi) ham o'sib bordi. Shinalar vazifasining bo'linishi xotira elementlari funksiyalarining bo'linishiga mos kelardi. An'anaviy manzil shinasi, ma'lumotlar shinasi va boshqarish shinalaridan tashqari alohida buyruqlar ma'lumotlari shinalari, operandalar ma'lumotlari shinalari, X ma'lumotlar shinalari va U ma'lumotlar shinalari paydo bo'ldi. Bu protsessorning o'zini nafaqat optimal yuklash, balki qo'shimcha funksional tugunlar (qo'zg'almas va suzuvchi vergul, akkumulyatorlar va surimli registrlari, MAC-ishlov berish modullari)ni axborot bilan ta'minlash imkonini beradi. Parallelizm bazasida shinalar arxitekturasida konveyr ishlov berish rejimini kiritish, SIMD va VLIW arxitekturasidan foydalanish imkoniyati paydo bo'ldi. Superskalyar arxitekturani qo'llab-quvvatlash va ma'lumotlarning zaruriy oqimini ta'minlash uchun Tiger SHARC protsessorida har biri 128 bit bo'lgan uchta ma'lumotlar shinasi mavjud.

Ishlov berishning murakkab ko'p oqimli buyruqlarni parallel bajarishda signallar va funksional uzellari o'zaro harakatining tashkil etilishini TMS320C55x signal protsessorining ishlov berish yadrosi strukturasi misolida ko'rib chiqamiz (8.1-rasm).



8.1-rasm. TMS 320S55x modelining ishlov beruvchi protsessor yadrosining strukturasi

Protsessor yadrosi Garvard arxitekturasi bo'yicha qurilgan bo'lib, 4 ta funksional modulga ega [22]:

- hisoblash moduli (D);
- manzilatsiya moduli (A);
- buyruqlar dekoderi moduli (I);
- bajarishni boshqarish moduli (P);

Modullar o'zaro va xotira resurslari hamda quyidagi shinalar bilan bog'liq:

- ma'lumotlarni o'qish 16 razryadli uchta shinasasi;
- uchta ma'lumotlarni o'qish manzili 24 razryadli uchta shinasasi;
- ma'lumotlarni yozishining 16 razryadli ikkita shinasasi;
- ma'lumotlarni yozish manzillarining 24 razryadli ikkita shinasasi;
- buyruqlarni o'qishning 32 razryadli bitta shinasasi;
- buyruqlarni o'qish manzilining 24 razryadli bitta shinasasi.

Shinalar arxitekturasi uchta 16 razryadli soʻz tanlovi va ikkita 16 razryadli va bitta 32 razryadli soʻzni bir vaqtning oʻzida yozishini taʼminlashi mumkin.

Yozish va oʻqish bilan band shinalarning bunday soni modullarning yuqori darajadagi erkin ishlashini taʼminlaydi, maʼlumotlarni ishlash murakkab buyruqlarini parallel bajarishni unumdorlikni pasaytirmasdan qoʻllab-quvvatlaydi.

8.2. Maʼlumotlarni qayta ishlash buyruqlari darajasidagi parallelizm

Asosiy AMQ qoʻshimcha koʻplab turli funksional tugunlar protsessorlarda bir vaqtning oʻzida bir necha amallarni bajarish imkonini beradi. Bu oʻz navbatida bir vaqtning oʻzida bir necha amallarni amalga oshiruvchi kombinatsiyalashtirilgan buyruqlarni kiritish va ulardan keng foydalanish imkonini beradi. Kombinatsiyalashtirilgan buyruqlar oʻrta sinf protsessorlarida nisbatan yuqori boʻlmagan unumdorlik bilan qoʻllaniladi. Kuchli yuqori unumdor protsessorlarda “registr-registr” tipidagi soddalashtirilgan buyruqlarning qisqartirilgan toʻplamli arxitekturasi tanlangan. Bu kombinatsiyalar buyruqlar C tili kompilyatorlarda va bir necha AMQ ega protsessorlar yomon realizatsiya qilinganligi bilan tushuntiriladi. Bu holatda C tilida yozilgan dasturlar unumdorlik boʻyicha assemblerdagi dasturlarga yutqazib qoʻyadi.

Kombinatsiyalashtirilgan buyruqlar, eng avvalo, signallarga ishlov berish asosiy amali – koʻpaytirish, toʻplash va uning turli variantlarining bajarish uchun qoʻllaniladi. Kombinatsiyalashtirilgan buyruqlarga boshqa misol AMQ, koʻpaytirgich va suruvchi amallari bilan bogʻliq buyruqlar boʻlishi mumkin. Bunday buyruqqa tegishli ravishda buyruqning majburiy boʻlmagan elementlari (masalan, koʻchirish biti bilan bogʻliq) boʻlgan shartini bajarishda registr tarkibining oʻzgarishi amalga oshiriladi.

Kombinatsiyalashtirilgan buyruqlarga shuningdek manzil modifikatsiyasini egri manzilatsiyadan foydalanuvchi buyruqlar misol boʻla oladi. Ushbu buyruqlarni

bajarayotganda AMQda asosiy amal bilan bir qatorda MGQda manzilni hisoblash amalga oshiriladi.

Motorola firmasining SPsining ayrim buyruqlarida ma'lumotlarni qo'shimcha jo'natishdan foydalanishadi. Ushbu buyruqqa tegishli ravishda X0, U0 registrlari tarkibida ko'paytirish amallari amalga oshiriladi va bir vaqtning o'zida X0 registri tarkibi X-xotiraga jo'natiladi, U-xotira yacheykasidan esa U0 registriga jo'natish bajariladi.

Analog Devices va Texas firmasi protsessorlari asosiy amalni bajarish bilan bir vaqtda ma'lumotlarni qo'shimcha bajarish uchun maxsus buyruqlar qo'llaniladi. Protsessorlar tavsifida bunday buyruqlar ko'p funktsionalli deb ataladi.

TMS320C3x va TMS320C55x protsessorlarida parallel buyruqlar sifatida ayrim buyruqlar mavjud, bunda ushbu buyruqlarda bayon etilgan ayrim amallar SP funktsional tugunlarda bir vaqtning o'zida bajariladi. Bunda protsessor unumdorligi anchagina oshadi. Bunday bir vaqtning o'zida bajariladigan buyruqlar kombinatsiyalashtirilgan deyiladi. Bir necha AMQli (8 va 4ga) protsessorlarda bajariladigan buyruqlar kombinatsiyalashtirilgan buyruqning bir turi hisoblanadi. AMQlarda amallarni belgilovchi buyruqlar parallel bajariladi.

8.3. Algoritmarda ma'lumotlarni ifodalash formatlari va shakllari

Signal protsessorlarning ishlov berish algoritmlarida ma'lumotlar konstantalar, o'zgaruvchilar va massivlarning ramziy nomlari yoki bevosita konstantalar bilan taqdim etiladi. Ma'lumotlarning protsessorida taqdim etilish va ishlashini belgilovchi muhim xarakteristika bu ma'lumotlar turidir. Ma'lumotlarning quyidagi asosiy turlari mavjud [6, 7, 22]:

- butun;
- haqiqiy;
- kompleks;
- mantiqiy;

– matnli.

Signallarni ishlashga bevosita bog‘liq bo‘lgan hisoblash bloklaridagi raqamli ishlov berish algoritmlarida, qoidaga ko‘ra, quyidagi ma‘lumot turlari qo‘llaniladi:

– haqiqiy tur - kirish va chiqish signallarini hisoblash, tenglamalar koeffitsientlari, diskret Fure o‘zgartirishi (DFO‘) va impulsli xarakteristikalamini hisoblash, chastota xarakteristikalarini qiymatlari;

– kompleks tur - haqiqiy va tasavvurdagi qismlarga mos keluvchi haqiqiy turdagi ma‘lumotlarning tartiblangan juftligi ko‘rinishida;

– butun tur - hisoblashlar va koeffitsiyentlar soni va nomeri, massivlar razmeri, hisoblagichlar tartibi;

– mantiqiy tur - bitta-bit ishlov berish amallarida.

Adreslar (ma‘lumotlarni saqlovchi xotira yacheykalari nomerlari)ni boshqarish va hisoblash amallari protsessorlar arxitekturasida ko‘zda tutilgan maxsus qurilmalar yordamida amalga oshiriladi, shuning uchun bunday hisoblashlar ma‘lumotlarni ishlashga taalluqli emas va ushbu bobda ular haqida so‘z yuritiladi. SRIB algoritmlarida hisoblashla eng katta hajmli haqiqiy turdagi ma‘lumotlar bilan bog‘liq va bu bobda unga eng ko‘p e‘tibor ajratiladi. Butun turdagi hisoblashlar hajmi kichik bo‘lgan ma‘lumotlarga ishlov berish muhokama qilinadi.

Dastur buyruqlaridagi, assembler tilida tuzilgan ma‘lumotlar:

– konstantalar, o‘zgaruvchilar va massivlarning ular saqlanayotgan xotira yacheykalari adreslariga mos keluvchi ramziy nomlari;

– o‘zlari saqlanayotgan registrlar nomlari;

– bevosita konstantalar bilan taqdim etiladi.

Protsessorlarda ma‘lumotlarni taqdim etish ular saqlanayotgan razryadlilikiga, yacheyka va registrlarda razryadlarning funksional taqsimlanishi (belgili, katta va kichik), shuningdek, protsessorida arifmetik vazifalarning bajarilish spetsifikatsiyasiga bog‘liq. Shuning uchun ma‘lumotlarni taqdim etish protsessorida qo‘llaniladigan arifmetik turga bog‘liq (qo‘zg‘almas vergulli (QV) yoki suruluvchi vergul (SV)).

O'rnatilayotgan materialni soddalashtirish uchun hisoblashning ikkilik tizimi masalalari va ikkilik sonlar ustida arifmetik amallarni bajarish qoidalari muhokama etilmaydi.

Ma'lumotlar formati ma'lumotlar saqlanadigan xotira va registrlar yacheykalari razryadlilikiga bog'liq. Format ma'lumotlarni protsessorning o'zida taqdim etishning mumkin bo'lgan uzunligini belgilaydi. Ma'lumotlarni taqdim etishning quyidagi asosiy formatlari mavjud:

- bayt;
- yarim so'z;
- so'z;
- ikkitalik so'z;
- kengaytirilgan so'z.

Ushbu formatlardan asosiyarlari so'z, ikkitalik so'z va kengaytirilgan so'z. 8.1-jadvalda ma'lumotlarning SPLarning ayrim modellaridagi formatlariga misol keltirilgan.

8.1-jadval.

SP da ma'lumotlarni formatlari va tasvirlash formalari.

Prossessor	Format (bit)			Tasvirlash formasi
	So'z	Ikkilik so'z	Kengaytirilgan so'z	
TMS320C3x	32	64	40	SV, QV
TMS320C55xx	16	32	40	QV
TMS320C64xx	32	64	40	QV
TMS320C67xx	32	64	40	SV
Motorola				QV
DSP560xx	24	48	56	QV
DSP9600x	32	64	44	SV, QV
MSC810x	16	32	40	QV
Analog Devices				
ADSP-21xx	16	32	40	QV
ADSP-210x	32	64	40	SV
ADS-TS 001	32	64	80	SV

Xuddi shu yerda ma'lumotlarni taqdim etish shakllari (suzuvchi nuqta, qayd qilingan nuqta) ham berilgan. So'z operativ xotiraning n-razryadli yacheykalaridan birining yoki n-razryadli yacheykalardan birining tarkibini aks ettiradi. Shuning uchun so'z, odatda, boshlang'ich va yakuniy ma'lumotlarning tashqi tasvirlanishini xarakterlaydi. P so'z uzunligi bitlarda o'lchanadi va kattaligi bo'yicha ma'lumotlar xotirasi yoki registrning tegishli yacheykasi razryadliligiga teng.

Ikkitalik so'z xotiraning bir juft n-razryadli registri qo'shni yacheykalari bitta 2n-razryadli registri yoki n-razryadli bir juft qo'shni registrlari tarkibini aks ettiradi, shuning uchun ikkitalik so'z ma'lumotlar tasvirlashni o'ta aniqlikda xarakterlaydi. Ikkitalik so'z uzunligi 2n bitga teng. Kengaytirilgan so'z k-razryadli akkumulyator yoki chiqish registri tarkibini aks ettiradi va ma'lumotlar (oraliq va yakuniy hisoblashlar natijalari) ning ichki tasvirlanishini xarakterlaydi. Kengaytirilgan so'zning uzunligi k-bitga teng. Protssessor arxitekturasiga ko'ra ma'lumotlarni taqdim etish va registrni belgilash shakllari k kattalik uchun $k > 2n$ sharti (qo'zg'almas vergulli protssessorlarda) yoki $n < k < 2n$ (suruluvchi vergulli protssessorlarda) sharti bajariladi. Kengaytirilgan so'z uzunligi so'z uzunligidan har doim katta, bu esa oraliq va yakuniy hisoblashlar aniqligini oshirish imkonini beradi.

Bayt va yarim so'z ma'lumotlar xotirasi yoki registr yacheykalarining tegishli qismlari tarkibini aks ettiradi.

8.1-jadvalda ayrim SP modellarida ma'lumotlar formatlari va ma'lumotlarni taqdim etish shakllariga misollar keltirilgan. Format ma'lumotlarni taqdim etishning muhim tavsiflari hisoblanadi. Protssordagi bazaviy format so'z hisoblanadi, uning uzunligi ma'lumotlarni taqdim etish diapazoni va aniqligini, xotira hajmini, ma'lumotlar shinalari razryadliligini belgilaydi.

Ma'lumotlarni taqdim etish shakllari. Bitlar ketma-ketligi son ma'lumotlar, ya'ni ikkilik sonlar sifatida qabul qilinishi uchun bitlarni ketma-ketlikda funksional taqsimlash, berilgan formatda taqdim etilayotgan son turi, berilgan tipdagi sonni taqdim etish shakli to'g'risida qo'shimcha axborot kerak. Bunda aynan taqdim etish shakli son tipi va bitlarni ketma-ketlikda funksional taqsimlash uchun belgilovchi jihat hisoblanadi. Protssessorlarda sonlarni taqdim etish shakllarini ko'rib chiqishdan

oldin, sonlarni yozishning algebraik shakllarini eslatib o'tamiz. Algebra da haqiqiy va butun sonlarni yozish uchun ikkita: oddiy ($5000; 30,0; -3.77, 123; 13; 784$); ko'rgazmali yoki yarim logarifmik ($5 \cdot 10^3; 5 \cdot 0 \cdot 10^3; 1 \cdot 3 \cdot 10^2; 137 \cdot 84 \cdot 10^{-1}$) shakllardan foydalaniladi. Butun sonlarni yozganda vergul qo'yilmaydi.

Raqamli hisoblash texnikasida dasturda sonlarni yozishda butun qismini kasr qismidan vergul bilan emas, nuqta bilan ajratish qabul qilingan. Protssessor da son ma'lumotlarni taqdim etish shakli sonni yozishning algebraik shaklini aks ettiradi. Haqiqiy sonlarni yozishning ikkita algebraik shakli (oddiy va ko'rgazmali)ga binoan protsessorlarda son ma'lumotlarni taqdim etishning ikkita shakli mavjud: qo'zg'almas vergulli va suruluvchi vergulli.

Butun tipdagi ma'lumotlar protsessorlarda faqat qo'zg'almas vergulli shaklda taqdim etiladi. Haqiqiy turdagi ma'lumotlar qo'zg'almas yoki suruluvchi vergulli shaklda taqdim etilishi mumkin, shunga binoan qo'zg'almas vergulli va suruluvchi vergulli SPlar mavjud.

Qo'zg'almas vergulli ma'lumotlarni taqdim etish. Haqiqiy turdagi ma'lumotlarni qo'zg'almas vergulli shaklda taqdim etish, berilgan format doirasida barcha haqiqiy sonlar uchun nuqtaning butunni kasr sonlarga bo'luvchi bir xil o'rni mantiqan qayd etilishini anglatadi (8.2-rasm).

Butun ikkilik sonlarning qo'zg'almas vergulli shaklda taqdim etilishi, berilgan format doirasida barcha butun sonlar uchun nuqta formatning o'ng chegarasi orqasida qayd etilishini, ya'ni uning mavjud emasligini anglatadi. Quyida qisqartirish maqsadida "QV yoki SV shaklida taqdim etilgan sonlar" o'miga "QVli son" yoki "SVli son" deb ishlatamiz.

Butun sonlarni "so'z" va "ikkitalik so'z" formatlarida QV shaklida taqdim etish bitlarning quyidagi funksional taqsimotini nazarda tutadi.

Katta bit quyidagicha qo'llaniladi:

- belgili butun sonlarni taqdim etishda belgili sifatida, uning nolga teng qiymati musbat belgiga mos keladi, 1 ga teng qiymati esa manfiy belgiga to'g'ri keladi; nol musbat sanaladi, qolgan bitlar qiymatga ega bo'ladi;

- belgisiz sonlarni taqdim etishda katta belgili sifatida, sukut bo'yicha musbat belgiga ega butun sonlar belgisiz deb ataladi.

7	6	5	4	3	2	1	0
0	1	0	0	1	1	0	1

Belgi

O'nlik ekvivalent = 77

a) Musbat son

7	6	5	4	3	2	1	0
1	0	1	0	1	0	1	1

Belgi

O'nlik ekvivalent = - 43

b) Manfiy son

7	6	5	4	3	2	1	0
0	1	0	1	1	1	0	0

Belgi

O'nlik ekvivalent = 82

v) Ishorasiz son

7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	1	0	0	1	0	1

Belgi

2^{-1}

2^{-2}

2^{-3}

2^{-4}

2^{-5}

2^{-6}

2^{-7}

g) Q7 formatda kasr son

O'nlik ekvivalent = 0,2890625

8.2-rasm. Qo'zg'almas vergul (QV)li formatda sonlarni tasvirlash.

Belgili bitlardan tashqari barcha bitlar qiymatga ega hisoblanadi: ular formatning o'ng chekkasi bo'yicha tiziladi, ya'ni kichik bit butun ikkitalik sonning kichik razryadiga mos keladi; belgili butun sonning "ortiqcha" katta bitlarda belgili butun sonlarda belgining kengayishi ro'y beradi; bu barcha "ortiqcha" bitlar avtomatik ravishda katta belgili bit qiymati bilan to'ldiriladi; belgisiz butun sonning "ortiqcha" katta bitlari nolga keltiriladi. Belgini kengaytirish amali signal protsessorlarda keng qo'llaniladi. Quyida ular qo'shimcha kodlar bilan tanishgach batafsil ko'rib chiqiladi.

8.2,a,b-rasmda belgili butun sonlarni 8 bit uzunlikka ega "so'z" formatida taqdim etishga misollar keltirilgan, 8.2,v-rasmda esa xuddi shu formatda belgisiz

songa misol berilgan; bitlar og'irligi ko'rsatilgan, ikkitalik butun sonni o'ntalikka o'tkazish qoidasi berilgan.

Haqiqiy sonlarni taqdim etish. Kasr sonlarni QV shaklda "so'z" va "ikkitalik so'z" formatlarida taqdim etish bitlarni quyidagicha funksional taqsimlanishini nazarda tutadi. Katta bit belgili bit sifatida qo'llaniladi; katta bitning 0 ga teng qiymati musbat belgiga to'g'ri keladi, uning 1 ga teng qiymati manfiy belgiga mos keladi, nol soni musbat hisoblanadi; qolgan bitlar qiymatga ega hisoblanadi.

Belgili bitlardan tashqari barcha bitlar qiymatga ega hisoblanadi; ular formatning chap qirrasini bo'yicha tiziladi, ya'ni katta bit kasrli ikkitalik sonning katta razryadiga mos keladi; "ortiqcha" kichik bitlar nolga keltiriladi.

Katta, belgili bitdan keyin butun qismni (0 ga teng) kasr qismdan ajratuvchi nuqta (vergul) mantiqan qayd etiladi. Formatning kasr son berilgan ramziy belgilanishi Qb ko'rinishiga ega, bu yerda b - kasr sonning qiymatga ega bitlari soni. 8.2.g-rasmda kasr sonning Q7 formatda taqdim etilishiga misol keltirilgan; bitlar og'irligi ko'rsatilgan va ikkitalik kasr sonni o'ntalikka o'tkazish qoidasi berilgan.

Suruluvchi vergulli ma'lumotlarni taqdim etish. SVli barcha protsessorlarda ma'lumotlarni QV va SVli taqdim etish qo'llab-quvvatlanadi. Bunda QVli shaklda, qoida bo'yicha, butun sonlar, SVli shaklda esa faqat haqiqiy sonlar taqdim etiladi. Ma'lumotlarni ishlash barcha buyruqlari QVli yoki SVli sonlar bilan ishlovchilarga bo'lingan.

Haqiqiy sonlar tipidagi ma'lumotlar SVli shaklda taqdim etiladi va sonni taqdim etishning algebraik ko'rgazmali shaklini aks ettiradi, ya'ni 10_{yon} ga ko'paytirilishi, bu yerda n-butun son. Masalan, 15,17593 soni oddiy shaklda bir xil algebraik taqdimotga ega bo'lib, ko'rgazmali shaklda $1517, 593 \cdot 10^{-2}$ dan to $0,01517593 \cdot 10^{+3}$ gacha diapazonda har xil taqdim etiladi. Variantlar soni cheksiz. 10 sonini sanoq sistemasining asosi deb atashadi.

Sanoq sistemasining ikkilik tizimida SV shaklda berilgan haqiqiy sonlar, 2_{yop} ko'paytirilishi ikkitalik sonni taqdim etishning algebraik ko'rgazmali shaklini aks ettiradi, bu yerda p-butun son. Masalan, ikkitalik 101,01101 sonini $10101,101 \cdot 2^{-2}$ dan to $0,10101101 \cdot 2^{+3}$ gacha diapazonda taqdim etish mumkin.

Umumiy holatda SVli ikkitalik haqiqiy sonni taqdim etishning algebraik shakli quyidagicha ko'rinishga ega: $S = m \cdot 2^E$, bu yerda S-SVli haqiqiy ikkitalik son; m-mantissa, ya'ni QVli shaklda taqdim etilgan, belgili haqiqiy ikkitalik son; E-belgili butun ikkitalik son; 2 - ikkilik sanoq sistemasining asosi. Har ikkilikni bartaraf etish va SVli sonlar arifmetikasini soddalashtirish uchun taqdim etishning barcha variantlari ichidan SVli sonning normallashtirilgan shakli deb ataluvchi bitta varianti tanlanadi. SPda normallashtirilgan son SVli ikkitalik sonni mantissasi butun qismida doim birga ega bo'ladigan (0 soni dan tashqari) taqdimotiga mos keladi.

Raqamli texnikada SVli sonning boshqa normallashtirilgan shakli uchraydi, bunda mantissa ning butun qismi nolga teng, kasr qismning birinchi qiymatga ega son esa noldan farqli.

Mantissaning butun qismida sonlarning SPda qabul qilingan birlik normalizatsiyasi berilgan formatda haqiqiy sonning qiymatga ega raqamlari sonini birga oshirish imkonini beradi, chunki mantissaning butun qismidagi bit aniq bo'lmaydi va fizik jihatdan saqlanmaydi.

Yuqorida aytib o'tilganlarni hisobga olib, SPda SVli sonlarning taqdim etish shakli quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$S = (-1)^S \cdot 2^E \cdot 1, f \quad (8.1)$$

Bu yerda, S - SVli ikkitalik son; S - sonning belgili (0-plyus, 1-minus); 1-mantissa, ya'ni QVli shaklda taqdim etilgan, belgisiz ikkitalik haqiqiy son: 1-mantissaning (aniq bo'lmagan) butun qismi; f – mantisaning kasr qismi; E - tartib, ya'ni belgili butun ikkitalik son; 2 – ikkilik sanoq sistemasining asosi.

SVli ma'lumotlarni taqdim etishda 1985-yilda AQShda ishlab chiqilgan IEEE 754 yagona sanoat standarti mavjud. U, xususan, quyidagilarni reglamentlaydi:

- sonlarni taqdim etish shakli;
- ma'lumotlar formatlari;
- normallashtirilgan sonlarni taqdim etish;
- maxsus sonlarni taqdim etish;

– alohida holatlar.

IEEE 754 standarti Motorola firmasining DSP 9600 x signal protsessorlari, Texas Instru ments firmasining TMS 320S67XX protsessorlari va Analog Devices firmasining ADSP-21XXX protsessorlari bilan to'liq qo'llaniladi. Agar ushbu standart protsessorida qo'llanilmasa, protsessorning boshqa standartdan foydalanuvchi qurilmalarga mos kelishi uchun ma'lumotlarni standart tashqi taqdim etish ikki usul bo'yicha ta'minlanadi: dasturiy-maxsus oddiy dasturosti yordamida; apparatli-eng sodda integral sxema ko'rinishidagi pristovka yordamida. IEEE 754 standartiga binoan sonlarni taqdim etish shakli quyidagi ko'rinishga ega:

$$S = (-1)^S * 2^e * 1,f \quad (8.2)$$

Bu yerda, S - SVli ikkitalik son; S-sonning belgisi; 1,f – mantissa: 1-mantissaning butun qismi (aniq bo'lmagan), f - mantissaning kasr qismi, e=(E+bias) - o'zgartirilgan tartib, butun musbat son; bias - surish, butun musbat konstanta; 2 – ikkilik sanoq sistemasi asosi.

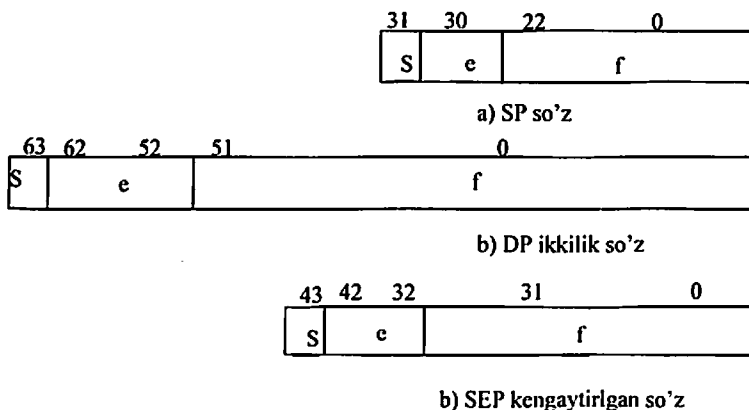
Sonlarni taqdim etishning (8.1) shaklining (8.2) dan farqi surishli tartibni taqdim etishdan iborat. “bias ” surish qiymati shunday tanlanadiki, surilgan e tartib doim mūsbat qiymatga ega bo'lgan. Bu bir xil format va belgili ikkita haqiqiy sonni tez taqqoslash imkonini beradi.

Suruluvchi vergulli ma'lumotlar formati. Ma'lumotlar formatining uchta turining (“so'z”, “ikkitalik so'z”, “kengaytirilgan so'z”) SVli SPlar uchun mo'ljallanganligi adolatli hol. Ushbu formatlar quyidagi nollarga ega:

- SP (Single Precision floating - point format);
- birlamchi aniqlikdagi ma'lumotlarni taqdim etuvchi format (“so'z”ga to'g'ri keladi);
- DP (Duble Precision floating - point format) - ikkilik aniqlikda ma'lumotlarni taqdim etuvchi format (“ikkitalik so'z”ga to'g'ri keladi);
- SEP (Single Extended Precision floating-point format) - hisoblashlarning oraliq va yakuniy natijalarni kengaytirilgan birlamchi aniqlikda taqdim etish formati.

($n < k < 2n$ uzunlikka ega “kengaytirilgan soʻz”ga toʻgʻri keladi); SEP formati maʼlumotlarni taqdim etish diapazoni va aniqligini kengaytiradi.

SP va DP formatlari (8.3-rasm) bazaviy deb ataladi, chunki ularning uzunligi va tuzilishi standartlashtirilgan, ular maʼlumotlarni xotirada tashqi taqdim etish uchun qoʻllaniladi va IEEE 754 standartini qoʻllovchi qurilmalarga mos keladi.



8.3-rasm. Suriluvchi vergulli formatlar strukturasi.

Maʼlumotlarni ichki taqdim etishda qoʻllaniladigan kengaytirilgan SEP formatiga uncha keskin boʻlmagan talablar qoʻyiladi. SP, DP formatlari strukturasi bir xil (8.3,a,b-rasm) va SVli sonlarni (8.2) formula koʻrinishda taqdim etish shakli bilan belgilangan. Unda IEEE 754 standartiga binoan aniq ketma-ketlikda joylashtirilgan uchta maydon ajratilgan:

- belgili maydoni - sonning S belgisini taqdim etish uchun (1 bit);
 - surilgan tartib maydoni - e surilgan tartib qiymatini taqdim etish uchun;
 - mantissa maydoni - of mantissaning kasr qismini taqdim etish uchun;
- mantissaning lga teng butun qismi noaniq ishtirok etadi.

SEP formati strukturasi (8.3,v-rasm) mantissaning butun qismi aniq mavjud boʻlib, amallarni bajarish qulay.

Qoʻzgʻalmas va suriluvchi vergulli SPLarni taqqoslash. Maʼlumotlarni SV formatda taqdim etishning eng muhim afzalligi bu dasturchi ishining oddiy va

qulayligidir, chunki ma'lumotlarni masshtablashtirish, natijalarni olganda to'lib ketganlikni nazorat qilish zarurati yo'q. Apparat realizatsiyasi nuqtai nazaridan SVli SP arxitekturasi mantissa va tartib alohida ishlov berish sababli ancha murakkab.

SPning u yoki bu turini tanlashda yechiladigan ishlov berish masalalari sinfi, kiruvchi signallarning dinamik diapazoni, ishlov berish aniqligiga e'tibor berish kerak. Yechilayotgan masalalar va realizatsiya qilinayotgan algoritmlarni hisoblash murakkabligi, yaxlitlash va protsessorning razryadli setkasining to'lib ketish ehtimoli xatolarini baholash uchun ko'paytirish/bo'lish amallarining hajmini hisobga olish kerak.

Yechiladigan masalalarning kengroq doirasini qamrab olish va arxitekturada qo'llanishi uchun zamonaviy SPLarda, ham QVli, ham SVli rejimida ishlash imkoniyatlari nazarda tutilgan. Ko'rsatiladigan xizmatlar doirasini kengaytirish, turli formatdagi (audio, video, grafika) kiruvchi o'zgaruvchilar oqimining kattalashuvi munosabati bilan SP arxitekturasi SV rejimiga o'tish yo'lidan ketmoqda (maxsus qo'llanishlar (masalan, harbiy) bundan mustasno).

8.4. Hisoblash yadrosida ma'lumotlar ustida amallar

Signal protsessorning hisoblash yadrosi (hisoblash moduli) ma'lumotlarga ishlov berish yakuniy natijalarini shakllantiruvchi asosiy qurilmalarga ega. Bunday qurilmalar kategoriyasiga quyidagilar kiradi: ko'paytirib-qo'shuvchilar, arifmetik-mantiqiy qurilmalar, akkumulyatorlar, surish registrlari, ko'p funksional registrlar, cheklovchilar. Ushbu qurilmalarning ko'pchiligi ularning parallel ishlashi nuqtai nazaridan ko'rib chiqilgan edi. Bu yerda ularning hisoblash amallari ishlov berilayotgan ma'lumotlarning formati hisobga olinib ko'rib chiqiladi [22].

Qo'zg'almas vergulli ma'lumotlar ustida amallar. Bir taktli ko'paytirgichning borligi SP arxitekturasi asosiy belgilaridan biridir, chunki ko'paytirish va to'plamli ko'paytirish amallari signalni raqamli ishlash algoritmlarida bazaviy hisoblanadi. Barcha SPLar o'z arxitekturasi asosiy komponentlaridan biri

sifatida yoki avtonom ko'paytirgich, yoki MAC ko'paytirib-qo'shuvchiga ega. Avtonom ko'paytirgich "so'z" formatida taqdim etilgan ma'lumotlarni ko'paytirish amalini bajaradi, ko'paytirish natijasi (ko'paytma) "ikkitalik so'z" yoki "kengaytirilgan so'z" formatida maxsus registrda saqlanadi. Agar ko'paytirish amali natijasi ma'lumotlar xotirasida saqlansa, formatlarning formati avtomatik ravishda o'zgaradi. Ko'paytirgich Texas Instruments firmasi ning TMS 320S5XX16XX protsessorlarida mavjud.

MAC qurilmasi to'plashli ko'paytirish amalini bajaradi. Avval MAC qurilmasining ichki ko'paytirgichida "so'z" formatida taqdim etilgan ma'lumotlar ko'paytirish amali amalga oshiriladi, keyin olingan ko'paytmaning "kengaytirilgan so'z" formatiga ega. MAC qurilmasi akkumulyatori tarkibi bilan qo'shilish bajariladi. Agar MAC amali natijasi ma'lumotlar xotirasida saqlansa, formatlar avtomatik ravishda o'zgaradi. MAC qurilmasida ko'paytirish amallarini bajarishda MAC akkumulyatori oldindan nolga keltirib qo'yiladi. MAC qurilmalari Motorola va Analog Devices firmalarining protsessorlarida realizatsiyalangan.

Arifmetik-mantiqiy qurilmalar. AMQ ma'lumotlar ustida barcha arifmetik va mantiqiy amallarni, shuningdek bit-manipulyatsiyalarni bajarish uchun mo'ljallangan. AMQning ichki arxitekturasi foydalanuvchidan berkitilgan va ushbu qurilma amallari tegishli buyruqlarni bajarish qoidalari orqali ochiladi. AMQning minimal variantida QV formatida mantiqiy amallar, surishlar, shuningdek qo'shish va ayirish amallarini amalga oshirish uchun qurilma bo'lishi kerak. Tugunlarning bunday to'plamiga ega bo'lgach, dasturiy usulda qolgan boshqa murakkab arifmetik va mantiqiy amallarning bajarilishini ta'minlash mumkin. AMQning bazaviy standart sxemalari kirishda ma'lumotlar so'zlarini qisqa saqlashni ta'minlovchi registrlarni, ma'lumotlar so'zlarini uzatish, natijalarni xotiraga yozish, natijalar belgilarini qayd etish; mikroasturiy boshqarishdan signallar bo'yicha mikroamallar va mantiqiy shartlar funksiyalarini oshirishni amalga oshiruvchi kombinatsion sxemalarni o'z ichiga oladi. Ishlov berish oraliq natijalarini vaqtincha saqlash uchun akkumulyatorlardan foydalaniladi.

Akkumulyatorlar. Akkumulyatorlar ko'p funksional registrlar bo'lib, ichki ma'lumotlar - AMQ da amallarning oraliq va yakuniy bajarilish natijalarini saqlash uchun qo'llaniladi. Ko'pchilik protsessorlar arxitekturasida ikkita akkumulyator mavjud. Bitta akkumulyator ma'lumotlarga ishlov berish unumdorligining pasayishiga olib keladi, chunki akkumulyator ham manba, ham ma'lumotlarni qabul qiluvchi sifatida qo'llaniladi. Hisoblashlar jarayonida dasturning bajarilish vaqti oshadi, oraliq ma'lumotlarni taqdim etishning aniqligi va dinamik diapazoni kamayadi. So'nggi amal akkumulyatorning katta so'zli formatidan xotira yoki registr yacheykasining kichikroq so'z formatiga o'zgarish zaruratidan kelib chiqadi. Akkumulyator tarkibi "ikkitalik so'z" formatida taqdim etiladi, biroq ko'pincha u "kengaytirilgan so'z" formatida beriladi.

Kengaytirilgan so'z strukturasi o'xshab, akkumulyator uchta ketma-ket birlashtirilgan registrlardan tuzilgan, ularni belgilash uchun quyidagi nomlardan foydalaniladi:

- EXT- kengaytirish registri;
- MSP- katta so'z registri;
- LSP- kichik so'z registri.

EXT kengaytirish "ikkitalik so'z" formatiga qo'shimcha bit qo'shish hisobiga darajani ko'tarish imkonini beradi, bunda akkumulyator to'lib ketadi. Shu sababga ko'ra EXT kengaytirishning qo'shimcha bitlarini odatda "soqchi" deb atashadi. Agar EXT so'zining uzunligi 4 yoki 8 bitga teng bo'lsa, akkumulyator oraliq ma'lumotlarning to'lib ketishi xavfsiz. 2^4 yoki 2^8 (modul bo'yicha)gacha qiymati to'planishi mumkin. Agar bu qiymatlarni ma'lumotlar xotirasida saqlash talab qilinsa, ikkita variantdan biri bo'lishi mumkin:

- EXT registri tarkibini alohida yacheykada saqlash;
- Akkumulyator tarkibini uni ma'lumotlar xotirasiga uzatishgacha masshtablashni amalga oshirish.

Agar bu bajarilmasa, akkumulyator tarkibini ma'lumotlar xotirasida saqlashda u avtomatik ravishda so'z uzunligigacha yaxlitlanadi.

Surish qurilmasi. Ma'lumotlarni surish amalini bajaruvchi, shuningdek surish natijasi saqlanadigan registr surish qurilmasi yoki "suruvchi" deyiladi. Bajariladigan vazifasiga ko'ra suruvchilarni quyidagilarga bo'lish mumkin:

– oldin suruvchilar, bunda ma'lumotlarning surish amalini bajarishdan oldin yoki bajarilayotgan vaqtda amalga oshiriladi;

– keyin suruvchilar, bunda ma'lumotlarni surish amal bajarilgach amalga oshiriladi.

Ikkala holatda ham amal natijasini saqlovchi suruvchi strukturasi akkumulyator strukturasi o'xshaydi. Oldin suruvchilarning asosiy funksiyalari:

– oldindan masshtablash, ya'ni qo'shish va ayirish arifmetik amallarni bajarishdan oldin ma'lumotlarni surish, shuningdek akkumulyatorga ma'lumotlarni yuklashdan (masalan, ma'lumotlar xotirasi yacheykasi tarkibini akkumulyatorga yuklash amalining bajarilishi dan) oldin surish;

– AMQda mantiqiy amallarni bajarishdan (masalan, protsessorda mantiqiy ko'paytirish amalini bajarishdan) oldin ma'lumotlarni surish;

– AMQda arifmetik surishlar amallarini bajarish vaqtida ma'lumotlarni surish;

– AMQda mantiqiy va siklik surishlarni bajarish vaqtida ma'lumotlarni surish.

Keyin suruvchilarning asosiy vazifalari:

– natijalarni ma'lumotlar xotirasida saqlashda masshtablash;

– belgini kengaytirish bitlarini bartaraf etish;

– natijalarni normallashtirish;

– natijalarni blokda bir xil tartibni ajratishda masshtablash.

Masshtablash amal natijalarini ma'lumotlar xotirasida saqlashda amalga oshiriladi. Akkumulyator tarkibini surish amali akkumulyator tarkibini nusxalovchi suruvchida amalga oshiriladi, bunda akkumulyator tarkibi o'zgarmaydi. Xotira yacheykalarida suruvchining katta MSP yoki kichik LSP so'zi formatlarining o'zgarishi qoidalariga amal qilgan holda saqlanadi. Keyin suruvchilar belgini kengaytirish bitini bartaraf etish uchun qo'llaniladi va u registrda avtomatik ravishda generatsiyalanadi, registr ma'lumotlarni ko'paytirish natijasini butun hisoblash

arifmetikasida saqlaydi. Keyin surish amalining bajarilishiga quyidagilar ko'rsatma bo'la oladi:

– holat registrida masshtablash bitlarining holati, bitlar kombinatsiyasi surishning yo'nalishi va kattaligini aniqlaydi. Quyidagi rejimlar o'rnatilishi mumkin: masshtablashning yo'qligi, pastga masshtablash (1 bit chapga surish), yuqoriga masshtablash (1 bit o'ngga surish).

– maxsus buyruq;

– akkumulyator tarkibini ma'lumotlar xotirasida saqlash buyrug'ida surishga bevosita ko'rsatish.

Cheklovchilar. Cheklovchilar akkumulyatorida to'lib ketish bo'lganda to'lib toshish arifmetikasini amalga oshiruvchi qurilmaning shartli nomi..

Akkumulyatorida to'lib ketish. QVli jarayonlarda qo'shish, ayirish, MAS-amallar, akkumulyator tarkibini chapga surish amallari bajarilayotganda to'lib ketish ro'y berishi mumkin. Uning ikki xil turi mavjud: akkumulyatorning to'lib ketishi va jo'natishlar vaqtida to'lib ketish.

Akkumulyatorning to'lib ketishi arifmetik amal natijasi akkumulyatorida taqdim etilishi mumkin emasligini anglatadi, chunki u sonlarni akkumulyator so'zi formatida taqdim etish diapazoni chegaralaridan chiqib ketadi. Akkumulyatorning to'lib ketishi holat registrida to'lib ketish bayrog'ini o'rnatish bilan kuzatiladi. Akkumulyatorning to'lib ketish oldini boshlang'ich ma'lumotlar va arifmetik amallar natijalarini masshtablash yordamida amalga oshiriladi. Bunday vaziyatda modul bo'yicha kichik qiymatlarni masshtablashga alohida e'tiborli bo'lish kerak, chunki masshtablash natijasida ushbu qiymatlar minimal kattalikdan kichik bo'lishi mumkin.

Jo'natishlar vaqtida to'lib ketish quyidagi shartlarni bir vaqtda bajarishda paydo bo'ladi:

– akkumulyator so'zi "kengaytirilgan so'z" formatiga ega bo'lsa;

– akkumulyator tarkibi aralash son bo'lsa;

– akkumulyatorning bu tarkibi ma'lumotlar xotirasida saqlansa.

Jo'natishlar vaqtida to'lib ketish katta bitga akkumulyator so'zi qismini o'tkazishda ro'y beradi. Bu natija turining o'zgarishi - kasr sondan aralash songa

o'tish belgisidir. Akkumulyatorlarda natija turi holat registrida tegishli bit (bayroq) holati bilan aks ettiriladi. Bunday bit kengayish biti (Motorola firmasi protsessorlarida), jo'natishlar vaqtida to'lib toshish biti (Texas Instruments firmasi protsessorlarida) deb atalishi mumkin. Jo'natishlar vaqtida to'lib ketishni masshtablash yordamida bartaraf etish mumkin. O'ng tarafga surish amalini bajarayotib, aralash son va kasr songa aylantiriladi va ma'lumotlar xotirasida saqlanadi.

Natijalarni yaxlitlash. Xatto akkumulyatorlarda jo'natishlar vaqtida to'lib ketish bo'lmasa ham ma'lumotlar xotirasida saqlash akkumulyatorning kichik LSP so'zining "akkumulyator so'zi" formatining protsessor so'zi formatiga o'zgarishida qirqish (qisqartirish) natijasida aniqlikning yo'qotilishiga olib keladi. Bu natijaviy ma'lumotlarda (masalan, chiquvchi signalda) buzilishi paydo bo'lishini anglatadi, bu ko'pincha natijaning o'zgarishi deb ataladi. Natijani ma'lumotlar xotirasida saqlash paytida yaxlitlash protsedurasi bunday o'zgarishning oldini oladi. Ayrim protsessorlarda yaxlitlash natijasi xotirani saqlash paytida avtomatik ravishda ro'y beradi. Boshqa protsessorlarda yaxlitlash maxsus buyruq yordamida bajariladi.

Suruluvchi vergulli ma'lumotlar ustida amallar. SVli protsessorlarda son ma'lumotlarning ikki turi - SVli va QVli turi qo'llaniladi. QVli ma'lumotlar ustida bajariladigan amallarni ko'rib chiqamiz. Ko'paytirgichlar QVli ma'lumotlarning natijasi aniq beriladigan ko'paytirishdan farqli o'laroq, SVli ma'lumotlarni ko'paytirish amali natija aniqligining yo'qotilishiga olib keladi. Buning sababi, ko'paytirish natijasi taqdim etiladigan "kengaytirilgan so'z" formatida mantissa uzunligiga $(2n-1)$ bit emas, kamroq bit ajratilgan. Shunga qaramasdan, ta'minlanadigan aniqlik SRIB ning ko'pchilik algoritmlari realizatsiyasi uchun yetarli. Aks holda ma'lumotni ikkilik aniqlikda ishlash imkoniyati mavjud.

Arifmetik-mantiqiy qurilmalar. SVli protsessorlarda AMQ arxitekturasida QVli protsessorlardan ancha murakkab. AMQda SVli ma'lumotlar ustida barcha arifmetik amallar bajariladi (ko'paytirishdan tashqari), SVli shaklda taqdim etilgan ma'lumotlarni QVliga va aksincha o'zgartirish, shuningdek ayrim maxsus amal (teskari kattalikni baholash, kvadrat o'zakning o'rtacha qiymatini baholash, ayirishli

qo'shishlar) lari bajariladi. SVli protsessorlar AMQsi mantiqiy amallar va SVli ma'lumotlar ustida bit-manipulyatsiya amallarining bajarilishini qo'llamaydi. Ushbu amallar faqat QVli ma'lumotlar bilan bajarilishi mumkin.

Suruvchilar. SVli protsessorlar arxitekturasida SVli ma'lumotlarga ishlov berish uchun suruvchilar ko'zda tutilgan. Ular natija mantissasini normallashtirilgan ko'rinishda taqdim etish uchun o'ngga/chapga surishni amalga oshiradi. Bunday suruvchilar ishi foydalanuvchidan yashirilgan. Suriluvchi vergulli ma'lumotlarni yaxlitlash imkonini beradi. SVli protsessorlarda arifmetik amallar natijalari "kengaytirilgan so'z" yoki "so'z" formatida taqdim etish uchun avtomatik ravishda yaxlitlanadi. Standartga binoan yaxlitlashning quyidagi to'rtta rejimi foydalaniladi:

- eng yaqin juft songacha;
- nol yo'nalish bo'yicha;
- " $-\infty$ " yo'nalishi bo'yicha;
- " $+\infty$ " yo'nalishi bo'yicha.

Yaxlitlash rejimi. Yaxlitlash rejimi bitlar holati bilan belgilanadi, ularning o'rnatilish o'z navbatida, foydalanuvchidan qat'iy nazar muayyan buyruqning bajarilish qoidalari bilan amalga oshiriladi. Har bir rejimda SVli sonlarni yaxlitlashni ko'rib chiqamiz, yaxlitlanadigan son berilgan formatda taqdim etish diapazoni chegarasidan chiqib ketmasligini ko'rib chiqamiz, aks holda to'lib ketish ro'y berishi mumkin. Rejimlarning barchasida mantissani yaxlitlash amalga oshiriladi. Har bir rejimda yaxlitlash mexanizmini tushunish uchun uni ikkilik emas o'nlik mantissani verguldan so'ng bitta qiymatga ega o'ntalik songacha oddiy yaxlitlashda ko'rsatish kifoya. Eng yaqin karrali songacha yaxlitlash rejimida mantissa QVli ma'lumotlarni yaxlitlash, aynan o'ntalik 1.65 va 1.75 mantissalar 1.6 va 1.9 gacha avtomatik ravishda yaxlitlanadi.

Nol yo'nalishda yaxlitlash rejimi mantissani qisqartirishga o'xshaydi. 1.65, 1.75, -1.65 mantissalari 1.6, 1.7, -1.6 gacha qisqartirilib yaxlitlangan qiymatlar ushbu sonlar uchun nolga yaqin.

$-\infty$ yo'nalishida yaxlitlash rejimida musbat sonlar mantissalari kesiladi, manfiy sonlarniki eng yaqin songacha yaxlitlanadi. 1.6 gacha yaxlitlanadi, -1.65 mantissa esa

-1.7 gacha yaxlitlanadi. Yaxlitlangan qiymatlar ushbu sonlar uchun $-\infty$ ga eng yaqin bo'ladi.

$+\infty$ yo'nalishda yaxlitlash rejimida aksincha manfiy sonlar mantissalari kesiladi, musbat sonlarniki esa eng yaqin songacha yaxlitlanadi. Masalan, 1.65 mantissa 1.7 gacha yaxlitlanadi, -1.65 mantissa esa -1.6 gacha yaxlitlanadi. Yaxlitlangan qiymatlar ushbu sonlar uchun $+\infty$ ga eng yaqin hisoblanadi.

Suruluvchi vergulli ma'lumotlarga ishlov berishda alohida holatlar. SVli protsessorlarga amallarning turli notrevial natijalarini ishlash standart bilan reglamentlanadi va avtomatik ravishda amalga oshiriladi. Standartga ko'ra SVli protsessorlar quyidagi 5 vaziyatni tanishi kerak:

- yo'l qo'yilmaydigan amal;
- nolga bo'lish;
- to'lib ketish;
- qiymatga egalikning yo'qolishi.

Istalgan alohida holatlarga o'tish holat registrida tegishli bitlarni o'rnatish bilan qayd etiladi. Har bir istisnoni qisqacha ta'riflab o'tamiz.

Yo'l qo'yilmaydigan amal, amalni u yoki bu sababga ko'ra bajarib bo'lmagan vaqtda qayd etiladi. Agar arifmetik amal uning uchun mumkin bo'lmagan ma'lumotlar ustida bajarilsa (masalan, cheksizlik) uni boshqarib bo'lmaydi. Bundan tashqari qo'llab-quvvatlanmaydigan formatli barcha arifmetik amallar yo'l qo'yib bo'lmaydigan hisoblanadi.

Nolga bo'lish alohida holat bo'linuvchi nol bo'lmagan son, bo'luvchi nol bo'lganda ro'y beradi. Nolga bo'lish yo'l qo'yilmaydigan amal natijasi tegishli belgili cheksizlik bo'ladi. Natija qiymati uni taqdim etish diapazoni chegarasidan chiqib ketsa to'lib ketish qayd etiladi. SVli ma'lumotlarni taqdim etish diapazoni QVli ma'lumotlarnikiga qaraganda ancha keng ekanligiga qaramay, ayrim hollarda "kengaytirilgan so'z" formatida taqdim etiladigan natijalarning to'lib ketishi ro'y berishi mumkin. Biroq "so'z" formatli registrlarda "kengaytirilgan so'z" formatida taqdim etilgan natijalarni saqlashda jo'natish vaqtida to'lib ketish holati ehtimoli

mavjud. Ikkala holatda ham to'lib ketishli tarkib avtomatik ravishda standart reglamentlaydigan qiymat bilan almashtiriladi.

Natijaning qiymatga egaligining yo'qolish bir vaqtning o'zida ikkita voqea sodir bo'layotganda ro'y berishi mumkin:

- natija cheksiz kichik bo'ladi va normallashtirilmagan son bilan taqdim etiladi;
- natija, ya'ni normallashtirilmagan sonni berilgan formatda aniq taqdim etishning iloji yo'q.

O'zaro bog'liq bu voqealarning paydo bo'lishi bit holati registrida qiymatga egaligining yo'qolishi bitlarini o'rnatish bilan qayd etiladi.

Nazorat uchun savollar

1. Xotirani tashkil etishdagi parallelizm deb nimaga aytiladi?
2. Garvard arxitekturasi haqida ma'lumot bering.
3. Garvard arxitekturasi asosida qurilgan signal protsessorlariga misollar keltiring.
4. Protsessor shinasini tashkil etishdagi parallelizm deb nimaga aytiladi?
5. TMS 320S55x protsessor yadrosi nechta funksional modulga ega?
6. TMS 320S55x protsessor yadrosi qanday arxitektura bo'yicha qurilgan?
7. Ma'lumotlarga ishlov berish buyruqlari darajasidagi parallelizmni yoritib bering.

IX BOB. SIGNALLARNI QAYTA ISHLASH TIZIMLARINING DASTURIY TA'MINOTI

9.1. Amaliy va tizimli dasturlar

Signallarni qayta ishlash tizimlarining dasturiy ta'minoti asosida signal parametrlarini qabul qilish, o'zgartirish, saqlash va aniqlash bo'yicha individual protseduralarni anglatmaydi, balki sensordan signal protsessorigacha bo'lgan butun ishlov berish yo'lining tizimli va amaliy dasturlarini anglatadi [4, 5, 6, 19].

Amaliy dasturlar quyidagi vazifalarni hal qiladi:

- koordinatalarni geometrik o'zgartirish (robototexnika, harakatni boshqarish, yer yuzi tasvirlarini qayta ishlash);

- obyektlar yoki jarayonlarning joriy parametrlarini hisoblash (tezlik, masofa, maydon, og'irlik, kuch, hajm);

- foydali komponentalarni aniqlash va ajratib olish muammolarini hal qilish uchun signallarning (energiya, quvvat) energiya xususiyatlarini aniqlash;

- turli xil asosiy tizimlarda spektral komponentalarni hisoblash (Fure tahlili);

- empirik bog'liqliklarni filtrlash, silliqlash, qayta ishlash, timsollarni tanib olish, nutqni qayta ishlash, audio va videoga ishlov berish vazifalarida tarkibiy qismlarni tanlash;

- ortiqcha ishlarni qisqartirish, trafikni optimallashtirish, uzatish paytida resurslarni tejash vazifalarida signallarni siqish, interpolatsiya, detsimatsiya qilish.

Amaliy dasturlar sonli usullarga asoslangan: algebraik tenglamalarni yechish, qatorlarni yoyish, vektorlar va matritsalarini ko'paytirish, elementar funksiyalarni hisoblash, ketma-ketlikni analitik tasvirlash kabilardir.

Ishlov berish protseduralariga qo'yiladigan asosiy talablar:

- dastur va ma'lumotlar xotirasining minimal hajmi;

- minimal qiyin operatsiyalar (ko'paytirish, darajaga ko'tarish, ildiz chiqarish);

- ishlov berishning minimal xatoligi;

- amalga oshirishning yuqori tezkorligi.

Tizimli dasturlar:

- operatsion tizimlar (UNIX, Windows NT, QNX);
- xizmat dasturlari (utilita dasturlari, qobiqlar, interfeys dasturlari),
- instrumental vositalar (muharrirlar, emuliyator dasturlari, tarjimonlar).

9.2. Operatsion tizimlarning xususiyatlari

Signal protsessorlar bazasida signallarni raqamli ishlash tizimining ishlashi asosida yotgan muhim dasturiy komponent-operatsion tizim bo'lib, u bir vaqtning o'zida bir necha turli dasturlarni qo'shish va umumiy vazifani yechish uchun ular o'rtasida o'zaro harakatni ta'minlash imkonini beradi. SRIB va jarayonlar apparat-dasturiy kompleks resurslarini boshqarishni ta'minlovchi dasturlar kompleksi operatsion tizim deyiladi. SRIB tizimining istalgan apparat yoki dasturiy komponenti resurs deyiladi va ularga imkoniyat taqdim etadi.

Protsessorli vaqt, operativ xotira va periferiyali qurilmalar asosiy resurslar hisoblanadi. Resurslarni boshqarish quyidagi vazifalarning bajarilishiga olib keladi: resurslarga kirishni soddalashtirish, jarayonlar o'rtasida resurslarni taqsimlash. Resurslarni taqsimlash funksiyasi OT hal etadigan eng muhim vazifalardan biri hisoblanadi, u faqat bir vaqtning o'zida bir necha dasturlar (jarayonlar)ning bajarilishini ta'minlovchi OTlarga xos. Yuqorida aytib o'tilganidek, dasturda belgilangan amallar ketma-ketligi jarayon deyiladi. Jarayon ishining resurslar ajratiladigan minimal birligi hisoblanadi.

Hozirgi vaqtda OTlarning har xil turlari mavjud bo'lib, ular quyidagi belgilar bo'yicha tasniflanadi:

- tizim tomondan bir vaqtning o'zida xizmat ko'rsatiladigan foydalanuvchilar soni;
- OT boshqaruvi ostida bir vaqtning o'zida bajariladigan jarayonlar soni;
- tizimga foydalanuvchining kirish turi;
- apparat-dasturli kompleks turi.

Ushbu kitobda qo'llanish spetsifikatsiya hisobga olinib, faqat real OTlari ko'rib chiqiladi, bunda o'rnatilgan OTlarga e'tibor qaratiladi. O'rnatilgan tizim deb real vaqt tizimiga to'liq o'rnatilgan, aviatsiyada, tibbiyotda, sanoatda, mudofaada muayyan amaliy vazifalarni yechuvchi maxsus apparat-dasturiy yadro tushuniladi. O'rnatilgan tizimga asosiy talab uning kompaktligi, uning operatsion tizimiga talab esa operativ xotiraning nisbatan katta bo'lmagan resurslarda ishlash imkoniyatidir.

Ko'pchilik real vaqt operatsion tizimlarining (RV OT) yana bir o'ziga xos xususiyati turli protsessorli arxitekturada apparat vositalarda ishlash imkoniyati borligidir. Real vaqt tizimlari universal protsessor arxitekturalar (standart mikroprotsessorlar, vositalar) bazasida, shuningdek signal protsessorlar bazasida qurilish mumkin.

RV OTni ham universal protsessorli platformalar (Pentium, Power PC), ham TMS, DSP, ADSP tipidagi SRIB protsessorlar arxitekturalari uchun ko'rib chiqish kerak. Real vaqt tizimi - ishlash to'g'riligi nafaqat hisoblashlarning mantiqiy korrektiligi, balki ushbu hisoblashlar amalga oshiriladigan vaqtga bog'liq bo'lgan tizimdir. Bunday tizimda ro'y berayotgan voqealar uchun ushbu voqealar ro'y berayotgan vaqt va ularning mantiqiy korrektiligi muhim ahamiyatga ega.

Agar tizimning tez amalga oshishi fizik jarayonlarning nazorat yoki boshqaruv obyektlarda o'tishi tezligiga adekvat bo'lsa, tizim real vaqtda ishlaydi. Boshqaruv tizimi ma'lumotlarni yig'ish, ularni berilgan algoritmlar bo'yicha ishlasa boshqaruv ta'sirini berishni shunday vaqt bo'lagida bajarish kerakki, bu vaqtda qo'yilgan vazifalar muvaffaqiyatli bajarilishi kerak.

Real vaqt tizimlariga asosiy talablar:

- bir necha vazifalarni parallel bajarish imkoniyati;
- oldindan bilish;
- voqeaga javob berishning maksimal (o'rtacha emas) vaqti;
- uzoq vaqt davomida to'xtovsiz ishlash imkoniyati.

Universal turdagi RV OT xususiyatlarini ko'rib chiqamiz.

RV OT bashorat qilsa bo'ladigan bo'lishi lozim, ya'ni u yoki bu amalning oldindan ma'lum bo'lishi kerak bo'lgan maksimal bajarilish vaqti ilovaning talablariga mos kelishi kerak.

RV OT amaliy vazifani hal qilishning prioritet tamoyili qo'llanilgan bir necha yo'llariga, iplariga ega bo'lishi kerak. Operatsion tizim vazifasini rejalashtiruvchi istalgan yo'lni uzib qo'yib, resursni zarurroq bo'lgan yo'lga berish kerak.

OT (va apparatura) uzilishlarni ularga ishlov darajasida ta'minlash kerak.

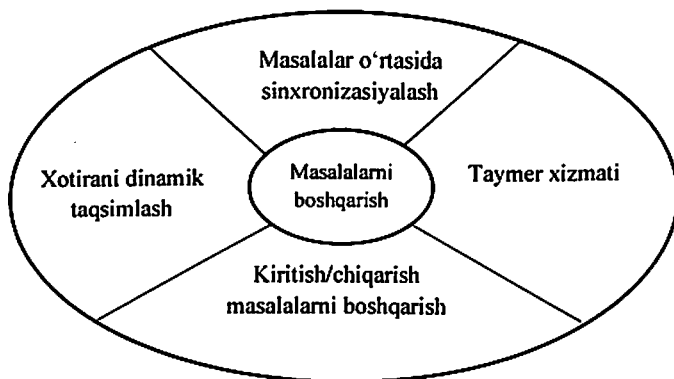
Prioritet tushunchalari mavjud bo'lishi kerak. Muammo - qaysi vazifaga resurs talab qilinayotganligini aniqlashda. Buni amalga oshirish uchun OT har bir bajarilayotgan ishlarni tugatish uchun kerak bo'ladigan vaqtni bilishi kerak. Ushbu jarayonni boshqarishni soddalashtirish uchun bajarilish vaqti oldindan ma'lum bo'lgan vazifalar prioriteti darajasi tushunchasi kiritiladi. Prioritetlar o'z darajalariga ega va tizimga real vaqtda umumiy dasturni bajarish mexanizmi sifatida oldindan kiritiladi. Prioritetlar darajasi foydalanuvchi tomonidan tizimga yuklatilgan vazifalar va realizatsiyalanayotgan ishlov berish jarayondan kelib chiqib belgilanadi. Uzilish prioriteti shuni anglatadiki, muayyan prioritetga ega, yo'lga qo'yilishga tayyor jarayon prioriteti pastroq jarayonga nisbatan navbatda oldinroq turish imkoniyatiga ega.

Asosida prioritet berish tamoyili yotgan dispetcherlarni va uzilishga prioritetli yadroning mavjudligi amaliy dastur ishlab chiqaruvchisiga tizimni butunlay nazorat qilish imkonini beradi. Agar balandroq prioritetli vazifa kelsa, tizim past prioritetli vazifani bajarishdan to'xtab, ya'ni kelgan so'rovga javob beradi. Yuqorida bayon etilgan xususiyatlarning birligi real vaqtda ijro etishning qudratli va samarali muhitini yaratadi.

9.3. Ijro va ishlab chiqish muhiti

Ijro muhiti. Ijro muhiti xususiyatlaridan tashqari real vaqt OT yadrosi tomondan taqdim etilayotgan servisni ham ko'rib chiqish kerak. Istalgan muhitning real vaqtda ijro etilish asosi - bu yadro yoki dispetcher [20, 22].

Yadro SPning apparat vositalari: markaziy protsessor, kiritish/chiqarish xotirasi va qurilmalarini boshqaradi; amaliy xarakterga ega barcha tizimlar va dasturiy vositalarni nazorat qiladi. Real vaqt tizimida dispatcher SPning apparat vositalari va amaliy dasturiy ta'minot orasidagi joyni egallaydi. U real vaqt ilovalari ishi uchun zarur bo'lgan maxsus servisni ta'minlaydi. Yadro taqdim etadigan servis amaliy dasturlarga tizimning xotirasi yoki kiritish/chiqarish qurilmalari kabi resurslaridan foydalanish imkonini beradi. Real vaqt operatsion tizimi yadrosi (RTOS-Real Time Operating System) besh turdagi servisni ta'minlashi mumkin (9.1-rasm).



9.1-rasm. Real vaqt operatsion tizimlari yadrosidagi asosiy xizmatlar

Yadro xizmatlarining eng umumiy bo'lgan kategoriyasi – bu vazifalarni boshqarish kategoriyasidir. Ushbu guruh amaliy dasturiy ta'minot (DT) ishlab chiqaruvchilariga dasturiy mahsulotlarni har bir qismi alohida mavzu, alohida maqsad, real bajarilishi vaqtida o'z shaxsiy cheklanmalariga ega mustaqil qismlar sifatida loyihalashtirish imkonini beradi. DTning bunday alohida qismi vazifa deb ataladi. Ushbu kategoriya xizmatlari vazifalarni yo'lga qo'yish va ularga bajarilish prioritetini berish imkonini beradi. Ushbu kategoriyada RTOSning asosiy xizmati - bu tizimning ishlash vaqtida vazifalarni rejalashtirish xizmatidir. Ushbu xizmat vazifalarni yo'lga qo'yish va amaliy dasturiy ta'minot vazifalarining bajarilishini nazorat qiladi.

Xizmatlarning ikkinchi kategoriyasi – bu vazifalar o‘rtasida o‘zaro hamkorlik va sinxronizatsiya kategoriyasidir. Ushbu xizmat axborotni vazifalar o‘rtasida uning burilish xavfini bartaraf qilib uzatishni tashkil etadi. Ular shuningdek, vazifalarni o‘zaro samaraliroq hamkorligi uchun koordinatsiyalash imkonini beradi. Bu xizmatlar yordamisiz RVOT vazifalar buzilgan axborotni uzatishlari yoki bir-birlarining ishiga xalaqit berishlari mumkin. SRIB ko‘p tizimlarga vaqt bo‘yicha yuqori talablarni qo‘yganligi sababli ko‘pchilik RVOT yadrolari taym-aut, vazifalar bajarilishining tutilishi kabi ayrim asosiy taymer xizmatlarini qo‘llash imkonini beradi.

RV OT yadrolarining ko‘pchiligi (hammasi emas) xotirani dinamik taqsimlash xizmatlari bilan ishlaydi. Ushbu xizmat kategoriyasi OXQ xotirasi blokidan amaliy DTda vaqtincha qo‘llash uchun “foydalanib turish” imkonini beradi. Ko‘pincha xotiraning ushbu bloklari vazifadan vazifaga o‘tadi, shuning yordamida ular orasida katta hajmli ma’lumotlar uzatiladi. Ko‘pchilik tizimlarda xotiraning umumiy bo‘limlariga kirish ko‘zda tutilgan.

Xotira hajmi bo‘yicha kuchli chegaralangan muhit uchun mo‘ljallangan ayrim juda kichik RTOS-yadrolarda xotirani dinamik taqsimlash xizmati yo‘q.

Kiritish/chiqarish vazifalarini boshqarish. Real vaqtdagi har bir amaliy dastur muayyan turdagi tashqi qurilma bilan bog‘liq. Yadro amaliy dasturlarga ushbu qurilmalardan o‘qish va ularga yozish imkonini beruvchi kiritish/chiqarish xizmatlarini ta‘minlashi kerak. Real vaqt ilovalari uchun spetsifik bo‘lgan tashqi qurilmaning borligi odatiy hol. Yadro qurilmalar drayveri bilan ishlashni yengillashtiruvchi servisni taqdim etishi kerak.

Taymerlar xizmati so‘rovlarni ishlashning barcha jarayonlarini va vazifalar o‘rtasida ma’lumotlarni uzatishni vaqt bo‘yicha sinxronlashtirishni ta‘minlaydi.

Ishlab chiqish muhiti. Real vaqtning istalgan tizimi loyihasining bahosi dasturiy ta‘minot narxi bilan belgilanadi. Shuning uchun dasturiy ishlab chiqish muhitiga tobora ko‘p e‘tibor qaratilmoqda. Bu ayniqsa ishlash jarayonida xatolarni bartaraf qilish qiyin, ayrim paytlar esa buning iloji yo‘q bo‘lgan SRIB tizimlari uchun juda dolzarb. Amaliy dasturlarni ishlab chiqish, sozlash va qo‘llab-quvvatlashning

mukammal usul va vositalari uni ishlab chiquvchilarga sifatliroq dasturiy mahsulot yaratish imkonini beradi [21, 22].

Real vaqtning amaliy vazifalari ushbu o'quv qo'llanmalarining birinchi qismida ko'rib chiqilgan usul va modellar asosida tuziladi. Amaliy dasturlarni ishlab chiqish uchun muayyan vositalar: redaktorlar, kompilyatorlar, komponovkachilar va sozlagichlar kerak. Simvulli sozlagichlar ishlab chiquvchiga ko'pincha uzoqdagi terminaldan ijro etilayotgan tizimni yo'lga qo'yish imkonini beradi. Simvulli sozlagichdan foydalanib ishlab chiquvchi o'zgaruvchilar nomi va belgilarga murojaat qilish, so'nggi kod to'g'risida axborotga ega bo'lishi mumkin. Xotira kartasini yuritish va tahlil qilayotgan o'zgaruvchilarning joylashgan o'rnini topishiga ehtiyoj qolmaydi. Sozlagichga xos xususiyatlar o'zgaruvchilarni tadqiq etish, ularning qiymatini tekshirish, dasturni satrma-satr o'tish, to'xtash nuqtalarini qo'yib chiqish imkonini beradi. Sozlagichlar xatolarga katta barqarorlik bilan tizim holatini ko'rsatadi, ya'ni dasturlarning qaysi biri ishga tushdi, ular hozir qaysi holatda (bajarish, kutish), muayyan dastur haqida axborot beradilar va joriy bajarish tizimiga kiritilgan dasturning yangi versiyasini dinamik tarzda yaratadilar. Nafaqat yuqorida aytib o'tilgan umumiy vositalar, balki tizimni tahlil qilish vositalari, talablarni va trassirovka vositalarini tahlil qilish, shuningdek modellashtirish vositalari kabi mukammal vositalar zarur bo'ladi. Ishlab chiquvchilarga ishlab chiqishning butun sikli (tahlil, loyihalashtirish, kodlashtirish, testlash, hujjatlashtirish va vazifani qo'llab-quvvatlash)ni qamrab oluvchi integrallashtirilgan dasturiy vositalarga ega bo'lish foydali.

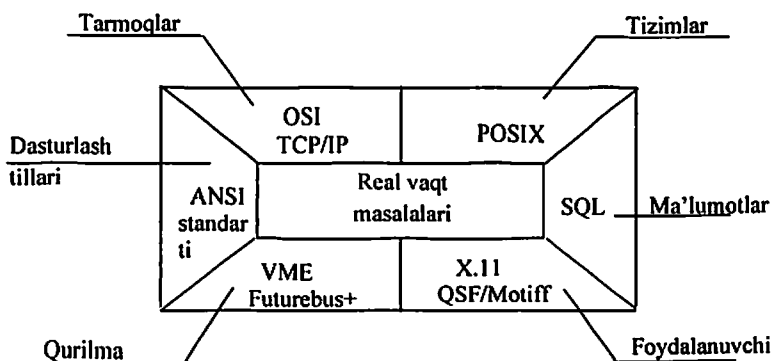
Amaliy dasturlarni ishlab chiquvchi uchun o'zi ishlayotgan tizim va o'zi foydalanayotgan standartlarning ochiqligi o'ta muhim. Ochiq tizim ishlab chiquvchining erkinligini anglatadi.

Standartlar amaliy dasturlarni o'tkazishni va boshqa tizimlar bilan moslashishni osonlashtiradi. Bu borada operatsion tizimlarda POSIX mashhur standarti mavjud. U turli platformalar o'rtasida ilovalarning o'tkazilishini ta'minlaydi. Ushbu standartning muhim qismlaridan biri real vaqt ilovalari mobilligini ta'minlashga bag'ishlangan. Buning uchun zarur dasturiy interfeyslar

(jarayonlarni dispetcherlash va sinxronlashtirish, kiritish/chiqarishni ta'minlash) va jarayonlarni qo'llab-quvvatlash, taymautlar, uzilishlarni boshqarish standartlashtiriladi. Bu standart tobora keng tarqalmoqda va operatsion tizim yashovchanligi kafolatini oshirmoqda.

9.4. Signal protsessorlari uchun operatsion tizimlar

9.2-rasmda real vaqt amaliy vazifalarini yaratish va qo'llash uchun SRIB tizimlarida zarur bo'lgan interfeyslari va standartlari keltirilgan. Tarmoq ilovalari uchun OSI TC / IP ma'lum standarti kiritiladi. Ma'lumotlarga kirish uchun SQL standarti qo'llaniladi, tashqi qurilmalar uchun VME va Futurebus tizimli shinalar standartlari tavsiya qilinadi. X.11 (ilovalar va grafikani aks etish tizimi o'rtasida o'zaro aloqa), QSF (akustik axborot), Motiff (interfaol o'zaro aloqa kutubxonasi) foydalanuvchi bilan interfeysni ta'minlash imkonini beradi [18].



9.2-rasm. Real vaqt ilovalari uchun interfeyslar va standartlar

Bugungi kunda standart mikroproprocessorli arxitekturalar bilan ishlash uchun ko'plab real vaqt operatsion tizimlari mavjud. Bulardan eng ko'p qo'llanadiganlarini ko'rib chiqamiz.

QNX operatsion tizimi Kanadaning QNX Software System Ltd (1981) kompaniyasi ishlanmasi hisoblanadi. QNX operatsion tizimi 16/32-bitli operatsion tizimning gibridi bo'lib, foydalanuvchi undan o'z xohishiga qarab foydalanadi.

Ko'pincha u real vaqt masshtabida ishlayotgan tizimni yaratish uchun qo'llaniladi. Tizimning to'liq installyatsiyasi, tarmoq vositalari uchun kerak bo'lgan vaqt 10-15 minutni tashkil etadi. Tizimning resurslarga unchalik talabchan emasligi tizimning Watcom C/C++ (QNX uchun asosiy kompilyator) kompilyatori ko'rinishidagi zaruriy va yetarli ishlab chiqish muhiti bilan 10 Mb hajmiga sig'ish bilan namoyish qilinadi.

QNX-mikroyadro va ma'lumotlarni almashish tamoyili asosida qurilgan birinchi tijoriy OT. Tizim turli darajasidagi (menejerlar va drayverlar) erkin jarayonlar (biroq ma'lumotlarni almashish orqali o'zaro aloqada bo'lgan) birligi realizatsiya qilingan bo'lib, bu darajalarning har biri servisning muayyan turini realizatsiya qiladi. Bu esa quyidagi bir necha muhim afzalliklarga erishish imkonini berdi:

- uning real vaqt vazifalariga qo'llanishini bildiruvchi bashorat qilsa bo'lishligi, UNIX ning hech bir versiyasi bunday sifatga erisha olmaydi, chunki yadro kodi juda katta. UNIX operatsion tizimida uzilishga ishlov beruvchida istalgan tizimli chaqirish oldindan aytib bo'lmaydigan tutilishiga olib keladi.

- resurslardan optimal foydalanish tufayli erishiladigan masshtablanishlik va samaradorlik.

- OT katalogida qo'yilgan vazifalar uchun zarur, kerakli drayverlarga tegishli fayllar bor. Drayverlar va menejerlarni dinamik tarzda ishga tushirish va buyruq satridan o'chirish mumkin. Shuningdek, kerakli funksiyalarni ta'minlash uchun real zarur bo'lgan modullarni sotib olish imkoniyati mavjud;

- bir vaqtning o'zida kengayish va ishonchlilik, chunki yozilgan drayverni tizimning nostabilligini chaqirish xavfi ostida yadroga kompilyatsiya qilish shart emas.

Jarayonlar o'rtasida o'zaro aloqaning asosiy vositasi sifatida tizim xabarlarini uzatishdan foydalanadi. Shu munosabat bilan 32 bitli muhitda 32 va 16-bitli kodga ega jarayonlar o'zaro aloqasi amalga oshishi mumkin, bunda ma'lumotlar istalgan jarayonlar o'rtasida uzatiladi. Jarayonlar tizimning bitta yoki turli kompyuterlarda joylashganligi ahamiyat kasb etmaydi. Axborotni uzatish uchun paketlar qo'llaniladi. Tarmoq administratori ushbu paketlarni topib, mikroyadroga jo'natadi, u o'z

navbatida ularni lokal xabarlar shinasiga jo'natadi. QNX nafaqat QNX-jarayonlar xabarlar paketini topa oladi. Shuningdek, tarmoq operatoriga TSP/IP kabi paketli protokollarni uzatish uchun murojaat qilish oson. QNXda ma'lumotlarga tarmoqli ishlov berish shunchalik qulayki, Ethernet, Token Ring yoki ketma-ket port (unga modem ham ulanishi mumkin) orqali bog'langan kompyuterlarning istalgan Intel turli to'plamini bitta tarmoqqa ulash mumkin. QNX uchun ko'plab foydalanuvchi dasturlari ishlab chiqilgan bo'lib, ular ishlab chiqaruvchanligi bo'yicha boshqa operatsion tizimlar boshqaruvi ostidagi analoglardan afzalroq [25, 26, 27].

QNX operatsion tizimining qo'llanilishiga yaqqol misol bo'la oladi:

- yirik mintaqalarda kredit kartochkalari bilan ishlash;
- yo'l harakatini boshqarish;
- telekommunikatsion tizimlar kommutatorlarini boshqarish;
- texnologik jarayonlarni boshqarish.

Bozorda QNXning asosiy raqobatchilari VxWorks, LynxOS bo'lib, ular QNX singari Motorola 680, Intel 486,960, Power PC, HPPA-RISC, DEC Alpha standart mikroprotsessorli arxitekturani qo'llab-quvvatlaydilar.

Signal protsessorlarning ilk modellari hozirgi tasavvurdagi operatsion tizimlarga ega bo'lmagan operativ xotiraning cheklangan resurslari va protsessorlar arxitekturasining tor spetsializatsiyasi tufayli to'laqonli RVOT ni yaratish imkoni bo'lmagan. SP funksional imkoniyati kengayishi va foydalanuvchilarga ko'rsatiladigan xizmatlar spektrining kattalashishi bilan bitta boshqaruvchi dasturli mikro-dastur to'plamidan to'laqonli operatsion tizimni yaratishga o'tish zarurati tug'ildi. VLIW texnologiyasi bo'yicha kutilgan TMS 320S6000 signal protsessori uchun protsessor yadrosi 8ta parallel hisoblash modulidan tuzilgan. Protsessor real vaqt SRIB ko'pprotsessorli tizimlarni (radiolokatsiya, bazaviy stansiyalarning telekommunikatsion qurilmalari) qurish uchun mo'ljallangan. Dasturiy qo'llab-quvvatlash ishlab chiquvchining integrallashtirilgan muhiti (assembler, kompilyator, sozlagich, redaktor)ni va DSP/B105 real vaqt ko'p funksiyali operatsion tizimni o'z ichiga oladi. Bu RVOTdan TMS seriyasining barcha SP platformalari foydalanadi.

Yaqinda Rossiyada ishlab chiqilgan RVOT Micro DSP-RTOS ko'p vazifali ilovalar (jarayonlar) bilan ishlashga mo'ljallangan. Bu OT protsessor vaqtini vazifalar o'rtasida taqsimlaydi va ular orasida o'tishni ta'minlaydi, operatsion tizim yadrosining funksiyalar to'plami: ichki apparat tuzilmalar initsializatsiyasi, OTni ishga tushirish, kontekstni saqlash va qayta tiklash mexanizmi, vazifalarni boshqarish (vazifani qo'shish, o'chirish, uni blokirovkalash, blokirovka rejimidan chiqarish, vazifaga berilgan ma'lumotlarni qabul qilish, vazifa prioritetini o'zgartirish)ga ega. Vazifalarni sinxronlashtirish va ularning o'zaro aloqasi uchun maxsus signallar, semaforlar, xabarlar va xabarlar navbati nazarda tutilgan. Bundan tashqari, uzilishlarning tegishli bayroqlar va uzilishdan qaytish funksiyasi rivojlangan tizimi mavjud.

Shuningdek, Linux operatsion tizimining signal protsessorlarda ishlashga mo'ljallangan bir necha variantini yaratilganligini qayd etish lozim. O'zida SP va hisoblash yadrosini birlashtirgan integrallashtirilgan protsessorlarning chiqishi bilan ularning asosida to'laqonli operatsion tizimlardan foydalanish imkoniyati paydo bo'ldi. Masalan, Rossiyada ishlab chiqarilgan "Multipor" signal RISC-yadrosida 2.6.19 versiyasi Linux operatsion tizimlari va 6.3 versiyasi QNX real vaqt OTlari yadrosi portlashtirilgan [26, 27].

9.5. Operatsion tizim arxitekturalari

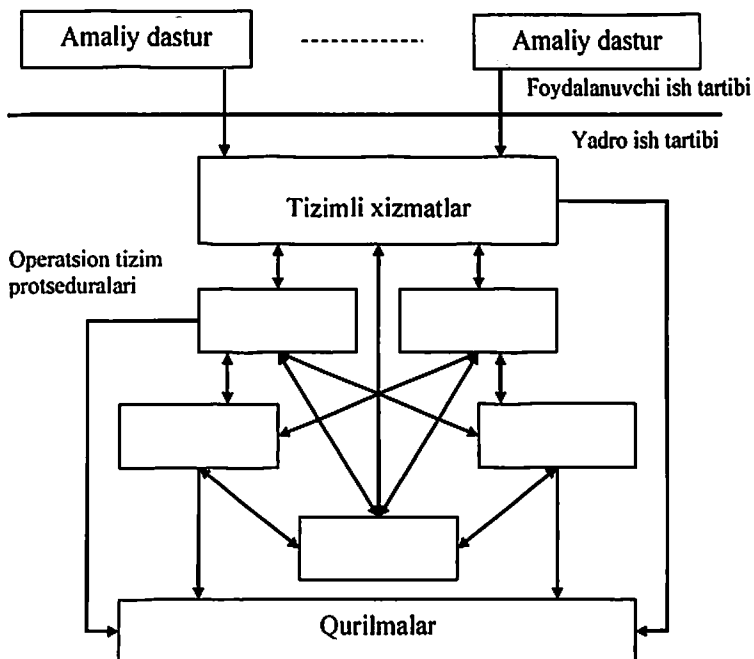
Signallarga ishlov berish va boshqaruv o'rnatilgan tizimlari uchun real vaqt operatsion tizimlar belgilangan vaqt ichida tizim resurslariga interfeysni ta'minlash uchun mo'ljallangan. RV operatsion tizimining asosiy talabi eng yomon tashqi ish sharoitida kuzatuv va nazorat qilish tizimining xatti-harakatining bashorat qilinishini ta'minlash talabidir [9, 28, 29, 30].

Arxitektura nuqtai nazaridan ularni to'rtta sinfga bo'lish mumkin:

- monolitik arxitektura;
- monolit yadrosi bo'lgan OT;
- mikroyadroli OT;

– gibridd tizimlar.

Monolit OT arxitekturasi. OT kodini tuzishning ko‘plab usullari mavjud. Bir yondashuvlardan biri, ko‘pincha kichik operatsion tizimlarda tez-tez ishlatiladi, bu tizimni protseduralar to‘plami sifatida tashkil qilish, ularning har birini har qanday maxsus protsedura chaqirishi mumkin. Ushbu monolitik struktura (9.3-rasm) ma‘lumotlarni izolyatsiyalashni ta‘minlamaydi; kodning turli qismlarida butun tizimning qurilmasi haqidagi ma‘lumotlardan foydalaniladi.



9.3-rasm. Monolitik operatsion tizim tuzilishi

Ushbu turdagi operatsion tizimni kengaytirish qiyin, chunki har qanday protsedurani o‘zgartirish tizimning boshqa qismlarida u bilan bog‘liq bo‘lmagan xatolarga olib kelishi mumkin.

Eng oddiy monolitik operatsion tizimlardan tashqari barchasi dasturlarni operatsion tizimning o‘zidan ajratib turadi (foydalanuvchi rejimi va yadro rejimi).

Boshqacha qilib aytganda, OT kodi protsessorning imtiyozli rejimida bajariladi - bu ko'pincha yadro rejimi (kernel mode) deb ataladi va tizim ma'lumotlari va apparat vositalariga kirish huquqiga egadir; ilovalar foydalanuvchi rejimi (user mode) deb ataladigan imtiyozsiz rejimda ishlaydi, ularga cheklangan interfeyslar to'plami va tizim ma'lumotlariga kirish imkoniyati cheklangan. Foydalanuvchi rejimidagi dastur tizim xizmatiga murojaat qilganda protsessor murojaatni qabul qiladi va murojaat oqimini yadro rejimiga o'tkazadi. Tizim murojaati tugagandan so'ng, OT oqimini foydalanuvchi rejimiga o'tkazadi va murojaat dasturining bajarilishini davom ettirishga imkon beradi.

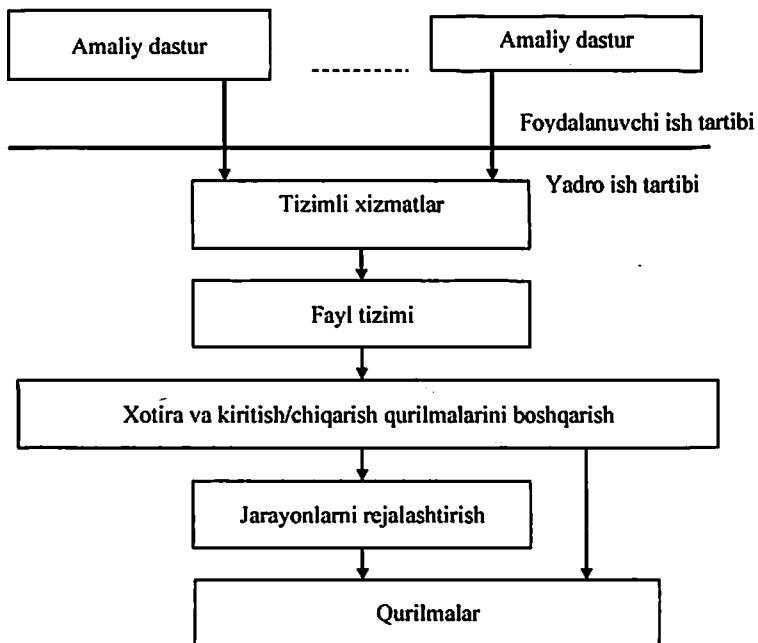
Bu o'rnatilgan qurilmalar uchun OT arxitekturasining eng keng tarqalgan turi hisoblanadi. Tahlil qilinayotgan operatsion tizimlarning aksariyati barcha jarayonlar (foydalanuvchi ham, tizim ham) cheklolrsiz bir xil manzil maydonida bajariladigan mikrokontrollerlarda ishlashga mo'ljallangan monolitik muhitdir.

Jarayon izolatsiyasi yetarli darajada ta'minlanmagan monolitik operatsion tizimlariga misol tariqasida RIOT OS, Zephyr, Unison RTOS va Vector – Microsar OS tomonidan bazaviy OTlarni keltirish mumkin [26, 34].

Xattoki monolitik tizimlarning barcha xavfsizlik nuqsonlari bilan ham bu kabi ixcham OT arzon mikrokontrollerlarga o'rnatish uchun juda mos keladi. Ular oddiy ixcham qurilmalarda qo'llaniladi, ularning vazifasi bitta parametрни o'lchash bilan cheklangan - masalan, harorat, bosim yoki hajm. Bunday qurilmalar sodda, ixcham va arzon bo'lishi kerak.

OT modulli arxitekturası. Tizimni strukturalashtirishning yana bir yondashuvi uni modullarga bo'lishni o'z ichiga oladi, ular bir-birining ustiga qatlam asosida yotqiziladi (9.4-rasm).

Har bir modul boshqa modullar tomonidan chaqirilishi mumkin bo'lgan funksiyalar to'plamini taqdim etadi. Muayyan qatlamda joylashgan kod faqat pastki qatlamlardan kodni chaqiradi. Ba'zi RV operatsion tizimlarda ko'p qatlamlari apparat ta'minoti tomonidan buyruqlar beriladi (protsessor rejimlari iyerarxiyasidan foydalanish orqali) [29, 31, 32].



9.4-rasm. Operatsion tizimlarning modulli tuzilishi

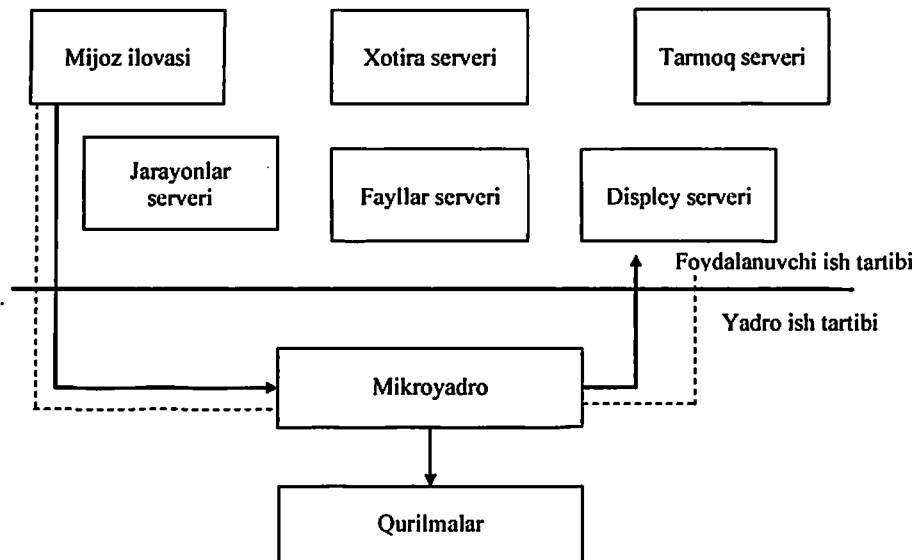
Qatlamli OTni tashkil qilishning afzalliklaridan biri shundaki, har bir qatlāmning kodi faqat asosiy qatlamlarning kerakli interfeyslariga (va ma'lumotlar tuzilmalariga) kirish huquqini oladi. Shunday qilib, cheksiz quvvatga ega kod miqdori kamayadi.

Bundan tashqari, ushbu tuzilma OTni xatoliklarni bartaraf qilish paytida eng past qatlamdan boshlashga va butun tizim to'g'ri ishlamaguniga qadar birma-bir qatlam qo'shishga imkon beradi. Qatlamli tuzilish tizimning kengayishini ham osonlashtiradi: qolgan qismlarga ta'sir qilmasdan istalgan darajani to'liq almashtirish imkoni mavjud.

To'liq monolitik yechimlardan farqli o'laroq, bunday arxitekturadagi foydalanuvchi jarayonlari yadrodan ajratilgan va cheklangan tizim so'rovlarini to'plami orqali uning funksiyalariga kirish huquqiga ega. Shu bilan birga, ko'plab xizmatlar yadro kontekstida ishlaydi - masalan, protokollarni, fayl tizimlarini, qurilmalar drayverlarini amalga oshirish. Modulli tuzilishga ega operatsion tizimlarga Linux

yadrosi va uning hosilalari (shu jumladan, Android) asosidagi OT, shuningdek Windows, FreeBSD, RTEMS va boshqalarga misol keltirish mumkin.

“Mijoz-server” arxitekturasi (mikroyadro). Operatsion tizimni shakllantirishdagi uchinchi yondashuv - bu “mijoz-server” modeli [31, 35]. Uning g‘oyasi OTni bir nechta jarayonlarga ajratish bo‘lib, ularning har biri bitta xizmat to‘plamini amalga oshiradi: masalan, xotira taqsimoti, jarayon yaratish yoki jarayonni rejalashtirish (9.5-rasm).



9.5-rasm. Mikroyadroga asoslangan operatsion tizim tuzilishi

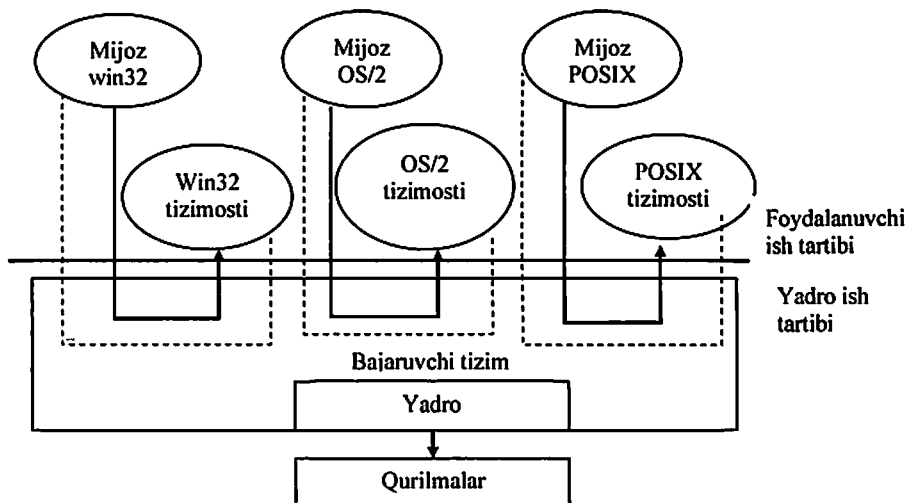
Har bir server foydalanuvchi rejimida ishlaydi, biror bir mijoz unga xizmat ko‘rsatish uchun murojaat qilganligini tekshiradi. Boshqa bir OT komponentasi yoki dastur bo‘lishi mumkin bo‘lgan mijoz serverga xabar yuborish orqali xizmatni bajarilishini so‘raydi. Operatsion tizimning yadrosi (yoki mikroyadro) xabarni serverga yetkazib beradi; u so‘ralgan harakatlarni amalga oshiradi, shundan so‘ng yadro natijalarni mijozga boshqa xabar shaklida qaytaradi.

Mijoz-server yondashuvi kichik, o‘zini o‘zi ta‘minlaydigan tarkibiy qismlardan tashkil topgan OTga olib keladi. Barcha serverlar alohida foydalanuvchi rejimi jarayonlari sifatida ishlaganligi sababli, ulardan bittasi ishdan chiqishi (va ehtimol

qayta ishga tushirilishi) OTning qolgan qismini ishdan chiqarmaydi. Bundan tashqari, turli xil serverlar ko'p protsessorli kompyuterning turli xil protsessorlarida yoki hattoki har xil kompyuterlarda ishlashlari mumkin, bu esa operatsion tizimni taqsimlangan hisoblash muhitlariga moslashtiradi.

OTlar bozorida turli xil mikroyadrolar va mikroyadroli operatsion tizimlar keng tarqalgan (QNX, INTEGRITY RTOS, Genode, L4 yadrosi).

Aralash (gibrid) arxitektura. Haqiqiy operatsion tizimlarda bir vaqtning o'zida bir nechta modellardan foydalaniladi. Masalan, Windows NT tuzilmasi (9.6-rasm), ham qatlamli, ham mijoz-server modeli elementlariga ega. Windows NTning yadro rejimidagi qismi NT (NT executive) ijrochi deb nomlanadi.



9.6-rasm. Aralash (gibrid) arxitektura operatsion tizimining tuzilishi

U virtual xotirani boshqarish, obyektlarni (resurslarni) boshqarish, kiritish/chiqarish va fayl tizimlarini (tarmoq drayverlarini ham o'z ichiga olgan holda), ruxsatsiz kirishdan himoya qilish tizimining jarayonlari va fragmentlari bilan o'zaro aloqalarni amalga oshiradigan tarkibiy qismlar to'plamini o'z ichiga oladi. Ushbu komponentlar bir-biri bilan qatlam sifatida emas, balki asosan modul sifatida ta'sir o'tkazadilar. Har bir komponent boshqalarni aniq belgilangan ichki protseduralar to'plami orqali chaqiradi.

Shu bilan birga, qatlamli modeli NT ijro tizimining kiritish/chiqarish tizimida va ijro etuvchi tizimning eng past darajadagi qismlarida: NT yadrosi (NT kernel) va apparatning a qatlami (hardware abstraction layer, HAL) qo'llaniladi. NT tizimi ijrochilari barcha boshqa tarkibiy qismlari bu ikkilasining ustki qatlamida joylashadi. NT yadrosi mikroyadro mijoz-server operatsion tizimlarida uchraydigan operatsion tizimning past darajadagi funksiyalarini bajaradi - masalan, oqimlarni rejalashtirish, uzilishlar va istisnolardan foydalanish, shuningdek ko'p protsessorli sinxronlash.

Shuningdek, u yuqori darajadagi konstruksiyalarni amalga oshirish uchun ijro tizimining qolgan qismlari tomonidan qo'llaniladigan protseduralar va asosiy obyektlar to'plamini taqdim etadi. Yadro ostida dinamik bog'lanish kutubxonasi (dynamic-link library, DLL) joylashgan. HAL - bu yadroni va NT ijro etish tizimining boshqa qismlarini platformaga xos bo'lgan apparatdan ajratib turadigan kod qatlami. HAL to'g'ridan-to'g'ri apparat bilan ishlaydi [22, 30].

Gibrid yadroli OT arxitekturasi monolit va mikroyadro arxitekturasining xususiyatlarini birlashtiradi. Bu ba'zi bir o'zgartirilgan mikroyadro shaklidagi oraliq yechim bo'lib, bu ishni tezlashtirish uchun yadro sohasida OT modullarini ishga tushirishga imkon beradi. Bunday gibrid yadroga ega operatsion tizimlar monolit yadro kodini iloji boricha yaxshi sozlangan holda, mikroyadro arxitekturasining ravshan afzalliklaridan foydalanish urinishlaridan kelib chiqqan.

9.6. Operatsion tizimni tanlash

O'rnatilgan tizimlar uchun dasturiy ta'minotni ishlab chiqishda operatsion tizimni tanlash asosiy rol o'ynaydi. Tizimning yanada rivojlanishi va umuman loyihaning qiymati unga bog'liqdir. Tajribali o'rnatilgan tizimlar ishlab chiqaruvchilari faqat operatsion tizimning narxiga e'tibor bermaydilar; loyihaning qiymati, shuningdek, ishlab chiqish vositalarining narxini, rivojlanish uchun sarflangan vaqtni va tizimni qo'llab-quvvatlash xarajatlarini o'z ichiga oladi. Barcha holatlar uchun mukammal yechim yo'q hisoblanadi. Har bir operatsion tizim o'ziga

xos tarzda yaxshidir. Albatta OTni tanlashda barcha afzalliklar va kamchiliklari aniqlashtirib, aniq bir vaziyat asosida amalga oshirilishi kerak [22].

9.1-jadvalda eng ko'p ishlatiladigan operatsion tizimlarning parametrlarini taqqoslash keltirilgan.

9.1-jadval

Operatsion tizim	Vaqt ish tartibi	Ochiqlik darajasi	Quvvatlanadigan arxitektura
VxWorks	qattiq	ochiq	Power, ARM, Mips
Linux	yumshoq	ochiq	Alpha, ARM, Mips
Windows CE 6.0	yumshoq	yadro kodi ega bo'lishli	ARM, Mips, x86
QNX	qattiq	yadro kodi ega bo'lishli	Intel x86
LunxOS	qattiq	ochiq	x86, PowerPC, ARM

VxWorks. Tizim ishlab chiquvchilar ishonchliligi va xatolarga bardoshliligiga asosiy e'tiborni qaratdilar, shuning uchun ushbu operatsion tizim Amerika Qo'shma Shtatlarda kosmik elektronika standartiga aylandi. Wind River-ning VxWorks-lari, shuningdek, Yevropa kosmik stansiyalari sun'iy yo'ldoshlarida va Xalqaro kosmik stansiyalarida ishlatiladi.

Tizimning kamchiliklari sifatida uning sekin modernizatsiyasini keltirish mumkin. Asosiy e'tibor eski dasturlar va drayverlarga qaratilgan. Yangi apparatni qo'llab-quvvatlashda muammolarga duch kelinmoqda.

Bu juda qimmat operatsion tizim hisoblaniladi. Uning tanlovi katta hajmdagi mahsulotlar uchun yoki juda yuqori ishonchliligini talab qiladigan tizimlarda o'zini oqlay oladi.

Linux. Ushbu tizimning asosiy ajralib turadigan xususiyati - bu tizimning yadrosi va ko'pgina amaliy dasturlarning ochiq kodli ekanligidadir. Ushbu operatsion tizim mutlaqo bepul. Rivojlanish ham individual ishlab chiquvchilar tomonidan, ham manfaatdor firmalar tomonidan amalga oshiriladi.

Tizimning afzalliklariga yana ko'plab kutubxonalar va ochiq kodli dasturlar mavjud hisoblanadi. Tayyor modullardan foydalanish dasturiy ta'minotni ishlab

chiqarishni sezilarli darajada soddalashtirish va tezlashtirish imkonini beradi. Tizimning yana bir afzalligi - bu ishlab chiquvchilarning rivojlangan jamoasi.

Bunda standart yadro konfiguratsiyasida real vaqt tizimi ta'minlanmagan. Tizim faqat foydalanuvchi dasturlarini to'xtatishi mumkin. Biroq, yadroni sozlashda tizim funksiyalarining bajarilishini to'xtatishga imkon beradigan parametrlarni yoqish mumkin. Shuning asosida "yumshoq real vaqt" tizimlari shakllangan. Tez javob berish vaqtini talab qiladigan tizimlar uchun ushbu operatsion tizim mos kelmaydi.

Tizimning kamchiliklariga qo'llab-quvvatlash xizmatining yetishmasligi kiradi. Barcha paydo bo'lgan muammolar va savollar o'z-o'zidan hal qilinishi kerak.

Windows CE 6.0. Bu mobil telefonlarda, GPS-navigаторlarida va boshqa multimedia qurilmalarida keng qo'llaniladi.

Ushbu operatsion tizimning afzalliklari orasida dasturni ishlab chiqish qulayligi mavjud. Microsoft-ning Visual Studio-ga mobil rivojlanish vositalarini qo'shishi bilan tizim ishlab chiquvchilariga qo'yiladigan talablar sezilarli darajada kamaydi. Visual Studio bilan ishlay oladigan dasturchilarning malakasi boshqa operatsion tizimlar uchun dasturlar yozadigan dasturchilarga qaraganda pastroq bo'lishi mumkin.

QNX. Notijorat maqsadlarda foydalanish uchun QNX operatsion tizimi bepul tarqatiladi. Tijorat maqsadlarida foydalanish uchun tizimning narxi aniq vazifaga bog'liq.

QNX asosida tibbiy asbob-uskunalar, sanoat qurilmalari, tarmoq marshrutizatorlari va bort tizimlarini boshqarish uchun juda ishonchli yechimlar asosida quriladi. QNX harbiy sanoatda ham keng qo'llaniladi.

Tizimning kamchiliklari orasida QNX Neutrino litsenziyasi QNX Neutrino manba kodidan olingan mahsulotlarni QSS tomonidan yozma ruxsatisiz sertifikatlashni aniq ta'qiqlashi mavjud.

LynxOS. Operatsion tizim qattiq real vaqtda ishlaydigan o'rnatilgan tizimlar uchun dasturiy ta'minot ishlab chiqishga mo'ljallangan. LynxOS yuqori talab asosidagi javob vaqtini talab qiladigan dasturlarni ishga tushirishga imkon beradi. Tizim ko'p vazifali va ko'p qirrali dasturlarni qo'llab-quvvatlaydi. Rivojlanish maqsadli tizimning o'zida ham (self-hosted) va instrumental kompyuterda (host) ham

amalga oshirilishi mumkin, tugallangan dasturiy ta'minot maqsadli tizimda (target) ishlaydi.

Shuningdek, afzalliklar qatoriga tizimning Linux uchun tuzilgan binar fayllarni ishga tushirish va kerakli dinamik kutubxonalarni to'g'ri yuklash qobiliyati kiradi. Ushbu xususiyat ishlab chiqishni sezilarli darajada soddalashtirishi mumkin, chunki u Linux operatsion tizimi uchun ishlab chiqilgan ko'plab tayyor kutubxonalar va tarkibiy qismlarga kirishni ta'minlaydi.

LynxOS uchun dastur ishlab chiqish vositalarining keng doirasi, ham tijorat, ham bepul ishlab chiqish vositalari mavjud. Turli xil operatsion va xost operatsion tizimlari qo'llab-quvvatlanadi.

Nazorat uchun savollar

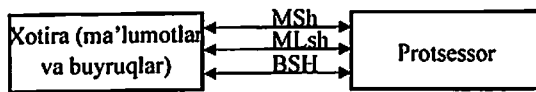
1. Amaliy dasturlar qanday vazifalarni hal qiladi?
2. Ishlov berish protseduralariga qo'yiladigan asosiy talablarni sanab o'ting.
3. Tizimli dasturlarga misollar keltiring.
4. Operatsion tizimlarning xususiyatlari sanang.
5. Operatsion tizimlar qanday belgilar bo'yicha tasniflanadi?
6. Real vaqt tizimlariga asosiy talablarini ko'rsatib o'ting.
7. Ijro muhiti nima?
8. Kiritish/chiqarish vazifalarini boshqarish deb nimaga aytiladi?
9. Ishlab chiqish muhiti nima deb aytiladi?

X BOB. SIGNALLARNI QAYTA ISHLASH TIZIMLARINING HISOBLASH SAMARADORLIGINI OSHIRISH

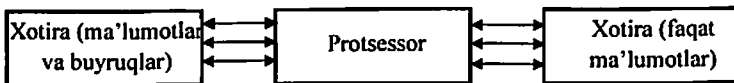
10.1. Signal protsessorlarining hisoblash tezkorligini oshirish usullari

Real vaqt tizimlarida kirishdagi o'zgaruvchilarning katta oqimiga ishlov berishda ishlov berish tezligi joriy natijalarning qiymatlarini ular qabul qilinishi bilan darhol xosil bo'lishini ta'minlashi kerak. Bunday tizimlarda ichki manzillashtirilgan xotira uncha katta hajmga ega bo'lmaydi, ma'lumotlarni hisoblash tezligiga va tezkor xotira va AMQ orasidagi ma'lumotlar almashuvining tezligiga katta ahamiyat beriladi. Bu muammoni hal qilish uchun protsessorlarning garvard arxitekturasi qo'llanilgan [25].

Protsessor va xotira o'rtasidagi o'zaro munosabatlarning an'anaviy arxitekturasi ma'lumotlar va ko'rsatmalar umumiy xotirada saqlanadi (10.1,a-rasm).



a. An'anaviy fon-Neyman arxitekturasi



b. Garvard arxitekturasi



v. Zamonaviy SP arxitekturasi

10.1-rasm. "Protsessor-xotira" o'zaro aloqa arxitekturalari

Garvard arxitekturasi protsessorning ichki tezkor xotirasi alohida buyruqlar xotirasiga va alohida ma'lumotlar xotirasiga bo'lingan, mos ravishda

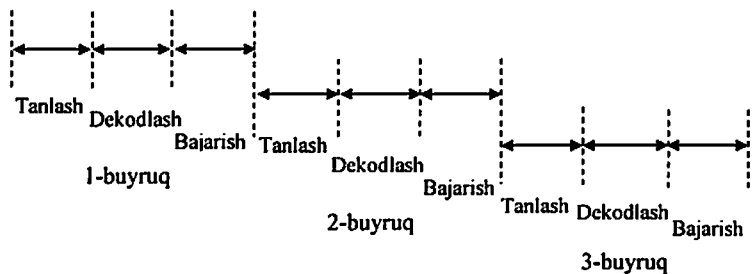
axborotdan foydalanish vositalari bilan (10.1,*b*-rasm). Bunday usul buyruqlar va ma'lumotlarni parallel ravishda tanlash imkoniyatini yaratdi. Bunda buyruqlar va ma'lumotlar bir vaqtda bajaruvchi qurilmalarga yuklanadi. Buyruqlarni tanlash taktlari va ma'lumotlarni tanlash taktlari bir vaqtda bajariladi. Garvard arxitekturasining takomillashtirilgan variantida alohida buyruqlar uchun va alohida ma'lumotlar uchun shinalar kiritilgan, yuqoriroq tanlash tezligi ta'minlangan. Garvard arxitekturasining takomillashtirilgan keyingi modifikatsiyalarida operandlar nafaqat ma'lumotlar xotirasida, balki buyruqlar xotirasida ham dasturlar bilan birgalikda saqlanishi mumkin. Masalan, raqamli filtrlarni amalga oshirishda filtr koeffitsiyentlari dasturlar xotirasida saqlanishi mumkin, kirishdagi signallarning qiymatlari esa ma'lumotlar xotirasida saqlanishi mumkin (10.1,*v*-rasm). Koeffitsiyent va ma'lumotlar bitta mashina siklida tanlanishi mumkin.

Ko'pchilik universal protsessorlarning asosiy kamchiligi (masalan, shaxsiy kompyuterlarning protsessorlari) shundan iboratki, har bir vaqt soniyasida funksional bloklarning cheklangan soni ishlaydi, boshqa bloklar esa kutish jarayonida bo'ladi. Agarda bajariladigan buyruqlarning har bittasini soddalashtirilgan ko'rinishda ifodalasak, unda bitta buyruqning amalga oshirilishining quyidagi uchta bosqichlarini ko'rsatishimiz mumkin:

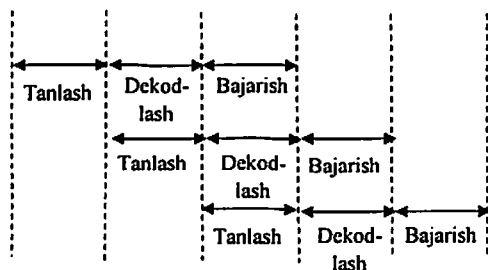
- xotiradan buyruqni tanlash;
- buyruqni koddan yechish;
- buyruqni bajarish (operandlarni o'qish, bajarish, natijani yozish).

Umumiy xotira blokiga ega bo'lgan universal protsessorlarda barcha buyruqlar ketma-ket ravishda bajariladi (10.2-rasm).

Garvard arxitekturasidan foydalanilganda buyruqlar va operandlar har xil shinalardan bir vaqtini o'zida baravariga o'qilishi mumkin. Bu vaziyatda bitta buyruqda "koddan yechish" bosqichi keyingi buyruqning "tanlash" bosqichi bilan vaqt bo'yicha mos kelishi mumkin (10.3-rasm). Bu holat xotira bog'lamalarini, AMQ, boshqarish bog'lamalarini va almashuv kanallarini baravariga ishlash imkoniyatini yaratadi. Shu kabi bir necha amallarning bajarilish jarayonida mos kelishi konveyr ravishda ishlov berish deb ataladi.



10.2-rasm. Umumiy xotira va bitta almashinuv shinali arxitekturada buyruqni amalga oshirish.



10.3-rasm. Ajratilgan shina va xotirada buyruqni birga olib borish

Konveyr ravishda ishlov berishda buyruqni bajarish jarayoni bir necha bosqichlarga bo'linadi. Bosqichlarning ketma-ket bog'lanishi va ularning vaqt bo'yicha mos kelishi konveyr ravishda ishlov berish deb ataladi (10.4-rasm).

	1-sikl	2-sikl	3-sikl	N-sikl
Tanlash	i	i + 1	i + 2	i + 3	i + 4	i + 5
Dekodlash	i - 1	i	i + 1	i + 2	i + 3	i + 4
Bajarish	i - 2	i - 1	i	i + 1	i + 2	i + 3

10.4-rasm. Uch pog'onali konveyrli ishlov berish

10.4-rasmda ko'rsatilganidek, har bitta buyruq uchta bosqichga bo'lingan, har bir bosqich bitta mashina siklini ifodalaydi. Ko'pshinali arxitektura va bo'lingan xotira hisobidan bir bosqich davomida baravariga uchta buyruq aktiv bo'lishi mumkin. Bu buyruqlar bajarilishining har xil bosqichlarida mavjud bo'lishlari mumkin. "I sikl" vaqt oniyasida I buyrug'ining tanlash jarayoni, (avvalgi) i-1 buyrug'ining koddan yechish jarayoni va undan avvalgiroq i-2 buyrug'ining bajarilishi amalga oshiriladi. Keyingi siklda i+1 buyruq tanlanadi, i buyruq koddan yechiladi va i-1 buyruq bajariladi.

Bunday arxitekturaning o'tkazish qobiliyati konveyrdan vaqt birligida o'tkazilgan buyruq soni bilan aniqlanadi. Nazariy nuqtai nazardan bitta buyruqning o'rtacha bajarilish vaqti bitta buyruq bajarilishiga sarflangan vaqt konveyr bosqichlarining soniga bo'lish amali yordamida hisoblanadi. Konveyr ravishda ishlov berish protsessorga uzluksiz buyruqlar oqimining uzatilishiga imkon beradi, alohida funksional bloklarning kutib qolish vaqti kamayadi, amallarning bajarilish tezligi oshadi.

Amaliyotda konveyr bosqichlarining soni uchtdan ko'proq bo'ladi. Murakkab buyruqlarni soddaroq buyruqlarga taqsimlangan holda konveyr bosqichlarining soni 5-10 gacha bo'lishi mumkin. Bunday usul konveyr ravishda ishlov berishning asosiy muammosini yechishga yordam beradi – ya'ni murakkablik darajasi har xil bo'lgan buyruqlarning bajarilish vaqtidagi farqi.

Maxsus buyruqlarni qo'llash. RIB protsessorlarida signallarga ishlov berishni optimallashtirish maqsadida maxsus buyruqlardan foydalaniladi. Bu buyruqlar ishlov berishning bazaviy amallarini ta'minlaydi [4, 6]:

- yuqori chastotali signallarni raqamlashtirish va xotiraga yozish;
- baravariga jamlagichli ko'paytirish;
- kechikishni amalga oshiruvchi qiymatlarni surish;
- xotiradan tanlash jarayonining nusxasini olish.

Aniq ilovalar uchun mo'ljallangan buyruqlar ham mavjud, masalan blok bo'ylab qo'zg'aluvchan vergulli rejimda ishlashni ta'minlash. Shuningdek sikllarni tashkil qilishda ayrim buyruqlarni aniq ko'rsatilgan soniga teng marta takrorlanishini

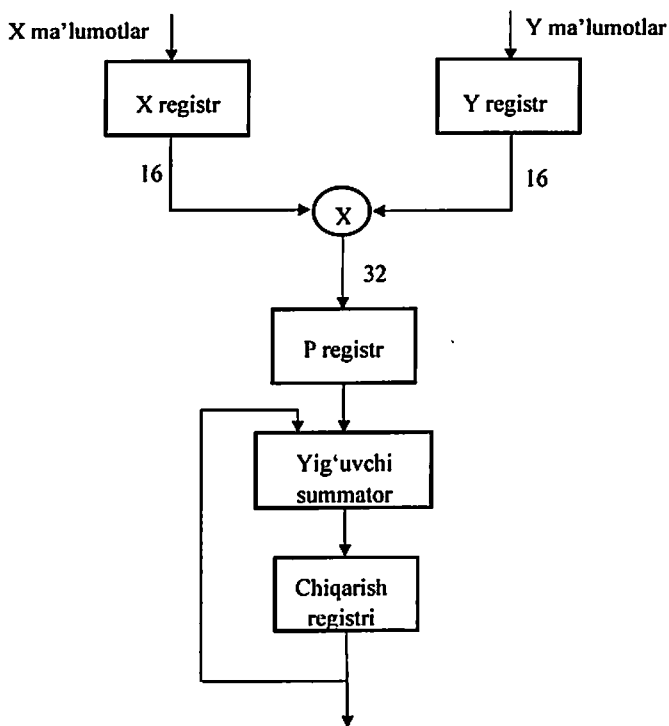
ta'minlaydigan buyruqlar ham mavjud (OIX-filtrlar yoki FTO'). Masalan, TMS320S50 markali SP da MASD buyrug'i bir takt davomida bir necha amallarni bajaradi:

- ma'lumotlar xotirasidagi signal tanlovini koeffitsiyentga ko'paytiradi. Bu koeffitsiyent dasturni saqlash uchun xotirada saqlanadi;

- avvalgi hosil qilingan ko'paytma natijasini yig'ilib boruvchi jamlagichga qo'shadi;

- qiymatni keyingi navbatdagi manzilli yacheykaga surish yordamida uning vaqtincha kechikish jarayonini ta'minlaydi.

Bu kabi buyruqlar apparat vositalari yordamida maxsus ko'paytirgich jamlagichlar yordamida samarali amalga oshiriladi (10.5-rasm).



10.5-rasm. SPning ko'paytiruvchi-yig'uvchi strukturasi

Bir nechta ko'paytmalarni qo'shish yordamida bajariladigan ketma-ket amalga oshiriladigan buyruqlarni MAS-buyrug'i bilan birgalikda bajarish uchun takrorlanish buyrug'idan foydalanish mumkin.

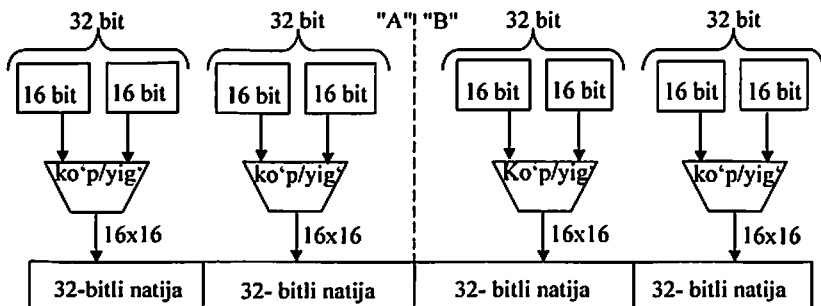
X va Y registrlarining qiymatlari ko'paytiriladi, natija jamlagichga qo'shiladi, baravariga signalning navbatdagi qiymati va unga mos koeffitsiyenti ularga tegishli registrlardan keyingi ko'paytirish amalini bajarish uchun o'qiladi.

10.2. Apparat-dasturiy parallelizm

SP arxitekturasida hisoblash samaradorligini oshirish uchun parallel ishlov berish usullaridan keng foydalaniladi. Odatda arxitekturani tuzish uchun uchta usul qo'llaniladi [25]:

- SIMD arxitekturasida (Single Instruction Multiple Data);
- VLIW arxitekturasida (Very Long Instruction Word);
- superskalyar ishlov berish.

SIMD arxitekturasida bitta buyruq yordamida bajariladigan matematik amallarning sonini oshirishga imkon yaratadi. SIMD sinfiga parallel ravishda, ammo bir xil turda ishlov beriladigan ma'lumotlar elementlari tegishli. Bu vaziyatda umumiy buyruq protsessorlar translyatsiya uchun uzatiladi (oddiy holatda AMQ), protsessorlarning har biri o'ziga tegishli ma'lumotlarga ishlov beradi. Bunday arxitektura ishlov berilayotgan ma'lumotlarning formatlari o'zgarishi bilan, zarur operatsion bloklarning sonini oshirishi mumkin (masalan, 16 bitli 4 ta songa ishlov berish yoki 32 bitdan 2 ta songa). SIMD arxitekturasida uchun mo'ljallangan bu kabi operatsion blok 10.6-rasmda ko'rsatilgan. Bu TigerSHARC protsessorining elementi. Bu element 16x16 bit formatli to'rtta ko'paytirish/jamlash (ko'pay/jamlash) amallarini bir vaqt birligida bajarishi mumkin. Protsessor ikkita «A» va «B» operatsion bloklarga ega. Operatsion bloklarning kirishiga ikkita 64-bitli sonlar ma'lumotlar shinasidan uzatiladi. To'rtta ko'paytirgichlardan har biri ikkita 16-bitli kirish va bitta 32-bitli natija registriga ega (10.6-rasm).



10.6-rasm. To'rtta amalning bir vaqtda bajarilishi

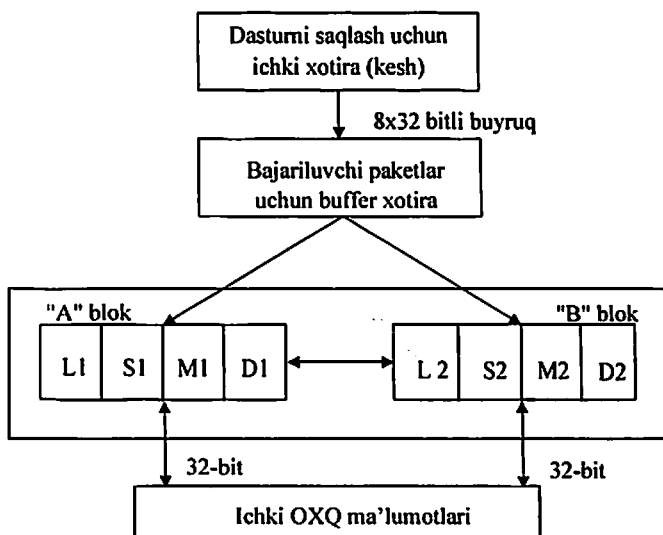
Bunday ishlov berishni tashkil qilish usuli keng qo'llaniladigan sistologik protsessorlarida ishlatiladi. Sistologik protsessorlar Fure-tahlili tez o'zgartirishlar algoritmlarini amalga oshirish uchun ishlatiladi. Sistologik protsessorlardan tashqari SIMD-arxitekturasi vektorli va matritsali protsessorlarda qo'llanadi. Bu protsessorlarda vektorlar va matritsalar bilan tezlashtirilgan yoki tezkor amallar bajariladi.

SIMD-arxitekturasi deyarli barcha zamonaviy SP modellarida amalga oshirilgan: DSP1600, TMS320S62, ADSP-TS001.

Katta uzunlikka ega bo'lgan buyruqli so'zlarga ishlov berish (VLIW) bir taktida ishlov beriladigan buyruqlar sonini sezilarli darajada oshirish imkoniyatini yaratadi. Bunday buyruqlar bir nechta qisqa buyruqlar ko'rinishida ifodalanishi mumkin. Bu qisqa buyruqlarni bajarish uchun bir nechta parallel ravishda ishlaydigan funksional bloklar talab etiladi. Bunda, SIMD-protsessorlaridan farqli tomoni shundan iboratki, VLIW-protsessorlar bir takt davomida bir nechta bajarilishi bo'yicha har xil buyruqlarga ishlov beradi [25].

VLIW-texnologiyasining asosiy g'oyasi shundan iboratki, kompilyator birinchidan kirishdagi boshlang'ich dasturni tekshiradi, bir vaqtda baravariga, ammo har xil bloklarda bajariladigan buyruqlarni qidiradi. Keyin kompilyator bu kabi o'xshash buyruqlarni paketlarga birlashtiradi. Har bir paket bitta buyruqdan iborat. Bu buyruq o'z navbatida bir vaqtda ammo protsessorning har xil bloklarida bajariladigan oddiy buyruqlardan iborat. Bu jarayonda oddiy buyruqlarning soni

protssorda mavjud bo'lgan funksional bloklar soniga teng. 10.7-rasmda TMS320S62x protssorida ma'lumotlarga ishlov berish sxemasi ko'rsatilgan.



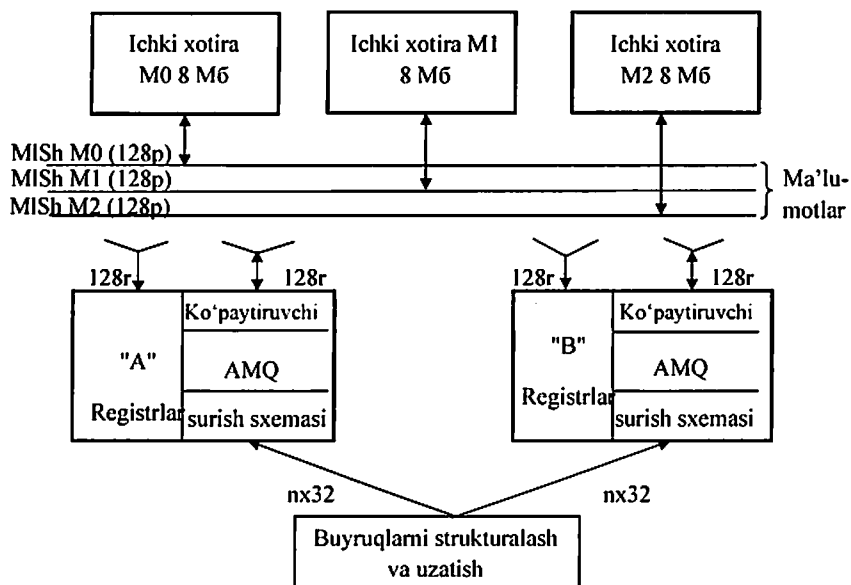
10.7-rasm. VLIW-protssorini ma'lumotlar oqimi sxemasi

Protssor ikkita ma'lumotlar uzatish taktiga va sakkizta bir biriga bog'liq bo'lmagan ikkita bog'lama ko'rinishida shakllangan (blok «A» va blok «B») bloklardan iborat. Ishlov berish kompilyator tomonidan buyruqlar paketining shakllanishidan va ichki kesh-xotira paketidagi buyruqlarni o'qishdan boshlanadi. Paket uzunligi sakkizta buyruqdan iborat. Har bir buyruqning uzunligi 32 bit. 256 bit miqdorli paket bufer yordamida sakkizta turli vazifalarni bajaradigan operatsion bloklarga uzatiladi: L1, L2 – mantiqiy amallarni bajaradigan bloklar, S1, S2 – surish sxemalari, M1, M2 – ko'paytirgichlar, D1, D2 – manzilli elementlar. Natijalar ichki ma'lumotlarning tezkor xotira qurilmasida (TXQ) joylashadi va ishlov berishning keyingi taktlarida ishlatilishi mumkin.

Qisqa buyruqlar paketini dastlabki tayyorlash maqsadida kompilyatorlardan foydalanish tamoyili juda murakkab "intellektual" kompilyatorlar mavjud bo'lishini talab etadi. Ammo bu vaziyat parallel ravishda ishlov berishni buyruqlar darajasida

ta'minlaydi va ma'lumotlarga ishlov berish tezligi oshadi, ayniqsa dasturning sodda buyruqlari uchun.

Superskalyar ishlov berish – bu ham bir takt davomida baravariga bir vaqt birligida ishlov beriladigan buyruqlar sonini oshirish texnologiyasidir. Superskalyar protsessorlari baravariga bir nechta buyruqlarga parallel ravishda ishlov berish uchun mo'ljallangan bir nechta operatsion bloklardan iborat. Superskalyar ishlov berish – bu SIMD va VLIW texnologiyalarining birlashtirish jarayonidir. 10.8-rasmda TS201S markali (TigerSHARC modeli) supeskskalyar SP ishlov berish bog'lamalari sxemasining tuzilishi va ma'lumotlar uzatish kanallari ko'rsatilgan. Ma'lumotlar uzatish 128rli uchta takti, ikkita bir biriga bog'lanmagan operatsion bloklar (AMQ, ko'paytirgich, surish sxemasi), 32rli manzillashtirilgan ma'lumotlarni uzatishga mo'ljallangan uchta kanal (sxemada ko'rsatilmagan). SP 8,16 va 32 bit formalarida ishlaydi [19].



10.8-rasm. TS-201S protsessorida superskalyar arxitektura va ma'lumotlar oqimi

Har bir taktida xotiradan 4 gacha 32 bitli buyruqlar o'qiladi. Bu buyruqlar bir birlariga bog'liq bo'lmagan holda operatsion bloklarga uzatiladi. Operatsion bloklar

SIMD arxitekturasi bo'yicha tuzilgan (bitta buyruqlar oqimi – ko'plik ma'lumotlar oqimi). Operatsion bloklardan har biri o'ziga tegishli «A» va «B» registrlar bloklari bilan ishlaydi. Buyruqlar bir birlariga bog'lanmagan ravishda bir vaqtning o'zida ikkala bloklarga hamda har bitta blokga alohida uzatilishi mumkin. Registrlar bloklari uchta ma'lumotlarni uzatish taktlari bilan shunday bog'langanki, ular bir vaqt birligida baravariga protsessor ishlashining bir takti davomida xotiradan ikkita sonni o'qishi va xotiraga bitta natijani yozishi mumkin. Bu SRIB bazaviy amallariga xos – ikkita kiruvchi qiymat va bitta chiquvchi qiymat.

Protsessor bir takt davomida sakkiztagacha qo'shish/ayirish amallarini va sakkizta ko'paytirish/yig'ish amallarini 16 bitli kiruvchi ma'lumotlar bilan bajarishi mumkin (yoki ikkita 32 bitli kiruvchi ma'lumotlar bilan ko'paytirish/yig'ish amallari).

Turli xil ma'lumotlarga ishlov berish va katta buyruqli so'zlarni operatsion bloklarga mo'ljallangan alohida buyruqlarga taqsimlash yoki bo'lish jarayonlari protsessorga buyruqlar darajasida parallel ravishda ishlov berish imkoniyatini yaratadi. Protsessorning bu kabi imkoniyatlaridan samarali foydalanish kompilyator buyruqlarini dastur bajarilishidan oldin rejalashtirish va boshqarish mexanizmlariga bog'liq.

Yuqorida ko'rib chiqilgan signal protsessorlarining arxitekturaviy xususiyatlari, shuningdek konveyr va superskalyar ishlov berish nafaqat apparaturadagi signallarga va tasvirlarga raqamli ishlov berishda, balki protsessorlarning boshqa turdagi arxitekturalarida ham, ayniqsa Pentium, Power PC protsessorlarida ham keng qo'llaniladi.

10.3. Raqamli ishlov berish tizimidagi maxsus protsessorlar

Real vaqt tizimida ishlovchi signal protsessorlarning asosiy imkoniyatlari shundan iboratki, raqamli signallarga ishlov berish algoritmlar bilan qurilmalarni umumiy (ichki va tashqi qurilma bog'lamalari) boshqarish funksiyasi bilan ishlashidir. Raqamli protsessorlar qayta ishlash va boshqarish masalalarini yechishda qo'llanilgani sababli ular "hisoblovchi" emas balki "protsessorlar" deb ataladi [22].

Raqamli protsessorlarga (RP) qo'yiladigan texnologik talablar qo'llaniladigan sohaga qarab belgilanadi. Shuning uchun real vaqt tizimida ishlaydigan RPlarga juda qattiq talablar belgilangan. Ularga: ishonchlilik, hajm va og'irligi minimalligi, minimal quvvat talab qilishi va dasturlarni ishlatish osonligini talab qiladi. Real vaqt tizimlarini asosiy farqi shundaki manba signallaridan kelgan signallarni qayta ishlash, tizim qayta ishlashi bilan bir vaqtda bo'lishidir. Real vaqt tizimida ishlaydigan qurilma va dasturiy ta'minotga qo'yiladigan asosiy talab ma'lum bir aniqlikni saqlashda yuqori tezlikdagi qayta ishlashlarga ega bo'ladi.

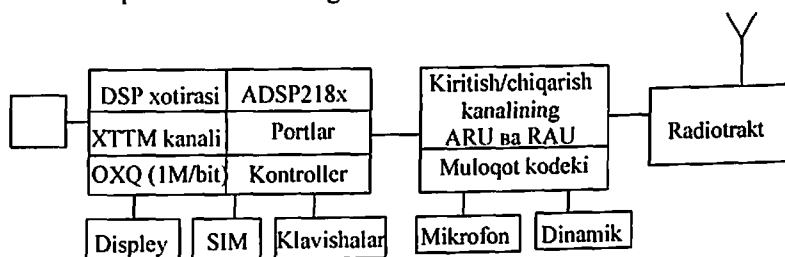
Signallarga raqamli ishlov beruvchi qurilmalarni yaratishni boshlang'ich qismida aniq bir algoritmi qayta ishlovchi maxsus protsessorlar ishlab chiqilgan. TFO' algoritmi eng keng tarqalganligi uchun, turli xil usullarda Fure-protsessorlarni alohida mikrosxema ko'rinishida va hisoblash bloklari tarzida ishlatish, shu bilan birga birlashgan ichki sxemali bog'lamlar sifatida qo'llanilgan. Bunday protsessorlar noyob arxitekturaga ega bo'lib ular faqat bitta algoritmi o'zgartirishlarni amalga oshirgan. Keyingi qadam Sistologik arxitekturadagi maxsus protsessorlarni yaratish bo'lgan. Ular bir nechta parallel funksiyalarni bajaruvchi protsessor elementlarini o'z ichiga olgan bo'lib ularga: ikkita kiruvchi summator kiradi. Ular ma'lum tarzda birlashtirilgan bo'lib, raqamli filtrlash va tez o'zgartirish algoritmlarini bajargan. Signallarga raqamli ishlov berish algoritmi qurilmalari uchun qo'shimcha ichki bog'lamlari sifatida matritsali ko'paytirgichlar qo'llanila boshlagan. Ular yuqori tezlikda ketma-ket raqamli o'zgartirishlardagi matritsalarini va vektorlarni ko'paytirish (protseduralarini) amallarini bajarish, Fure-tahlilda qo'llaniladi.

Lekin SRIB protsessorlarni qo'llash sohasi kengaygan sari, yangi noyob usullarni va algoritmlar ishlab chiqilishi, maxsus bog'lama arxitekturali protsessorlarni yaratishdan bosh tortdi. Katta integral sxemalari (KIS) texnologiyasi uchun yanada unumdorli yangi arxitektura yechimlariga ega bo'lgan yagona protsessor darajasida ishlatiladi. Maxsus raqamli protsessorlar o'zining funksional imkoniyati va xususiyatiga ko'ra signallarga raqamli ishlov beruvchi protsessorlarning kichik (pastki) turkum modellariga kiradi. Ular arxitekturasiga emas balki qo'llanilish sohasiga qarab ishlatiladi.

Signal protsessorlarining yuqori modellari, universal qo'llanilish sohaga ega bo'lib ularni ishlatish uzun buyruqli (VLIW-arxitekturali) superskalyar arxitektura ega bo'lib SIMD strukturaga ("bitta buyruq – ko'p ma'lumot") ega bo'lib oqimli hisoblash va konveyr qayta ishlashlarni amalga oshiradi. Ular 32-daraja uzunligidan kam bo'lmagan so'zga, yetarli rivojlangan buyruqlar tizimiga, rivojlangan ichki (shinali) va tashqi interfeysga ega. Universal signal protsessorlarning oxirgi modeli ko'p yadroli arxitektura ega bo'lib, ularda bir nechta parallel amallarni bajarib, to'liq qayta ishlovchi bog'lamalardan tashkil topgan.

Signal protsessorning quyi modellari maxsus belgilangan maqsadlarda ishlatiladi. Ularga real vaqt tizimlarida audio video signallariga ishlov berish, maishiy qurilmalar va ishlab chiqarish agregatlarini boshqarish tizimlarida, nazorat va monitoring tizimlarida, mobil aloqada, telekommunikatsion qurilmalarda ishlatilishi ko'zda tutilgan. Quyi turdagi signalli protsessorlarga misollarni ko'rib chiqamiz.

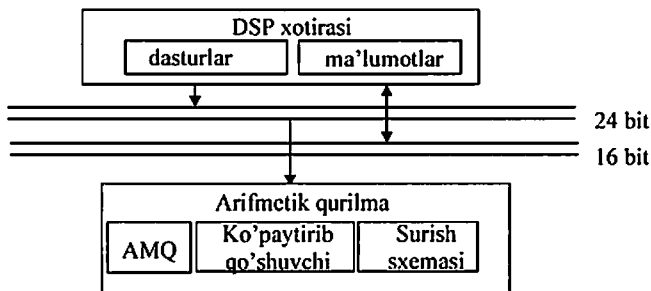
10.9-rasmda GSM strandarddagi ikki diapazonli mobil telefonda signal protsessorlarni qo'llanilishi keltirilgan.



10.9-rasm. ADSP21x bazasida mobil terminalning struktura sxemasi

Birinci mikrosxema Analog Devices kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, ADSP218x protsessori, xotira elementi, portlar, klaviaturadan ma'lumot kiritishda terminalni boshqarish va ma'lumot uzatish protokolni vujudga keltiruvchi paketlar kontrolleri, xotiraga to'g'ridan to'g'ri murojaat kanaliga ega. Bu mikrosxemaga display, klaviatura va SIM - karta ulanadi. Ikkinchi mikrosxema ovoz kodeksiga, yordamchi kiritish/chiqarish kanallarni analog-raqamli va raqamli-analog o'zgartirgichiga ega.

ADSP218x protsessor sxemasi 10.10-rasmda keltirilgan. Bu toifadagi protsessor ikkinchi avlod qo'zg'almas vergulli, umumiy yadrosi ADSR21xx asosida ishlangan.



10.10-rasm. ADSP218x protsessorining qisqartirilgan strukturasi.

Protsessorning xotirasi 64 Kbayt bo'lib, 2 ta ajratilgan qismlarga ega. Birinchi qismida faqat ma'lumotlar saqlansa, ikkinchi qismida ma'lumotlar va dasturiy kod saqlanadi. Xotiradan uzatish shinasini ham ajratilgan. Asosiy qayta ishlovchi komponent avtomatlashgan mantiqiy qurilma bo'lib (AMQ), surish sxemasi va ko'paytirgich-jamlagich bir taktida 16x16 bitni qabul qilib 32-bitli natijani (qiymatni) beradi. Ishlash tezligini oshirishda protsessoridan foydalanmagan holda tashqi qurilmalar operativ xotiradan ma'lumotlar va buyruqlarni ayriboshlash (almashish) imkoniyatiga ega.

Protsessor nutq va kanal kodlash funksiyasini bajaradi. Asosiy yechimdagi masala bu signal chastota chizig'ini ma'lumotni qisman yo'qotishlarsiz siqish (ixchamlashtirish) va siqilgan ma'lumotni pasaygan tezlikda uzatishdir. Bunday usul o'z o'rnida nutqning ayriboshlash kanalining kerakli o'tkazish chizig'ini toraytirish imkonini beradi.

Hozirgi kunda signal protsessor turli maishiy texnikaning asosiy elementi hisoblanadi. Mobil telefonning audiokodek funksiyasini bajarib signal protsessorining yadrosini shakllantiradi va u raqamli aloqa kanali interfeysida yoki simsiz marshrutizator modeminining ichida joylashgan bo'ladi. Hozirda rasmlarni qayta ishlovchi va siquvchi protativ multimedia tizimlari: oddiy mediapleyerdan

tortib ko'p imkoniyatli iPod, raqamli videokameralarga o'xshash shu kabi qurilmalarning ichida moslashtirilgan signal protsessor mikrosxemalarini ko'rish mumkin. Ular videoprotsessor yoki videokodek deb nomlanadi.

10.4. Kompyuterning video va audio karta protsessorlari

Shu kabi signal protsessorlarga talab juda kuchayib borayapti. Asosan mobil qurilmalar va televizion qurilmalarda videolavhalarni yuqori sifatli bo'lishiga talab kuchayishi bilan rasmlar ko'rsatuvchi protsessorlarning takt chastotalari kuchaytirishga olib keldi. Yuqori kengaytmali audiotizimlarga va "atrof muhitli" tovushlarga mo'ljallangan signal protsessorlarga esa aniqlik va tezlikga talab qo'yilmoqda. Shu bilan bir qatorda oddiy foto qurilmalarda ham rasmlarni muvofiqlashtirishda va yuzni aniqlashda signal protsessorlarga talab kengaymoqda. Internetda ma'lumotlarni uzatishda ishlatiladigan barcha televizion qurilmalarda, IP-telefonlarda, fotoqurilmalarda, mediapleyerlarda, o'yin qurilmalarida signal protsessorlar asosida amalga oshadi [25].

2010-yilning boshiga kelib Analog Devices o'zining ikkita yangi seriyali 5 Mbit xotiraga ega ADSP-2147x va ADSP2148x signal protsessorini ishlab chiqdi. Bunday signal protsessorlarning paydo bo'lishi bilan ko'p miqdorda ishlab chiqaruvchilar suruluvchi vergulli, yuqori aniqlikda hisoblovchi qurilmalarni ishlab chiqishga erishdilar. Bu seriyadagi protsessorlar yuqori aniqlikdagi tovushni qayta ishlovchi tizimlarda, uy kinoteatrlarida va "kuchaytirilgan" ishlab chiqarishdagi qurilmalarda qo'llaniladi. ADSP -2147x signal protsessorning 12x12 hajmli BGA korpusga yoki 14x14 hajmdagi LQFP korpusiga biriktirilganda 363 mVt quvvat talab qilishi va 266 MGs takt chastotasiga chiqadi. Ularni protativ, tibbiyot va transport qurilmalarida ishlatish maqsadga muvofiqdir. Ushbu yangi ikki protsessor o'zining SHARC avlodli protsessorlar kodi bilan to'g'ri keladi (moslashgandir). Qurilma tezlashtirgichlar arxitekturasiga biriktirilgan mustaqil hisoblash resurslariga va to'g'ridan to'g'ri xotiraga ega bo'lib BPF algoritmlarni qo'llashni, shu o'rinda keng

tarqalgan algoritmlar, tugallangan va tugallanmagan impulsli filtrli xususiyatni ta'minlaydi.

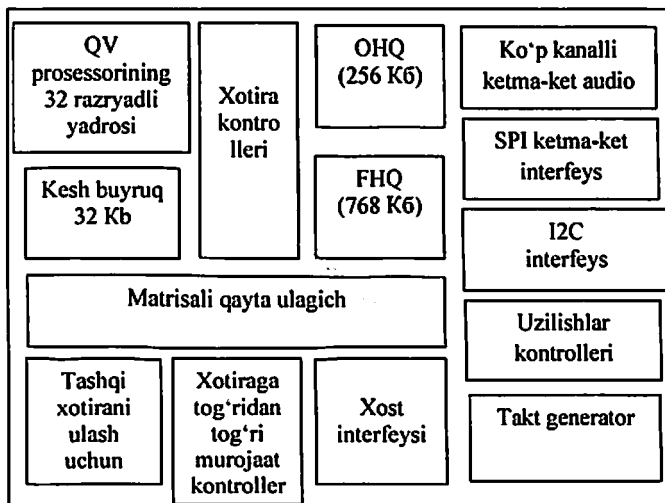
Oxirgi yillarda signallarga raqamli ishlov beruvchi tizimlarida signallarni qayta ishlash masalasida maxsus ishlab chiqilgan dasturlanuvchi mantiqiy integral sxemalar (DMIS) keng miqyosda qo'llanila boshladi. Ular signal protsessorlarga qo'shma protsessor kabi yoki alohida qayta ishlash bog'lamalari sifatida ishlay oladi. O'rta va kichik seriyali DMISlari qulay arxitekturasi, yuqori razryadli parallellashganligi, tizim uchun yetarli ishlash unumdorligi imkoniyati bilan farqlanadi.

DMISning oddiy nusxalaridan yaratilgan sxemalar, integral sxemalarning yuzdan ortiq (korpus) g'iliblariga to'g'ri keladi. DMISning signallarga raqamli ishlov berish (SRIB) algoritmlarida ishlatish qiyin bo'lganligi sababli ularni signal protsessorning interfeys sxemalarini real qurilmalarda ishlatish maqsadga muvofiq bo'ladi. Murakkab masalalarni yechishda fodalanuvchi tomonidan ventilli matritsasi yordamida dasturlanuvchi arxitekturadagi DMIS to'g'ri keladi. Bunday matritsalar 300 MGs takt chastotasiga ega bo'lib va murakkab parallel algoritmlarni yaratishi mumkin.

DMIS amaliyotda strukturasi yaratishda avtomatlashgan loyihalovchi tizimlar ishlab chiqilgan bo'lib, yaratiladigan qurilmalarni butunlay loyihalash, ularning ish faoliyatini dasturlash va kerak bo'lganda ularning konfiguratsiyasini tizimdan o'zgartirish imkoniyatini yaratadi. DMIS arxitekturasi asosiy xususiyatlari ko'paytirish, o'rin o'zgartirish va filtrlash algoritmlarini qo'llash imkonini beradi. Misol uchun Altera firmasining DMIS avlodiga tegishli FLEX6000 TFO', OIX va ChIX filtrlashning yuqori razryadli algoritmlarini amalga oshiradi va shu o'rinda signal protsessorga qaraganda juda yuqori tezlikda amalga oshiradi.

Uydagi apparaturaning ovoz panellarida maxsus protsessoridan foydalanishga TMS320DA710 audioprotsessor misol bo'la oladi. Ilgari virtuellashtirish uchun bir kodni ochishni, virtuellashtirishni va turli audioeffektlarni ta'minlaydigan bir nechta tovush panelidan (TP) foydalanilgan. Audio tashqi qurilmaga ega bo'lgan analog va raqamli komponentlarni birlashtiradigan qurilmalarning bir kristaldagi zamonaviy integratsiyasi bitta protsessor ovoz panelining butun tizimini ishlashini ta'minlash

imkonini beradi. 10.11-rasmda DA710 audioprotsessorning blok-sxemasi ko'rsatilgan.



10.11-rasm. TMS320DA710 audioprotsessorining blok-sxemasi.

Bu 300MGs taktli chastotaga ega bo'lgan 32-razryadli kuchli maxsus protsessor. U suruvchi vergulli amallarni amalga oshirishni ta'minlaydi va 1800 MFLOPS ishlab chiqarish kuchiga ega. Protsessor yuqori kengaytmaga ega ko'p kanalli audioma'lumotlarga bir vaqtda ishlov berish bilan birga ularning kodini ochish va kodlash funksiyalarini ta'minlash uchun xizmat qiladi.

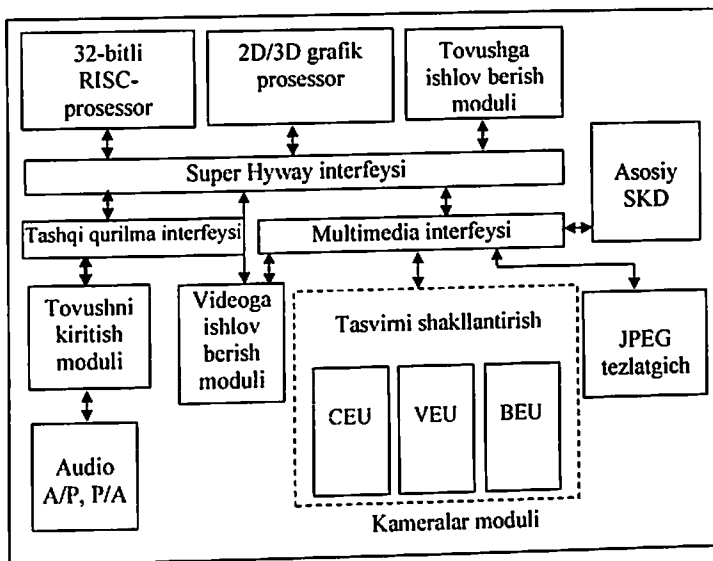
Protsessorni dasturlash uchun ishlab chiqaruvchilardan ovozli panellarni, protsessorni dasturlash bilimlarini talab qilmaydigan DA7x SDK (Software Development Kit) dasturiy ta'minot vositalari ko'zda tutilgan, chunki dasturlash grafik shaklda amalga oshirilgan.

Ko'rib chiqilgan turdagi maxsus protsessorlar elektron apparaturaning boshqa turlarida keng qo'llanadi. Yuqori unumdorlikka ega bo'lgan zamonaviy modemlarda modulyatsiya, demodulyatsiya, xatolarni aniqlash va tuzatish, uzatish parametrlarini sozlash uchun raqamli ishlov berish vositalari ishlatiladi. Videokuzatuv tizimining taraqqiyoti asta sekin eski videokuzatuv tizimlaridan (analog kamera, monitor va

videomagnitofondan iborat) farqli o'laroq kameralarga tasvirni qabul qilish, uni detektorlash (aniqlash), kuzatilayotgan obyekt trayektoriyasini kuzatish, muayyan hodisalar yuzaga kelganda foydalanuvchini xabardor qilish, signalni siqish va uni tarmoqqa uzatish funksiyalarini yuklaydigan IP-texnologiyalarga o'tmoqda. Ba'zi bir kameralarga videoma'lumotlari saqlash uchun qattiq disk va xotira kartalari ulanishi mumkin.

Videotexnologiyalar va sanoatda qo'llanadigan multimediali tizimlarda signal protsessorlardan foydalanish oddiy maxsus protsessorlarni kommunikatsiyalash va ularni integratsiyalashning («kristalldagi tizim» atamasi) yuqori darajasiga ega bo'lgan bitta kristalda joylashtirish g'oyasini yaratdi. Ushbu holda tizimga kamera, sensorli va suyuq kristalli displeylarning interfeyslari, shuningdek, sanoat kompyuter tizimida keng tarqalgan quyidagi interfeyslar integratsiyalangan (birlashtirilgan) bo'lishi kerak: yuqori tezlikli USB 2.0, SD xotira kartalari, shuningdek, Gigabit-Ethernet interfeysi. Tizim audio va videofunksiyalarni ta'minlay olishi muhim. Bu to'g'ri keladigan dasturiy kodeklarga ega yuqori tezlikli protsessorlar yordamida amalga oshirilishi mumkin, biroq ushbu yechim tezlik bo'yicha zamonaviy talablarga yetarli darajada javob bermaydi. Mikrochip maxsus apparat tezlantgichining ichiga o'rnatilgan protsessorlar eng yaxshi yechim hisoblanadi.

Renesas kompaniyasi multimediali ilovalar uchun kam energiya iste'mol qiladigan 32-bitli SH772x RISC-protsessorlarning maxsus oilasini ishlab chiqardi. Ushbu holda audio va videosignallarga ishlov berish va nutqni qabul qilish, shuningdek grafik tezlantirish uchun multimediali «kristaldagi tizimlar» ko'rinishidagi integratsiyalashning yuqori darajasiga ega yechimlar to'g'risida gap ketyapti. Bunday integratsiyalashgan tizimda komponentlar yuqori unumli superskalyar protsessorli yadroga ega bo'lsalar ham multimedia funksiyalarga qisman yadro bilan tezkor shinalar moduliga muvofiq ulangan (10.12-rasm) chekkalardagi mustaqil modullar tomonidan ishlov beriladi.



10.12-rasm. SH7772x oilasi protsessorlarining arxitekturasi.

Ushbu chekkadagi protsessor modullarining imkoniyatlari yetarli darajada keng. Videokamera moduli videosignallarga dastlabki ishlov berish uchun mo'ljallangan va tasvirni kiritish (CEU), o'Ichamini filtrlash va o'zgartirish moduli (VEU) protsessorini, fragmentlar o'rtasida oxista o'tish protsessori (BEU) ni o'z ichiga oladi. Tizim kristaliga shuningdek protsessorning video, ovozga ishlov berish, signallarni kodlash va kodini ochishning mustaqil modullari, garfik protsessor integratsiyalangan. Ishlov berishning ayrim bloklari o'rtasidagi kommunikatsiya Super Hyway shina yordamida amalga oshiriladi. Ushbu ikki yo'nalishli shina ma'lumotlarni 200 MGs chastotada 3,2 Gbit/s gacha tezlikda va 64 bit kenglikda uzatish imkonini beradi. Shina ketma-ket uzatishni, paketli uzatishni, shuningdek, marshrut ma'lumotlarini uzatishni ta'minlaydi.

Ishlov berishning ichiga o'rnatilgan modulli maxsus mikrochiplarning ta'riflangan arxitekturasi portatip proigrivatellar va navigatsion tizimlar, talabga to'liq javob beradigan displeyli sanoat kompyuterlarida, xavfsizlik tizimlari kameralarida, videotizimlar terminallarida foydalanish uchun juda to'g'ri keladi.

Maxsus yoki buyurtma mikrochiplar elektron komponentlar bozoringa katta

ulushini tashkil etadi, biroq ularning cheklangan soha uchun ixtisoslashtirilganligi va o'rnatilgan funksiyalarini qayta dasturlab bo'lmasligi oqibatida ular apparaturani modernizatsiya qilish va yangi imkoniyatlarni qo'shishini qiyinlashtiradi. Ularga qaraganda universal signal protsessorlarning muhim afzalligi – bu turli vazifalarni bajaradigan qurilmalarda qo'llash imkoni va ularni bozorga chiqish muddatini qisqartirilishidir.

Nazorat uchun savollar

1. SP da hisoblash tezkorligini oshirishning asosiy usullarini keltirib o'ting.
2. Garvard arxitekturasida xotira qanday bo'lingan?
3. Garvard arxitekturasida bitta buyruqning amalga oshirilishining qanday bosqichlari mavjud?
4. Maxsus buyruqlarga nimalar kiradi?
5. Apparat-dasturiy parallelizm deganda nima tushuniladi?
6. SIMD arxitekturasiga tarif bering.
7. Katta uzunlikga ega bo'lgan buyruqli so'zlarga ishlov berish (VLIW) deganda nima tushuniladi?
8. Superskalyar ishlov berish deganda nima tushuniladi?
9. Raqamli ishlov berish tizimidagi maxsus protsessorlarga misollar keltiring.
10. Kompyuterning video va audio karta protsessorlari nima maqsadda foydalaniladi?

XI BOB. SIGNAL PROTSESSORLARNING ZAMONAVIY MODELLARI

11.1. Texas Instruments kompaniyasini signal protsessorlari

Signallarga raqamli ishlov berish qo'llanadigan turli ilovalar ishlov berish apparaturasiga har xil, ko'pincha zid talablar qo'yadi. Shuning uchun apparat vositalarini ishlab chiqaruvchilar iste'molchilarning talablarini maksimal ravishda qondirish uchun SP turli modellarining keng to'plamlarini chiqarishga majburlar. Raqamli signal protsessorlarining jahondagi yetakchi ishlab chiqaruvchilari Texas Instruments, Analog Devices, Motorola ishlatilgan texnologik prinsip bo'yicha o'zlarining SP modellarini yaratmoqdalar. Dastlab xotira, interfeys, boshqarish elementlarining zarur to'plami va buyruqlarning tegishli to'plamiga ega bo'lgan ishlov berishning apparat yadrosi - asosiy protsessorning tayanch modeli yaratiladi. Protsessor yadrosi asosida aniq tadbirlar uchun qo'shimcha modullar to'plami bilan farq qiladigan SPning model qatori ishlab chiqariladi. Model qatori chegaralarida SP dasturiy kodi, ishlab chiqarish muhiti va dasturlar sozlanishi (otladki) bo'yicha to'g'ri keladi. Bunday yondashish ishlov berish yadrosining bazaviy arxitekturasini o'zgartirmasdan turli sohalarida qo'llash uchun SP apparaturasining talab etiladigan variantlarini tez yaratish imkonini beradi [9, 10].

SPning arxitekturasi, so'z formati, vazifasi va boshqa ko'pgina ko'rsatkichlariga muvofiq uning turli klassifikatsiyalari mavjud. Ushbu ko'rsatkichlar avvalgi bo'limlarda ko'rib chiqilgan, shuning uchun ularni eng samarali qo'llash sohasi nuqtai nazaridan kelib chiqib zamonaviy SP larni ko'rib chiqish maqsadga muvofiqdir. Yetakchi kompaniyalar SP sotiladigan bozorni o'zaro taqsimlab olinganligini hisobga olgan holda ko'rsatiladigan xizmatlar turlari va hal etiladigan masalalar nuqtai nazaridan ularni qurishning o'ziga xos xususiyatlarini ko'rib chiqamiz. Eng ko'p e'tibor universal arxitekturali SP ga qaratiladi. Universal SP – bu garvard arxitekturasiga, parallelizmning yuqori darajasiga ega, konveyrli ishlov berish va buyruqlar to'plamidan foydalanadigan, signallarga raqamli ishlov berish amallariga optimallashtirilgan yuqori tezlikdagi signal protsessorlardir.

Texas Instrument (TI) kompaniyasi uchta platforma (ishlov berish yadrolarining uchta turi bazasida) konsepsiyasini e'lon qildi, chunki SPning arxitekturasining o'zi keng qamrovli masalalarni hal etishda zid talablarning barchasini qoniqtira olmaydi. Har qanday arxitektura istalgan amaliy masalalar uchun yuqori unumdorlikni, iste'mol qilinadigan minimal quvvatni, maksimal funksional to'liqlikni va past narxlarni bir vaqtda ta'minlay olmaydi. Arxitekturani optimallashtirish maqsadida TI uchta mustaqil platforma: TMS320S2000, TMS320S5000 va TMS320S6000 yaratilishi to'g'risida e'lon qildi. Har bir platforma doirasida protsessorlar kod bo'yicha mos, bunda foydalanuvchining ixtiyoriga dasturlarni ishlab chiqarish va tuzatishning yagona muhiti taqdim etilgan. Har bir platforma boshqa platformalar bilan kam kesishadigan o'zining qo'llash sohasiga ega.

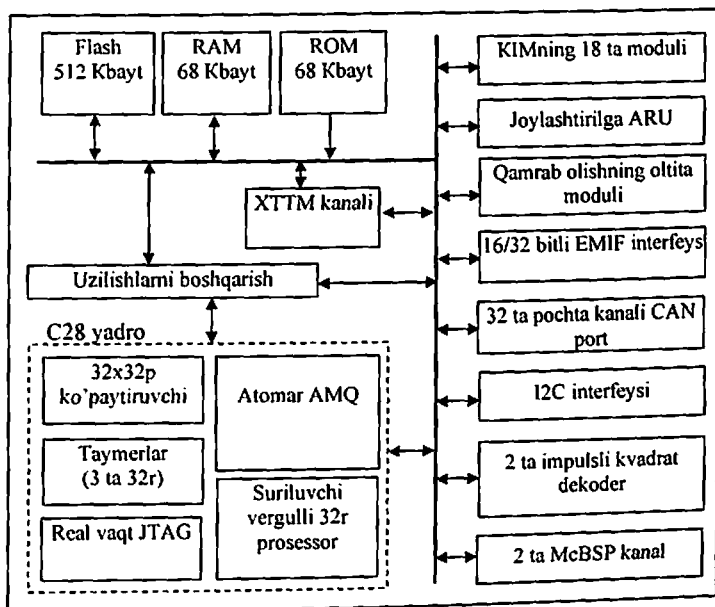
C2000 platformasi. SPlar ushbu turdagi modellar robototexnikada, sanoat avtomatlarida, qattiq disklarda, optik tarmoqlarda kommutatsiyalovchi elementlar sifatida qo'llanadi. Ushbu modellar protsessorlarining RISC-arxitekturasi o'zgaruvchan, hisoblash quvvati yetarli va dasturlash qulay. Platformaga protsessorlarning ikkita oilasi kiradi S24x va C28x. O'ntadan ko'p turi bo'lgan (xotira hajmida va chetki bog'lamalarida farq bor) oxirgi modelni ko'rib chiqamiz.

C28x protsessorining yadrosi 32-razryadli garvard arxitekturasiga, dasturlar va ma'lumotlarning bo'lingan shinalariga ega. Ma'lumotlar shinasini o'z navbatida ma'lumotlarga real vaqtda ishlov berish zarurati tufayli o'tkazish qobiliyatini oshirish maqsadida o'qish va yozish shinalariga bo'lingan. Protsessor bita mashina sikli davomida matritsali ko'paytirgich yordamida 32x32-razryadli MAC-amalni bajarish, natijalarning: 64-razryadli sonlari bilan amal bajarish imkoniyatini beradi. Qo'zg'almas nuqtadagi yuqori razryadlilik yetarli dinamik diapazonga ega bo'lish imkonini beradi. SPning ushbu oilasi tarkibida ataylab suruluvchi vergul protsessori kiritilgan modellari bor. Protsessor bir mashina takti davomida atomik AMQ hisobiga o'qish, ishlov berish va xotiraga yozish amallarini bajaradi. Unumdorligi 8-bosqichli konveyrni qo'llash hisobiga oshirilgan. Operativ xotirasi bir nechta sohaga bo'lingan, ularning har biridan dasturlar xotirasi kabi, yohud ma'lumotlar xotirasi kabi

foydalanish mumkin. Operativ xotiradan tashqari 16 tadan razryadli 128 K so'zgacha hajmga ega Flash-PZU bor. Protsessor yadrosining unumdorligi takt chastotasi 150 MGs bo'lganida 150 MIPS ni tashkil etadi [18].

C28x oilasi 12 razryadli 16 kanalga mo'ljallangan ARO' ni, taymerlarning katta to'plamini, kiritish/chiqarishning bo'lingan portlarini, kommunikatsion portlar to'plamini o'z ichiga oladigan tashqi qurilmalarning katta to'plamiga ega. Dasturlash C++ dasturlash tilida bajariladi.

11.1-rasmda C2000 oilasining model turiga kiradigan TMS320F28335 SP sxemasi keltirilgan (F harfi asosiy yadroning tarkibida suruluvchi vergulning alohida protsessori mavjudligini bildiradi).



11.1-rasm. TMS320F28335 kontrollerining funksional sxemasi

Unumdorligi 300 MFLOPS bo'lgan protsessor yadrosi 150 MGs chastotada 32-razryadli ko'paytirgich, atomik AMQ (bir vaqtning o'zida o'qiydi, ko'paytiradi va natijani yozadi), suruluvchi vergulning protsessori, 32-razryadli uchta taymer, ichiga o'rnatilgan JTAG tuzatish modulini o'z ichiga oladi.

Xotira osti tizimi 512 Kbayt hajmdagi Flash-xotirani, 68 Kbayt hajmdagi RAM xotirani va 68 Kbayt hajmdagi ROM xotirani o'z ichiga oladi.

Periferiya modullarining tarkibida: keng-impulsi modulyatsiyasiga (KIM) ega 18 ta qabul qilish, uzatish kanallari, yuqori tezlikli ARO' (16 kanal, 12 ta razryad, qayta o'zgartirish vaqti 80 ns), qo'lga olishning 6 ta moduli, 16 yoki 32 razryadli rejimidagi konfiguratsiya imkoniyatiga ega EMIF interfeys, EMIF interfeysini o'z ichiga oluvchi xotiradan bevosita murojaatli (XBM) 6 ta kanali, McBSP interfeysining 2 ta kanali, 32 ta pochta qutilariga (mailboxes) ega port SAN, 400 kbit/s texzlikka ega I2C interfeys, ikkita impulsi kvadrat dekoder bor.

TI firmasi bunday SPni qurishning o'ndan ortiq variantini taklif etadi.

C28x tayanch protsessori yadrosining standart to'plamiga suruluvchi vergulli sonlar ustida bajariladigan amallarni ta'minlovchi buyruqlar qo'shilgan. Bu C28x va F28335, shuningdek SP ushbu turining boshqa modellari uchun dasturlar to'liq muvofiqligiga ta'sir etmagan.

C5000 platformasi. S5000 – bu qo'zg'almas nuqtaga ega 16 ta razryadli SP. Birinchi navbatda telekommunikatsiyalarning mobil vositalari, tibbiyot texnikasining o'lchov qurilmalari uchun mo'ljallangan. Asosiy texnologik afzalliklari - bu iste'mol qilinadigan quvvatning yuqori tezligi.

Protsessorlar ushbu oilasining birinchi modellari (masalan C54xx) Mobil telefoniyaning katta bozorini egallagan va Nokia, Ericsson firmalarining apparatlarida foydalanilgan. Ushbu seriyaning modellari orasida ishlov berishning ko'p kanalli tizimlarida qo'llanadigan 2 va 4 yadroli protsessorlar bor, bu yerda yadrolar umumiy foydalaniluvchi xotiraga ega.

C55xx modeli eng perspektiv hisoblanadi. Protsessor yadrosiga yana bitta AMQ, yana bitta ko'paytirib qo'shish moduli qo'shilgan, shuning uchun protsessor bir vaqtning o'zida ikkitagacha hisoblash amallarini bajara oladi. Ichki shinalar soni ko'paytirilgan, ma'lumotlar shinalarining o'zi 5 ta: uchtasi o'qish uchun va ikkitasi yozish uchun. Buyruqlarning suzuvchi uzunligi kiritilgan. Konveyrli ishlov berishning kiritilishi hisobiga maksimal unumdorligi 600 MIPS gacha oshirilgan.

C55xx oila protsessorlari shartli ravishda bir nechta guruhlariga bo'linadi.

Birinchi guruhda umumiy foydalanishdagi SP: C5501/02/10. C5510 protsessori kristalldagi xotiraning eng katta hajmiga ega, C5501 va C5502 protsessorlari kristalldagi xotiraning eng kichik hajmiga ega, lekin adresning to'liq razryadli (so'z uzunligiga teng) tashqi shinalarni o'z ichiga oladi, bu esa, katta hajmdagi ma'lumotlar massivini ulash imkonini beradi.

C5503/07/09 protsessorlarning ikkinchi guruhi multimediali tizimlari - USB, Flash-cart interfeyslariga oson integrallanish imkonini beradigan turli tashqi qurilmani o'z ichiga oladi.

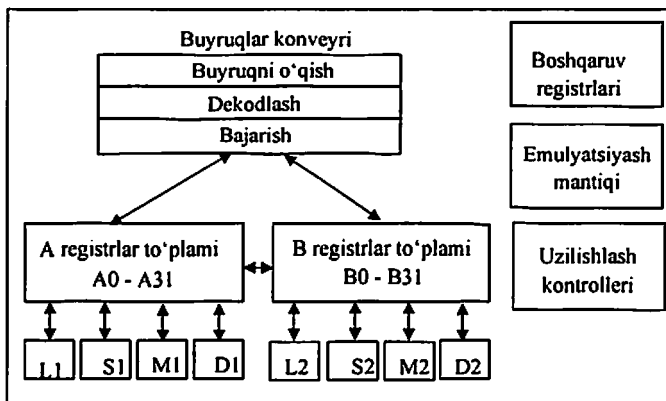
Uchinchi guruhni ushbu oilaga qisman taalluqli bo'lgan protsessorlar tashkil etadi (OMAR5910/12). Ular bitta kristallda ikkita yadroni o'z ichiga oladi: signal va xost-yadro. Ushbu protsessorlarga operatsion tizimlarning qatori adaptatsiyalangan, xususan Linux, bu ularning asosida murakkabroq tizimlarni qurish imkonini beradi, bu yerda signal yadrosi grafik, ovozli, video, telematik axborotga ishlov berishni bajaradi, ikkinchi yadro esa xost-protsessor vazifasini bajaradi. Rivojlangan tashqi qurilma klaviatura va displeydan turli kommunikatsion xossalargacha bo'lgan ko'pgina vazifalarni amalga oshirish imkonini beradi.

C6000 platformasi. SRIB zamonaviy ilg'or texnologiyalari parallel 200 MGs dan yuqori chastotalarda ishlov beruvchi va 400 Mbayt/s gacha o'tkazish polosasiga ega ko'p shinali arxitekturani ta'minlovchi ijro qurilmalari bazasida modulli ishlov berishning prinsiplarini talab etadi. Ularni amalga oshirish uchun mikroelektrotexnika sohasidagi eng oxirgi yutuqlardan foydalanish zarur. Yuqori tezlikli signal protsessorlar programmalanadigan mantiqiy integral sxemalar, shinalar kontrollerlari, ma'lumotlarni kiritish parallel kanallariga ega ichiga o'ratilgan ARO' bilan birga raqamli ishlov berishning murakkab algoritmlarining amalga oshirish uchun optimallashtirilgan.

C6000 protsessorlari uchta yo'nalish bo'yicha rivojlanadi.

Birinchi yo'nalish qo'zg'almas nuqtaga ega C62xx va C64xx protsessorlarini, ikkinchi yo'nalish suzuvchi nuqtaga ega C67x protsessorlarini, uchinchi yo'nalish qo'zg'almas nuqtaga ega C64x protsessorlarini o'z ichiga oladi, ular kengaytirilgan arxitektura va buyruqlarning yanada rivojlangan tizimiga ega.

C6000 oilasidagi barcha protsessorlar yadrosi markaziy protsessor qurilma (MPQ) hisoblanadi. Ushbu qurilma VLIW arxitekturasi asosida qurilgan. MPQning soddalashtirilgan strukturasi 11.2-rasmda keltirilgan.



11.2-rasm. MPQning struktura sxemasi.

MPQ ishlov berishning ikkita arifmetik blokiga ega, ularning har birida 4 tadan operatsion bog'lama bor:

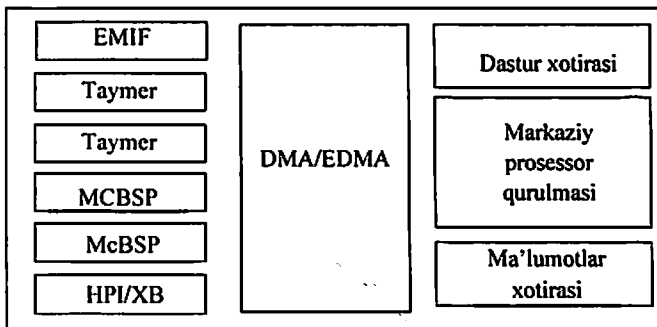
- arifmetik va mantiqiy, L1 taqqoslash amallarini bajaradigan bog'lama;
- S1 dasturini ko'chirish va tarmoqlantirish amallarni amalga oshirish sxemasi;
- M1 ko'paytirgich;
- D1 o'qish va yozish adres qurilmasi.

Buyruqlar ichki konveyrining, universal registrlar va ko'p oqimli arxitekturaning mavjudligi barcha 8 ta hisoblash bog'lamalarining bir vaqtda ishlash imkonini beradi. Bundan tashqari barcha bog'lamalar suruluvchi vergulga ega (yoki suruluvchi vergul bilan) arifmetik va mantiqiy amallarni bajara oladi.

MPQ xotiradan 256 bit uzunlikdagi so'zda birdaniga sakkizta 32-razryadli buyruqlarni chiqarib oladi. Ishlov beriladigan ikkita taktdan har biri (A va V) 32 ta razryadli 16 ta registrlil o'z blokiga ega, bunda har ikkala takt registrlari operativ ravishda birgalikda ishlashi mumkin. Shu tariqa protsessor bir taktda bir vaqtning o'zida (parallel ravishda) 8 ta buyruqni bajarishi mumkin. Protsessor buyruqlar va

ma'lumotlar uchun birinchi razryadli 32 Kbayt kesh va ikkinchi razryadli 2 Mbayt kesh ga ega.

C6000 platformaning umumlashtirilgan strukturasi 11.3-rasmda keltirilgan.



11.3-rasm. S6000 platformasining umumiy strukturasi.

Arxitekturasi umuman avvalgi modellar tendensiyasini aks ettiradi, lekin farqlari ham bor. EMIF interfeys 8/16/32 xotira so'zi bilan almashinishni ta'minlaydi. Taymerlar boshqa modellardagi kabi funksiyalarni bajaradilar. HPI xost-protsessor interfeysi bevosita, yohud kengayish shinasini ko'rinishida xost-protsessorga MPQning butun adres maydonidan foydalanishni taqdim etadigan 16 razryadli asinxron portdan iborat. Ko'p kanalli buferlangan navbatdagi McBSP port S6000 platformasini 125 Mbit/s tezlik bilan ketma-ket kiritish/chiqarish imkoniyati bilan to'ldiradi. Xotiradan to'g'ridan-to'g'ri foydalanish (DMA) ayrim kanallar ma'lumotlarini MPQ resurslarining ishtirokisiz alohida buferlarga saralash imkonini beradi. S6000 platformaning ba'zi modellarda ko'p sonli kanallari va ustun turadigan sxemasi bilan farq qiladigan kengaytirilgan EDMA kontroller ishlatiladi.

Bugungi kunda C6000 oilasidagi qo'zg'almas vergulga ega signal protsessorlar rasida TMS320C64xx oilasi katta qiziqish uyg'otadi. Ushbu oila ikkinchi avlod 'LIW arxitekturasi bazasida qurilgan (buyruqning uzun so'zi, parallel hisoblash iodullari, buyruq so'zi esa har bir modulga bittadan 8 ta parallel buyruq isoblanadi). Ikkinchi avloddagi o'zgarishlar protsessor yadrosiga, xususan iodullararo ulanishlarga tegishli bo'ldi, bu esa ular orasidagi o'tkazish qobiliyatini shirish imkonini berdi, bu o'z navbatida ma'lumotlar oqimi ustida hisoblash

algoritmlarini bajarishda unumdorlikni oshirishga olib keldi. Shuningdek hisoblash modullarining funktsionalligi oshdi. Ushbu xususiyatlar real vaqt masalalari – signal protsessorlarning asosiy ilovalarida g‘oyat jiddiy hisoblanadi.

C64x oilasiga protsessorlarning juda keng soni kiradi. Ular unumdorligi, ichki xotirasining hajmi va markaziy protsessorning xuddi shunday yadrosiga ega tashqi qurilma to‘plami bilan farq qiladi. Shu tarzda ishlab chiqaruvchi optimal ravishda past narxlarda hisoblash quvvati va tashqi qurilma to‘plami bo‘yicha amaliy masala talablariga javob beradigan MP tanlash imkoniyati mavjud bo‘ladi. Ushbu oiladagi MP real vaqt SRI ning ko‘p protsessorli tizimlarni (radiolokatsiya, taqsimlangan turdagi videotizimlar, tayanch stansiyalar telekommunikatsiya uskunalari) qurish uchun mo‘ljallangan.

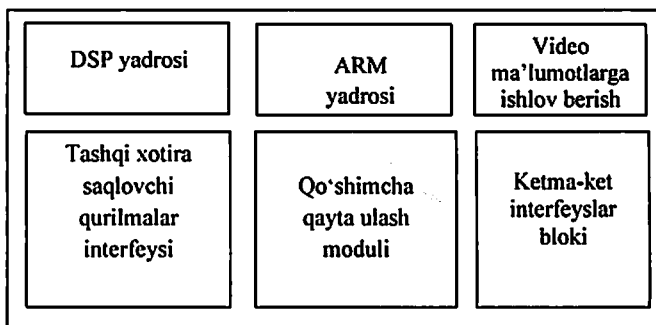
S64x oilasining alohida tarmog‘i – videoma‘lumotlarga ishlov berish uchun mo‘ljallangan TMS320DM64x protsessorlar. Ular turli formatlarda raqamli videoga oqimli ishlov berish imkoniyatiga ko‘p funktsiyali videoportlarni o‘z ichiga oladi.

C6000 platformasining suruluvchi vergulga ega SP lineykasi TMS320C67x oilasidan iborat. Ular dasturlar 64 Kbayt xotirasiga va ma‘lumotlarning 64 Kbayt xotirasiga, shuningdek suruluvchi vergulga ega hisoblashlarni apparat yordamida amalga oshiruvchi funktsional qurilmalar to‘plamiga ega. Sinxronlash chastotasi 160 MGs bo‘lganida unumdorlik 1 GFLOPS (bir sekundda suruluvchi vergulga ega milliard amallar)ni tashkil etadi. Protsessor assembler kodi darajasida C64x va C62x bilan mos. Eng samarali qo‘llanadigan – bu studiya ovoz yozish uskunasi, audio sintezatorlar.

Texas Instruments (TI) firmasining ikki yadroli signal protsessorlari.

TMS320DM64x protsessorlari TI kompaniyasining multimediali SPning navbatdagi avlodi - DaVinci modelining ikki yadroli protsessorlari uchun fundament bo‘lib xizmat qildi. TMS320DM64x protsessorlarni ishlab chiqarishda to‘plangan tajribadan foydalanib, TI kompaniyasi TMS320C6000 protsessorlar yuqori unumli oilasini va zamonaviy qo‘shimcha ishlov berish yadrosini integratsiyalash asosida multimediali protsessor yaratdi. Yuqori unumli asosiy protsessor (DSP-yadro) sifatida avval ko‘rib chiqilgan modernizatsiyalangan C64x TMS320C64xx protsessor

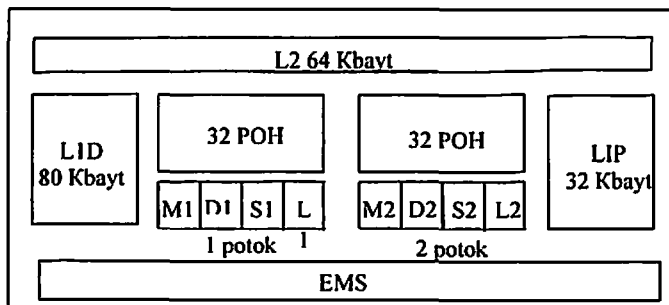
analogi qo'llangan, qo'shimcha universal ishlov berish qurilmasi sifatida esa ARM926 yadrosidan foydalanilgan. Bularning hammasi audio va video signallarga ko'p oqimli ishlov berishning deyarli har qanday masalasini hal etish imkonini beradi. DaVinci modelining SP ning umumlashtirilgan strukturasi 11.4-rasmda keltirilgan [28].



11.4-rasm. DaVinci modelidagi SPning umumiy strukturasi.

DSP-yadrosining mavjudligi audio va videoma'lumotlarga ishlov berishning istalgan algoritmlarini dasturiy amalga oshirish imkonini beradi. ARM yadrosi DSP yadrosiga to'g'ri keladigan yuklamalarni sezilarli darajada pasaytirish imkonini beradi. Xotira va saqlash qurilmalari interfeysi tashqari ulanadigan modullar bilan almashinuvning yuqori tezligini kafolatlaydi. Ulanishning qo'shimcha moduli standart tashqi portlar liniyasi bo'yicha almashinuvni amalga oshiradi. Ketma-ket interfeyslar bloki aniq qurilmalarni amalga oshirishda moslashuvchanlikni ta'minlaydi. Alohida tashkil etuvchilarni batafsilroq ko'rib chiqamiz.

11.5-rasmda TMS320C64xx oilasi DSP-yadrosining umumiy strukturaviy sxemasi taqdim etilgan.



11.5-rasm. TMS320C64xx oilasi DSP-yadrosining struktura sxemasi

Bu klassik bir vaqtning o'zida bir nechta yo'riqnomalarni bajarish imkoni beradigan VLIW-arxitektura. Yadro ikkita bir xil qismga (ishlov berish yo'llariga) bo'lingan 8 ta funksional bloklarni o'z ichiga oladi. Ulardan 6 ta blok AMQ (S1, S2, D1, D2, L1 i L2) funksiyasini, ikkitasi esa (M1 va M2) ko'paytiruvchi hisoblanadi. Akkumulyator yo'q, biroq uning funksiyasini bajara oladigan 64 ta umumiy foydalanishdagi registr (UFR) mavjud. Yadro ikki darajali keshga ega: birinchi daraja - bu L1P (32 kbayt dasturlar kodi uchun) va L1D (80 kbayt ma'lumotlar kodi uchun), ikkinchi daraja – L2 (64 kbayt dasturlar va ma'lumotlar kodi uchun). Bundan tashqari tashqi ma'lumotlarning tashqi omboridan foydalanish va xotiradan to'g'ridan-to'g'ri foydalanish rejimiga (DMA) ega xotira kontrolleri (TXK) mavjud. Adresatsiya baytli - bu 8,16,32,64-razryadli ma'lumotlar. To'lib ketishdan 8-razryadli himoya mavjud. Buyruqlar tizimi bitlar bo'yicha chiqarib olish, o'rnatish va chiqarib tashlashni ta'minlaydi. Buyruqlarning o'zi - 16-razryadli. Aniqlikni oshirish uchun 32-razryadli ko'paytirish amalga oshirilgan.

300 MGs taktli chastotaga ega ikkinchi ARM926 yadro xotiraning quyidagi hajmiga ega: 8 kbayt – kesh ma'lumotlar, 16 kbayt – kesh yo'riqnomalar, 16 Kbayt – O3V. ARM standart yadrodan foydalanish standart OT (Linux), dan foydalanish, tarmoq protokoli opsiyalarining moslashuvchan so'zlanishini amalga oshirish, shuningdek oddiy foydalanuvchi interfeysini amalga oshirish va ishlab chiqarilayotgan qurilma tomonidan boshqaruvning moslashuvchan tizimini ta'minlash imkonini beradi.

Videoma'lumotlarga ishlov berishning kichik tizimi RGB888 (75 MGs) va BTU656 (8 yoki 16 bit, 75 MGs) standartlarga javob beradigan, shuningdek, JK-panellarni ulash imkonini beradigan integratsiyalashgan video chiqishga ega. Video-chiqish kompozit chiqishni va S-video chiqishni ta'minlaydigan 4 ta 10-razryadli 54 MGs SAPni ulaydi va NTSC/PAL televizion formatlarni ta'minlaydi..

DaVinci protsessorlari oilasida uchta guruhni ajratish mumkin [32].

Birinchisi – yuqori unumli va eng qimmat TMS320DM6446 va TMS320DM4643. Bu DSPlar qurilmalarning ushbu klassida maksimal unumdorlikni ta'minlaydi va tashqi qurilma modullarining mumkin bo'lgan maksimal soniga ega bo'ladilar. TMS320DM6446 protsessori audio va video ma'lumotlar uchun to'liq funkSIONALLI ko'p oqimli kodekni amalga oshirish uchun, TMS320DM6443 – faqat ma'lumotlarni amalga oshirish uchun mo'ljallangan.

Ikkinchi guruhi hozirgi vaqtda bitta protsessor - TMS320DM644 ni o'z ichiga oladi. Bu universal protsessor bo'lib, uning bazasida to'liq funkSIONALLI audio va video kodekni amalga oshirish mumkin, biroq uning unumdorligi ushbu oiladagi eng ommabop protsessorlar unumdorligidan past.

Uchinchi guruhi - bu TMS320DM643x protsessori. Ularda ARM yadrosi yo'q, bu esa chiplar narxini sezilarli darajada pasaytirish imkonini berdi. Ularning vazifasi IP-kameralar yoki video-kuzatuv va qo'riqlash kameralari kabi audio va videoga ishlov berishning oxirgi qurilmalarni amalga oshirish.

DaVinci protsessorlari bazasida turli qurilmalarni amalga oshirishning keng imkoniyatini ta'kidlab o'tish kerak. Ushbu seriya bazasida audio va video ma'lumotlarga ishlov berishning istalgan zamonaviy qurilmalari amalda realizatsiya qilingan bo'lishi mumkin..

11.2. Analog Devices kompaniyasi signal protsessorlarining modellari

ADSP oilasining signalli protsessorlari yuqori unumdorligi va past narxi, shuningdek amaliy tizimlarni ishlab chiqarishning rivojlangan apparat va dasturiy

vositalarining mavjudligi tufayli TI va Motorola kompaniyalarining ana shunday mahsulotlari bilan muvaffaqiyatli raqobat qilmoqda. Signal algoritmlardagi protsessorlarning yuqori unumdorligiga buyruqlarning ko'p funktsionalligi va moslashuvchan tizimi, signal ishlov berish uchun xos bo'lgan amallarning ko'pini apparat yordamida amalga oshirish, hisoblash jarayonlari parallelizmining yuqori darajasi, buyruq siklining qisqarishi hisobiga erishiladi [34].

Eng istiqbolli SP ga quyidagilarni kiritish mumkin:

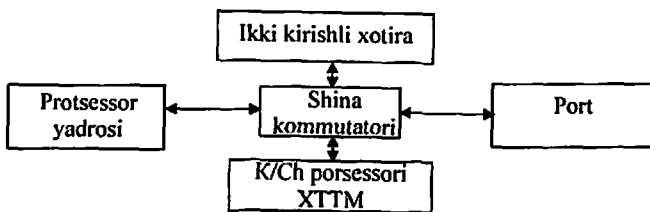
- SHARC (Super Harvard Architecture Computer) oilasining suruluvchi verguliga ega 32-razryadli ADSP-21xx modeli protsessorlari (masalan, ADSP2126x i ADSP2136x);

- Tiger SHARC (ADSP-TS101/201/202/203) oilasining suruluvchi verguliga ega 32-razryadli, yuqori unumdorli protsessorlar;

- Blackfin (ADSP-BF531/532/533/535/561) oilasining qo'zg'almas verguliga ega 16-razryadli, yuqori unumdorli signal protsessorlar.

SP ushbu modellarni batafsil ko'rib chiqamiz.

SHARC oilasidagi signal protsessorlar. Hozirgi vaqtda jahon bozorida majud 32-razryadli protsessorlardan farqli o'laroq SHARC-arxitektura unumdorligi bo'yicha jiddiy cheklashlarga ega emas. Ushbu oilaning barcha protsessorlari beshta asosiy qism – yuqori unumdorli yadrodan, katta hajmdagi ikki portli statistik OXQ dan, kiritish/chiqarishning kuchli protsessori va tashqi muhit bilan aloqa portidan, ichki shinalar bilan shina kommutatori orqali birlashtirilgan buyruqlar va ma'lumotlardan iborat (11.6-rasm).



11.6-rasm. SHARC arxitektura.

Yadro o'zining tarkibida uchta mustaqil parallel ishlaydigan, maxsus registrli faylda vaqtincha saqlanadigan, ma'lumotlar ustida arifmetik va mantiqiy amallarni bajaradigan hisoblash qurilmalariga ega. Bunday registrli faylning mavjudligi uzilishlarga tez ta'sir ko'rsatishni, masalan real vaqt tizimlarida ta'minlaydi. Yadroda ma'lumotlar adresining ikkita mustaqil generatori bor, ular hisoblash blokiga xotirani adresatsiyalashning o'zgaruvchan rejimlarini, xalqa buferlarini tashkil etishni ta'minlaydi. Yadroni boshqarish qurilmasi ichiga o'rnatilgan buyruqlar keshi bilan birga bitta mashina sikli davomida buyruqlarni tanlash va bajarishni amalga oshiradi.

Ikki portli O3Y har birini 48-razryadli buyruqlarni, xuddi shuningdek 8, 16 va 32-razryadli so'zlar ko'rinishidagi tashkil etishga yo'l qo'yadigan ma'lumotlarni saqlash uchun foydalanish mumkin bo'lgan ikita xotira blokidan iborat.

Axborotdan, protsessor yadrosi tomonidan va istalgan tashqi qurilmadan amalga oshirilishi mumkin.

Kiritish/chiqarish protsessori bevosita foydalanishning 10 ta kanalining ishini boshqaruvchi xotiradan bevosita foydalanish (XBF) kontrollerini, ikkita to'liq dasturlovchi ketma-ket portlarni (vaqti ajratilgan ko'p kanalli rejimni ta'minlovchi), protsessorlar va multipleks tizimlar o'rtasida operativ ravishda axborot almashinuvi uchun oltita tezkor 4-razryadli link-portlarni o'z ichiga oladi.

Tashqi muhit bilan aloqa porti tashqi qurilmalar bilan aloqa uchun ichki shinalar multipleksorlarini, ko'p protsessorli tizimni tashkil qilish uchun xost-portni, qo'shimcha harajatlarsiz oilaning oltitagacha bo'lgan protsessorlarining ishlashini bir vaqtda bitta shinada amalga oshirish imkonini beradigan multiprotsessorli interfeysni o'z ichiga oladi.

ADSP-21xx oila protsessorlari ma'lumotlarni uzatish samaradorligini oshirish uchun beshta ichki shinaga ega. Dasturlar xotirasi adreslari va ma'lumotlar xotirasining adreslari shinalaridan bir vaqtda dasturlar xotirasi va ma'lumotlar xotirasining adres maydonlari chegaralarida foydalaniladi. Dasturlar xotirasi ma'lumotlari shinalari va ma'lumotlar xotirasi ma'lumotlarining shinasidan, shuningdek, xotiraning tegishli sohalaridan ma'lumotlarni uzatish uchun bir vaqtda

foydalaniladi. Natija shinasidan oraliq natijalarni turli hisoblash bloklari o'rtasida to'g'ridan-to'g'ri uzatish uchun foydalaniladi.

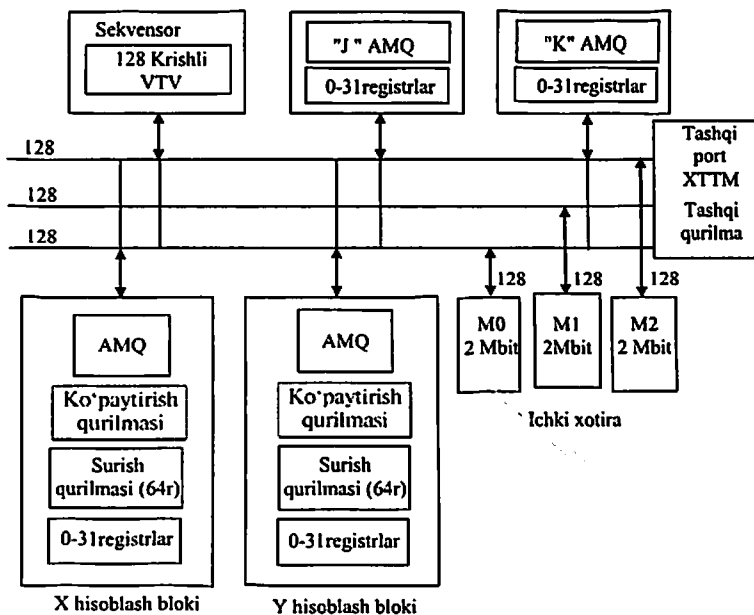
Ushbu arxitektura bitta mashina sikli davomida quyidagilarni amalga oshirish imkonini beradi:

- dastur navbatdagi buyrug'ining adresini generatsiyalash;
- hisob bo'yicha navbatdagi buyruqni tanlash;
- hisoblash amalini bajarish;
- ikkita ketma-ket portlardan ma'lumotlarni qabul qilish yoki uzatish.

SHARC oilasidagi signalli protsessorlar barcha o'rnatiladigan qurilmalarda yuqori klassdagi o'lchov va nazorat apparaturasida, tibbiyot apparaturasida, maishiy elektronikada, nutqni tanib olish tizimlarida, telekommunikatsiya vositalari va katta hisoblash quvvatiga va ma'lumotlar almashinuvining yuqori tezlikli vositalarini rivojlantirishga ehtiyoj bo'lgan boshqa qurilmalarda audiosignallarga ishlov berishni qo'llash uchun mo'ljallangan.

Suruluvchi vergulga ega uchinchi avlod signal protsessorlariga Analog Devices protsessorlarining kechroq yaratilgan modellari kiradi.

Tiger SHARC oilasidagi signal protsessorlar. ADSP-TS001 protsessor oilaning eng taniqli modeli bo'lib hisoblanadi (11.7-rasm).



11.7-rasm. ADSP - TS001 signal protsessoringing qisqartirilgan sxemasi.

Bu supeskalyar arxitekturaga ega bo'lgan, RISC-protssessorlar (buyruqning qo'zg'almas struktura, konveyrli ishlanishi, o'tishlarni oldindan aytib berish) va VLIW-arxitekturasi (kompilyatsiya bosqichida buyruq darajalarining parallelizmini aniqlash, funksional bloklarni yuklash dasturida mustaqil topshiriq berish imkoniyati) imkoniyatlari birlashgan birinchi protsessordir.

ADSP-TS001 150 MGs taktli chastotaga, lekin qo'zg'almas va suruluvchi vergul bilan ishlashda oila protssessorlari o'rtasida eng ko'p unumdorlikka ega, 8,16,32-razryadli ma'lumotlarga bir xil tezlikda ishlov berishi mumkin.

Ko'p protssessorli tizimga birlashtirishda 8 tagacha ADSP-TS001 protssessorlari birlashishi mumkin. 2 ta hisoblash bloki, ichki xotira, manzilli arifmetikasining 2 AMQ (AMQ «J» va AMQ «K»), buyruqlar ketma-ketligini tuzish bloki (sekvenscop), tashqi portlar, XBF kanallari, periferiya.

SP funksional qurilmalarining dastur kompilyatsiyasi bosqichida rejalashtirilayotgan samarali yuklash bir taktida 16-razryadli ma'lumotlar uchun to'plash bilan 2 ta ko'paytirish amalini, 16-razryadli kompleks sonlar to'plash bilan 2

ta ko'paytirish amalini yoki 80-razryadli sonlar bilan 32-razryadli ma'lumotlarni to'plash 2 ta amalni bajarish imkonini beradi.

AMQ «J» va AMQ «K» adreslarni hisoblash yoki ma'lumotlar ustida to'liq sonli amallarni bajarish uchun mo'ljallangan. Ular 32-razryadli registr fayliga ega, siklik buferlar va bit-revers adresatsiyani ta'minlaydi.

Sekvensor oldindan belgilangan shartlar natijalari bo'yicha buyruqlarni bajarish tartibini ta'minlaydi. Bundan tashqari bitta buyruqning o'zi ma'lumotlarning turli qiymatlaridan foydalangan holda ikkita blok tomonidan bir vaqtda bajarilishi mumkin (SIMD-ishlov berish). Sekvensor tarkibida o'tish adreslarining buferi (BTB-Branch Target Bufer) va o'tishlarni oldindan aytib berish bog'lama ishlatiladi.

SP ichki va tashqi xotirasi yagona adres maydoni ko'rinishida tashkil etilgan. Ichki xotira har biri 2 Mbit dan (M0, M1, M2), bo'lgan uchta 128-razryadli blokga bo'lingan. Bu xotiraga murojaat qilganda regisrli faylda normal, uzun va to'rt marta kattalashgan so'zlarni o'qish, shuningdek har bir siklda 4 tagacha 32-razryadli buyruqlarni tanlash imkonini beradi.

So'z uzunligi 8, 16 va 32 razryaddan iborat ma'lumotlar xotiraga ketma-ket joylangan holda yozilishi mumkin.

Uchta 128-razryadli shinalar ichki bloklar va tashqi qurilmalari o'rtasida tezkor kanalni hosil qiladi. Tashqi shinaning 64-razryadli interfeysi 8 ta protsessorga ega multiprotsessor tizimlar qurish imkonini beradi.

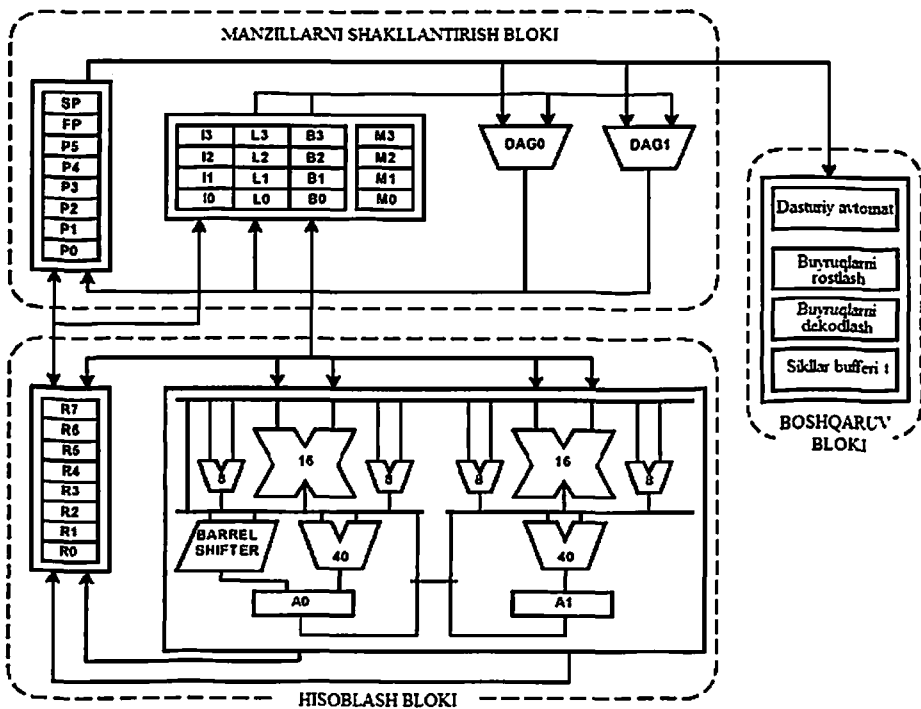
ADSP TS101/201/202/203 signal protsessorlar - eng kuchli protsessoridir, ular faqatgina yuqori unumdorlikka (bir sekunda to'plash bilan 480 mln. gacha ko'paytirish amallari) emas balki samarali multiprotsessor tizimlar qurish uchun mo'ljallangan ichiga o'rnatilgan kuchli qurilmalarga ega. Ushbu seriyadagi signal protsessorlarni qo'llashning asosiy sohalari quyidagilardir: signallarga vaqtning real masshtabida ko'p kanalli raqamli ishlov berish kerak bo'lgan mobil aloqa tarmoqlari uchun ko'p kanalli tayanch stansiyalar, Internet-telefoniya shlyuzlari, uch o'lchamli grafik tasvirlarga ishlov berish va siqish tizimlari, radarlar, ko'p kanalli raqamli abonent liniyalari, sanoatga va harbiy qismlarga mo'ljallangan qurilmalar.

Blackfin oilasidagi ikki yadroli protsessorlar. Analog Devices va Intel kompaniyalari MSA (Micro Signal Architecture) arxitekturasini ishlab chiqishdi va shu arxitekturaga asosan **Blackfin** toifasiga mansub protsessorlar yaratishdi [35]. Ushbu arxitektura o'zida hisoblash qurilmalari ikki toifadagi ustunlikka ega bo'lib, ularga signal protsessorlar va mikrokontrollerlarni o'zida mujassam etgan. 2005-yilga kelib bu oilaga mansub yangi ADSP BF561 ikki yadroli protsessorlari bilan mukammallashdi. ADSP BF561 bu ikki yadroli simmetrik protsessor bo'lib yadrolari qayta ishlashda bir xildir (11.8-rasm). Har bir yadro o'z ichiga:

- hisoblash bloki;
- registrli faylga;
- manzillarni shakllantiruvchi blokga;
- boshqaruv blokiga ega.

Hisoblash blokining asosini ikki (MAC) ko'paytirgich – to'plagichi tashkil etgan bo'lib, ularning har biri 16-darajali ko'paytirgichga va 40-darajali akkumulyatorga ega. 16 -lik va 32-razryadli ma'lumotlarga standart arifmetik mantiqiy amallarda ikkita 40-darajali chiquvchi buferli ACC0 va ACC1 arifmetik-mantiqiy qurilmalar amalga oshiradi. 40-darajali siljitish qurilmasi mantiqiy, arifmetik va sikllangan siljitish amallarini amalga oshirib, eksponentani chiqarib olish va normallashtirib, alohida kiruvchi bit yoki bitlar to'plami operandalari bilan manipulyatsiya qilish imkoniyatiga ega. Bundan tashqari hisoblash blokining ichida to'rtta 8-darajali arifmetik mantiqiy video qurilmasi mavjud bo'lib, 8-darajali videotasmalarni qayta ishlash imkoniyatiga ega.

Hisoblash bloklarining ishlashida ma'lumotlarni manbasi va qabul qiluvchisi registrli ma'lumot fayli hisoblanadi. Registrli ma'lumot fayli o'zida sakkizta universal 32-darajali (R0-R7) registrga ega bo'lib, ularning har biri amal toifasiga qarab 32 - darajali bir so'z yoki 16-darajali ikki so'z sifatida qabul qilishi mumkin. Yana bir registr fayli, manzillarni shakllantiruvchi blokka kiradi. U umumiy tayinlangan oltita registr ko'rsatkichiga (P0-P5) , maxsus stek ko'rsatkichini saqlovchi (SP) va stek kadri (FP) ga ega.



11.8-rasm. Blackfin protsessorining arxitekturasi

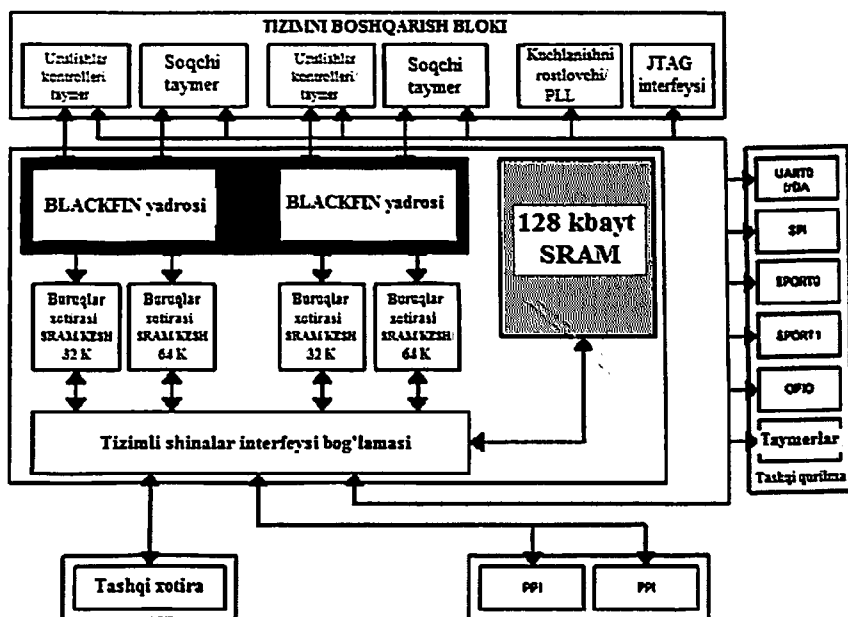
Manzillarni shakllantirishda bevosita ikki ma’lumot manzil generatori (DAG0 va DAG1) amalga oshiradi.

Siklik DAG buferlashda 4 ta 32 darajali (I) indeksga, (M) modifikatsiyaga, (L) uzunlikka va (B) baza registrlariga ega. Protsessor yadrosida buyruqlar bajarilishi holatini boshqaruv bloki amalga oshiradi. Avtomatlashgan dastur orqali bajariladigan buyruqlar manzillarini shakllantiradi va adreslarning chiziqli tartibi buzilishi; shartli va shartsiz sikllar, dasturlar, uzilish va cheklanishlar xolatlarni qayta ishlashni amalga oshiradi.

Dasturli avtomatdan yaratilgan manzil 10 – pog‘onali buyruqlar konveyriga keladi va u to‘g‘ri keluvchi buyruqni va deshiflashni amalga oshiradi.

Siklni bajarishda effektivligini oshirishda, boshqaruv blokining tarkibiga sikllar buferini kiritib, ular buyruqlar siklga kesh vazifasini o‘taydi.

ADSP-BF561 protsessorida iyerarxik uchpog'onali xotira modeli qo'llaniladi (11.9-rasm).



11.9-rasm. ADSP-BF561 protsessori arxitekturasi

Protsessorida maxsus kiritish/chiqarish muhiti mavjud emas, barcha resurslar 32-razryadli manzilli muhitda tasvirlangan. Birinchi bosqichdagi xotira yadroning takt chastotasi bilan ishlaydi lekin kichik hajmga ega. Har bir yadro o'ziga mo'ljallangan 100 kbayt hajmdagi xotiraga ega. Xotiraning bu qismi quyidagi strukturaga ega: 32 kbayt buyruq xotirasi, ulardan 16 kbayt kesh buyrug'i sifatida konfiguratsiya qilinishi mumkin. 64 kbayt ma'lumot xotirasi, ulardan 32 kbayt kesh ma'lumoti sifatida konfiguratsiyalanishi mumkin.

Kristallarda ikkinchi pog'onadagi 128 kbayt hajmli tezroq ishlaydigan xotira birlashgan. Bu xotirada buyruqlar kabi ma'lumotlar ham saqlash imkoniyati mavjud bo'lib, ular har ikkala yadroga ruxsat etganligi uchun kesh xotira sifatida konfiguratsiya qilish mumkin emas. Ikki toifadagi xotiralararo almashinishni optimallashtirish uchun protsessor arxitekturasi maxsus kontroller ajratilgan.

Blackfin protsessori iyerarxik modelining uchinchi pog'onasini tashqi xotira egallaydi. Tashqi xotira muhitida to'rttagacha 16 dan 512 Mbayt bank xotirasiga va to'rtta har biri 64 Mbayt assinxron flesh-xotiraga ega bo'lishi mumkin.

ADSP-BF561 protsessoring tashqi shinasining razryadi 32 bitni tashkil qiladi. Blackfin oilasiga mansub boshqa protsessorlar kabi ADSP-BF561 protsessori ham birlashtirilgan ko'p imkoniyatli periferik bog'lamalariga ega. Kristallga ikkinchi yadroning qo'shilishi umumiy foydalanishda oldingi bir yadroli modellarga nisbatan kirish/chiqish chiziqlarini GPIO 16 dan 48 gacha oshdi.

Qo'shimcha tekshiruvchi taymeri, yadroning qo'shimcha taymeri va umumiy foydalanuvchi to'qqizta qo'shimcha belgilangan taymerlar qo'shildi. Ammo eng qiziq xossasi shuki, ADSP BF 561ni videotasvirlarga ishlov berishda 16-darajali parallel PPI porti borligidir. Parallel portlar qo'shimcha mantiqiy qo'shimchalarsiz protsessorga ko'p standartdagi analog raqamli o'zgartirgich (ARO'), raqamli analog o'zgartirgich (RAO'), videokoderlar, dekoderlar, kristallarda ikki PPI portlari raqamli videosignallarni kiritish, «joyida» qayta ishlash, tashqi qurilmalarni multiplekslamasdan chiqarish va tashish imkonini beradi. Ikki parallel protlardan tashkari ADSP BF561 bir nechta ketma-ket standart SPI, SPORT va UART interfeysga ega.

ADSP BF561 protsessorning yana bir imkoniyatlaridan biri bu ichki kuchlanishni boshqaruvchi funksional blokidir. Uning imkoniyati yadroning manba kuchlanishini dinamik o'zgartirish, takt chastotasini o'zgartirish, birlashtirilgan pereferik qurilmalari, protsessorga tushadigan (nagruzkaga) hisoblash toifasiga qarab ishlatiladigan quvvatni o'zgartirish imkoniyatini beradi. Blackfin protsessoring bunday xususiyati batareykada ishlaydigan protativ tizimlari uchun o'rin almashtirmaydigan xossasidir.

Protsessorning buyruqlar yig'indisi 16 va 32-darajali buyruqlardan tashkil topgan bo'lib, ko'p bajariladigan buyruqlar (regisrlarni yuklovchi/saqlovchi) 16-bitlar bilan kodlanadi, arifmetik buyruqlar, bitlar bilan manipulyatsiya qilish buyruqlari 32-bitlar bilan kodlanadi. ADSP BF561 arxitekturasi 16 va 32 darajali ixtiyoriy buyruqlarni xotiraga joylashtirish imkoniga ega. Ichki shinaning

tarmoqlangan tizimi va ko'p sonli hisoblash bloklar har protsessorning yadrolarini bir siklda bir nechta buyruqlarni bajarish imkonini berib, shu asosda kodning zichligi oshadi. Buyruqlar to'plamining bunday xossalari ko'p qamrovli mikrokontrollerlarga mos xususiyatlarida C\C++ tillarida yozilgan kodni kompilyatsiya qilishda yuqori unumlilikni ta'minlashi dasturlarni yaratishda qulaylik tug'diradi.

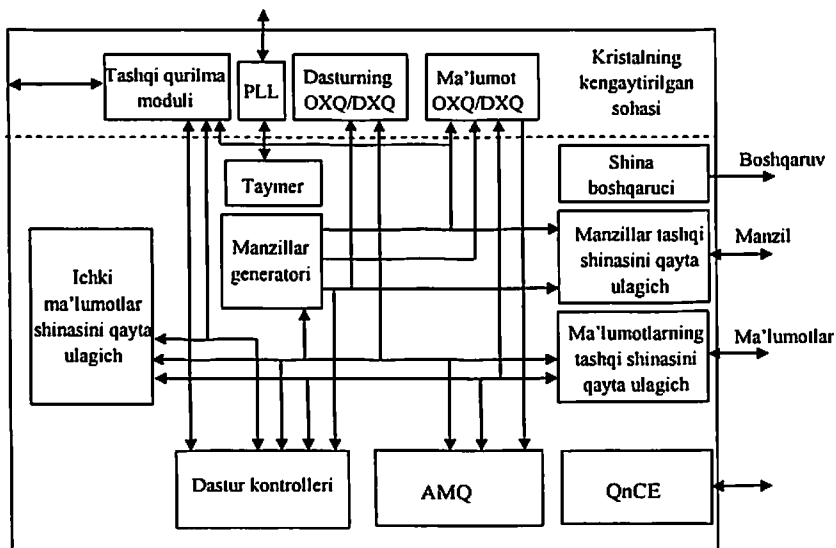
Yuqorida keltirilgan ADSP BF561 protsessor arxitekturasi imkoniyatlaridan kelib chiqqan holda ishlab chiqaruvchiga bitta qimmat bo'lmagan protsessor imkoniyatlaridan foydalanib intensiv signallarni qayta ishlovchi murakkab tizimlarni yaratish imkonini beradi. Ammo ma'lum bir masalani yechishda protsessor imkoniyatlaridan yuqori unumlilikka erishish uchun yaratish qismida tizimga to'g'ri keladigan dasturiy ta'minot modelini tashkil qilish kerak.

11.3. Motorola kompaniyasining signal protsessorlar modellari

Signal protsessorlar ishlab chiqaradigan har bir kompaniya elektron texnika bozorida o'z o'miga ega. Analog Devices kompaniyasining mahsuloti Texas Instruments va Motorola kompaniyalarining protsessorlariga nisbatan murakkab masalalarni yechishda unumdorligi yuqori bo'lib, ularga: katta hajmdagi matematik amallarni bajarish (raqamli filtrlash, korrelyatsion analizda (o'zaro bog'liq tahlilda), tasvirlarga ishlov berish kabi) masalalar kiradi. Tashqi qurilmalar bilan intensiv ravishda almashinuv masalalarida (ko'p protsessorli tizimlarda, nazorat tizimlarida, tashxisda, boshqaruvda), Texas Instruments kompaniyasining protsessorlari yuqori tezlik interfeysiga ega bo'lgani uchun ishlatish maqsadga muvofiq bo'ladi. Motorola kompaniyasi nisbatan oddiy 16 va 24 darajali qaydlangan vergulli signal protsessorlar ishlab chiqarish borasida birinchilardan hisoblanadi [35].

Kengaytirilgan kommunikatsion imkoniyatlari, dasturlar va ma'lumotlarga yetarli ichki kristalli xotira hajmiga, energiya tejash rejimiga ega bo'lgan bu signal protsessorlarni texnologik protsessorlarni boshqarish kontrollerlari sifatida, maishiy elektron qurilmalarda, avtomobil elektronikasida va mobil aloqa tizimlarida qo'llaniladi.

Motorola kompaniyasining eng perspektiv signal protsessori DSP56800, o'zining ish unumdorligi/sifati/narxi bilan eng zo'r ko'rsatkichlarga ega. Bu oilaga tegishli protsessorning umumlashgan strukturali sxemasi 11.10-rasmda keltirilgan.



11.10-rasm. DSP568xx oilasidagi protsessorlarning struktura sxemasi

Bu oila «semeystvo» arxitekturasida o'zida signal protsessor effektivligidek, mikrokontrollerlar yordamida an'anaviy boshqarish funksiyalarni o'zida mujassamlashtirgan. Uning yadrosi to'rt funksional qurilmadan tashkil topgan bo'lib: dastur kontrolleri, manzillarni generatsiya qiluvchi 16 bitli qurilmadan, 16 darajali arifmetik mantiqiy qurilma va 8 pog'onali FIFO buferli QnCE emulyatsiya portiga, JTAG sozlash portiga chiqish imkoniyatiga ega.

AMQ (arifmetik mantiqiy qurilma) tarkibini: 16x16 (MAC) darajani to'plash va ko'paytirish qurilmasi, barcha amallarni bir siklda bajarish, ikkita bit kengaytmali 36-bitli akkumulyator tashkil qiladi. Protsessor tarkibida tashqi xotira bog'lamalari interfeysi (ma'lumotlar, manzil, boshqarish), real vaqtda to'xtatgich taymeri, energiyani tejash va chastotani pasaytirish moduli (PLL) mavjud.

Har bir yadro qurilmasida o'zining registrlar to'plami va mantiqiy boshqarishi shunday tashkil qilinganki, mustaqil ravishda va bir vaqtning o'zida boshqa uchtasi bilan ishlash imkoniyatiga ega.

Manzillarni ichki shinalari va ma'lumotlari xotira orqali bog'langan bo'lib, ularga funksional va pereferik qurilmalar kiradi. Shunday qilib yadro bir vaqtning o'zida bir nechta amallarni bajaradi: boshqarish qurilmasi birinchi buyruqni tanlaydi, manzillarni generatsiya qiluvchi qurilma ikkinchi buyruqda ikkitagacha manzil generatsiya qiladi, AMQ (arifmetik mantiqiy qurilma) uchinchi buyruqni ko'paytirish amalini bajaradi.

Kristallar doirasini kengaytirish har xil modellar seriyalarida kristallga birlashtirilgan turli xil hajmdagi operativ xotiraga va doimiy xotiraga ega bo'lishi mumkin.

SP garvard arxitekturasi ikki mustaqil xotira muhitiga, ma'lumotlarga va tezkor xotira shaklidagi dastur va flesh-xotira bilan ta'minlaydi. Flesh-xotira rusum model toifasiga qarab (dasturlar uchun) 8 Kbaytdan 64 Kbaytgacha va (ma'lumotlar uchun) 2 Kbaytdan 8 Kbaytgacha bo'ladi.

Tezkor xotira hajmi (dasturlar uchun) 1 Kbaytdan 2 Kbaytgacha va (ma'lumotlar uchun) 1 Kbaytdan 4 Kbaytgacha bo'ladi.

Tashqi modullar ishlatilish sohasiga qarab turli xil modifikatsiyada bo'ladi. Ularning ichiga parallel va ketma-ket interfeys sxemalar, Analog raqamli o'zgartirgich, dekoderlar, taymerlar, tashqi uzilishlarni dasturlanuvchi kirishlari kiradi. Har bir Motorola firmasidagi protsessorga yuqorida keltirilgan boshqa kompaniya protsessorlari kabi, standart tekshirilgan platalarda, JTAG-porti orqali dasturiy ta'minotni tekshiradi.

Ko'rib chiqilgan zamonaviy SP modellari bilan bir qatorda bozorda boshqa ishlab chiqaruvchilar protsessorlarining istiqbolli modellari mavjud. Ularning ba'zilar muammolarni yechishga qaratilgan bo'lsa ham ko'pchiligi signallarni raqamli ishlov berish masalalarini yechishga mo'ljallangan. Ular orasida o'z arxitekturasi parallel ishlov berish imkoniyati va ma'lumotlarni o'zgartirishning

murakkab sonli usullarini bir-biriga qo'shib amalga oshiruvchi ko'p yadroli SP katta o'rin egallaydi. Ba'zi misollarni ko'rib chiqamiz.

Texas Instrument kompaniyasi bozorga ko'p kanalli, yuqori unumli ilovalarga mo'ljallangan 6 yadroli TMS320C6477 protsessorini DSP yangi sanoati bozoriga chiqardi. DSP protsessorlarining asosiy xususiyatlari quyidagilardan iborat:

- 500 MGs taktli chastotaga ega bo'lgan va oldin ko'rib chiqilgan C64x signal protsessorlar bilan butunlay mos keladigan oltita C64x yadro;
- 4 Mbaytgacha RAM L1/L2 mavjudligi;
- protsessor har bir yadro uchun L1 kesh, 758 Kb xajmli L2 ma'lumotlar va dastur xotirasini bo'luvchi va ikkala yadrodan foydalanadigan dispetcherga ega;
- yuqori darajadagi qo'shimcha imkoniyatlar: gigabitli Ethernet, telekommunikatsion TSIP porti, Host-port interfeysi (HPI) va umumiy foydalanish uchun mo'ljallangan oddiy interfeyslar.

«ЭЛВИС» (Rossiya) ilmiy-ishlab chiqarish markazida yaratilgan «Multikor» seriyadagi raqamli signal protsessorlari IP-yadroli platforma bazasida ko'p protsessorli dasturlashtirilgan "kristaldagi tizim" hisoblanadi. Bu seriyadagi protsessorlarning asosiy maqsadi boshqarish tizimlarida signallar va tasvirlarga ishlov berish va axborotlarga yuqori aniqlikda ishlov berishdan iborat.

Bugungi kungacha «Multikor» modeli SPLarining katta seriyasi chiqarilgan. Ular o'zining ishlash chastotasi, yuqori unumdorligi, arxitekturasi va hisoblovchi yadrolari soni bilan ajralib turadi.

Bu seriyadagi protsessorlarning oxirgi modeli MC-0428 bo'lib, u quyidagi tasniflarga ega:

- tayyorlash texnologiyasi - 0,18 mkm;
- 5 protsessorli MIMD arxitektura;
- 250-340 MGs ishlash chastotasi;
- yuqori unumdorligi (32 bitda) - 8000 MFLOPS.

Modeliga qarab mikrosxemalar 2 dan 8 Mbgacha ichki xotira, SHARC mos keluvchi qo'shimcha USB portlar va linklar, Ethernet, PSI, JTAG, SpaseWire va Serial Rapid IO IP giperlinklariga ega.

Signal protsessorlarining muhim sinfini ishlov berishning "o'rnatiladigan tizimlari" tashkil etadi. Ular ancha murakkab ishlov beruvchi qurilmaning ichki qismiga joylashtiriladi va kichik o'lchami, minimal quvvat iste'moli kabi ko'rsatkichlarga ega. Qoidaga ko'ra ular bitta kristallda joylashtirilgan bo'ladi.

11.4. Signal protsessorlar arxitekturasining rivojlanish istiqbollari

Signal protsessorlarda ma'lumotlarni qayta ishlov berish paralelligini oshirish va protsessorlar, tashqi xotira va boshqa komponentlar o'rtasidagi yuqori tezlikda ulanishlardan foydalanish integral sxemalarni ishlab chiqaruvchilarga infrastruktura uchun platalar va shlyuzlar tizimining yangi avlodini yaratish imkonini berdi. Bu tizimlar xizmatlarni yetkazib beruvchilarga paralell ravishda Triple Play servislarini taqdim etish, shu bilan birga trafik va yuklama to'ring o'zgarishlariga tezda moslashish imkonini beradi [7].

Loyihalashning ba'zi strategiyalariga kristall qurilmada qo'shimcha qo'shprotsessorlarni birlashtirish va amallarning paralelliligini olishi yaqqol misol bo'ladi. Bunda integral sxemalar va platalarni ishlab chiqaruvchilar bir nechta protsessorlarga ega platalar narxi optimal emasligini biladilar. Shuningdek bir kristallda protsessorlarning bir nechta yadrolarini integratsiyalash amalda qo'llanilayapti. Bir nechta MSP to'plamiga qaraganda narxlarni pasayishi bilan bog'lik yaqqol foydadan tashqari, ko'p yadroli MSPlar ko'proq afzalliklarni taqdim etadi.

Hotiradan birga foydalanadigan bir nechta yadrolar past takt chastotasiga va kamroq ta'minot kuchlanishiga ega bo'lishi mumkin, bu esa kanalga kamroq quvvat to'g'ri kelishiga olib keladi. Ko'pyadrolilik shuningdek mobil aloqa va oxirgi

paytlarda paydo bo'lgan WiMAX ilovalari infrastrukturasi xos bo'lgan imkoniyatlarni yaratadi.

Xozirgi vaqtda signallarga raqamli islov berish qurilmalarini 3 ta asosiy sinfga ajratish mumkin:

- universal protsessorlar;
- signal protsessorlari (DSP);
- dasturlashtirilgan mantiqiy integral sxemalar (DMIS) asosida signallarga raqamli islov berish qurilmalari.

Universal protsessorlarning kichik modellari bu 8-32 razryadli mikrokontrollerlar. Universal protsessorlarning katta modellariga esa shaxsiy kompyuterlar, ishchi stansiya, tarmoq serverlarining markaziy protsessorlari kiradi. Bularga mashhur Pentium va Power PC oilasiga mansub protsessorlar kiradi.

Kichik modeldagi signal protsessorlari tuzilishining oddiyligi va SRIB masalalarini yechishga mo'ljallanganligi, tezkorlikni talab etmasligi, kam elektr iste'moli va arzonligi bilan ajralib turadi. Bu modellarning zimmasiga DSP sotuvlarining asosiy hajmi yuklanadi. Kichik modellarga misol bu oldin eslatib o'tilgan, TMS320C54x signal protsessorlaridir. DSPning katta modellari uzun buyruqli so'zlardan foydalanish (VLIW) arxitekturasi va "bitta buyruq ko'p ma'lumotlar" (SIMD mashxur arxitekturasi) asosida amalga oshiriladi. Bunday modellarga misol qilib, Analog Devices kompaniyasining Tiger SHARC protsessorlari oilasini olish mumkin. Signal protsessorlarning katta modellari tibbiyot apparaturalarida, uyali aloqalarning statsionar stansiyalarida, elektron razvetka vositalarida, radio va gidrolokatsiya stansiyalarida, sun'iy yo'ldoshli video uzatuvchi qurilmalarda qo'llaniladi.

Keyingi paytlarda DMIS ham alohida ham an'anaviy DSP protsessorlari bilan birgalikda foydalangan holda konstruktiv texnologik yechimlarda keng qo'llanilmoqda. Signalga raqamli islov berish bu bitta amaliy masala emas, balki signalga oldindan islov berish va uning yakuniy islov berishga bo'linuvchi bir-biri bilan bog'liq masalalar majmuasidir. So'z tizimi va qurilmalari berilgan parametrlar aniqligi va tezligida barcha darajadagi islov berish masalalarini yechishga

yo'naltirilgan bo'lishi kerak. Bunda qurilmaning narxi, o'lchami va ekspluatatsion tasnifi ham kam rol o'ynamaydi. Shuning uchun DSP DMIS sxemalari bilan birgalikda talab etilgan texnik parametrlarni ta'minlashi mumkin. Lekin albatta uning xususiyatlarini hisobga olish shart.

Yuqori aniqlik talab etilganida DMIS suriluvchi vergulli amallarni bajara olmaydi. Ayni paytda radiolokatsiya vositalari, elektron razvetkalar, akustik va gioinformatsion tizimlar suriluvchi vergulli ko'p sonli TFO' amallarini o'tkazilishini talab etadi. Bundan tashqari matritsaga murojaat etish, tenglamalar sistemasini yechish kabi jarayonlarni DSP yordamida amalga oshirish ma'quldir.

Parallel ishlov berish imkoniyatlarini nazarda tutuvchi vektorlar va matritsalarini ko'paytirish amali, yig'ib qo'yish (svertka) va korrelyatsiya kabi operatsiyalarda DMIS qo'llanilishi parallel ishlovchi bir necha chiplar hisobiga bir vaqtda bir necha amallarni bajarish imkonini beradi.

Shunday qilib DSP suriluvchi vergulli murakkab algoritmlar bilan ishlashga ko'proq mos keladi, DMIS esa qo'zg'almas vergul bilan ishlovchi va yuqori darajadagi paralellizmni talab etuvchi tizimlarda qo'llash maqsadga muvofiqdir.

Tezlik va aniqlik yuqori darajada talab etilganda bitta umumiy plataga joylashtirilgan DSP va DMIS birgalikda ishlashiga asoslangan qo'shma qurilmalardan foydalanish mumkin. Bunda kiritish-chiqarish interfeysi, protsessorlarning o'zaro bog'liqligi, xotira konfiguratsiyasi, hisoblashlarni boshqarish masalalari hal qilingan bo'lishi kerak. Bunday kombinatsion raqamli ishlov berish qurilmalari uchun dasturiy ta'minot yaratishda sezilarli qiyinchiliklarga duch kelinishi mumkin.

1970 yillardan kompyuter revolyutsiyasi vaqtidan beri ma'lumotlarni qabul qilish, ularga ishlov berish va ularni uzatish tizimlarini rivojlantirishda bo'lgusi o'zgarishlarni aniqlab bergan bir nechta tendensiyalar yuzaga keldi. Bu tendensiyalar signal protsessorlar arxitekturasi – telekommunikatsiya tizimlari va real vaqt tizimlari muhim komponentlari rivojlanishiga ham katta ta'sir ko'rsatadi.

Ushbu tendensiyalar orasida:

– ovoz trafigidan faqat ovoz trafigi va ma'lumotlar trafigi majmuiga o'tish; Bu tendensiya 10 yillar oldin paydo bo'ldi va hozirgi vaqtda to'liq amalga oshirilmoqda.

– multimedia trafigini, xususan multimedia oqimini mavjud ovoz va ma'lumotlar trafigiga qo'shish. Bu tendensiya telekommunikatsiya xizmatini yetkazib beruvchilarining ovoz va video ma'lumotlarni uzatishni ta'minlovchi Triple Play servislarga o'tishi bilan tasdiqlanadi;

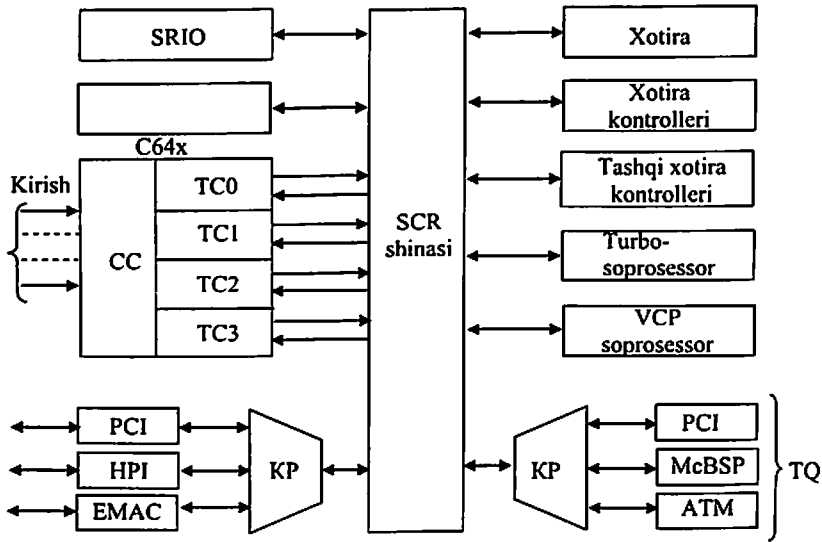
– stasionar servislardan uydagi servislarga, undan so'ng mobil xizmatlarga o'tish. Simli infrastrukturada ko'p o'rin tutgan ovoz\ma'lumotlar\multimedia kompleks evolyutsiyasi hozirgi vaqtda simsiz tizimlarda ham amalga oshirilayapti. Birinchi uch tendensiya yana bir tendensiyani: kommutatsiyalanadigan kanallar bo'ylab ma'lumotlarni uzatishdan paketli uzatishga o'tish xususan IP protokol asosidagi trafikka o'tish tendensiyasini keltirib chiqardi. Ovozli aloqa davrida telekommunikatsion signallariga ishlov berish odatda aks sadoni bostirish, ma'lumotlarni uzatish modemlari uchun liniyalarni tayyorlash, shuningdek, kommutatsiyalanadigan aloqa liniyalari bo'yicha uzatiladigan ma'lumotlarni modulyatsiyasi va demodulyatsiyasi uchun signalga ishlov berish bilan cheklangan. Hozirgi vaqtda raqamli kodlash va koddan chiqarish, shuningdek video, audio, axborot ma'lumotlari oqimlarini siqish va yoyish uchun signallarga ishlov berishning o'nlab algoritmlari qo'llanadi. Kompyuter tizimlari nafaqat ma'lumotlar hajmini o'sishi bilangina emas, balki singnallarga ishlov berish hajmini o'sish amallarini amalga oshiradi. Trafik hajmini ortishini ta'minlash uchun sezilarli darajada unumdorlikni oshirish zarur. Ushbu masalani yechimlaridan biri raqamli signal protsessor takt chastotasini orttirishdir. Bunday yechim bir qator sabablarga ko'ra yetarli emas. Birinchidan integral sxema ishlashi mumkin bo'lgan chegaraviy takt chastota mavjud. Ikkinchidan ishlov beriladigan va uzatiladigan axborot hajmi eksponensial ravishda o'sib borayotganligini hisobga olgan holda, unumdorlikka bo'lgan talab takt chastotasi juda yuqori bo'lganda ham mavjud imkoniyatlardan ortib ketadi.

Boshqa prinsipial muammo shundan iboratki takt chastotasi juda yuqori bo'lganda kuchli issiqlik ajralishi takt chastotasining amalda yanada ortishi imkonini

bermaydi. Signal protsessorlar arxitekturasi rivojlanishining ikkita aktual yo'nalishini ko'rib chiqamiz: telekommunikatsiya tizimlari va video ishlov berish tizimlari.

Telekommunikatsiya tizimlari. Dastlabki ma'lumotlarning muntazam ortib borayotgan hajmiga ishlov berish mikrosxemaga o'rnatilgan, ma'lumotlar uzatishning yuqori unumdorlikka ega va samarali vositalarini talab qiladi. Arxitektura nuqtai nazaridan bunga protsessor elementlarini – protsessorning o'zini, tashqi qurilmani ulab erishish mumkin. Qo'shprotsessorlar - tezlatgichlar va ichki xotirani – kommutatsiyalanadigan markaziy SCR (switched central resource) resurs shinasini orqali. Ya'ni arxitektura yetakchi va yetaklanuvchi qurilmalar mavjudligida kommutatsiya tizimidan iborat. 11.11-rasmda bunday arxitekturaga misol bo'la oladigan Texas Instruments protsessor TMS320C6455 kompaniyasi tomonidan ishlab chiqarilgan blok-sxema keltirilgan [19].

Kommutatsiyalanadigan markaziy resurs shinasidan chap tomondagi yetakchi qurilmalaridan istalganini bevosita undan o'ng tomondagi yetakchi qurilmalar bilan ulash mumkin. Yetakchi qurilmalarga markaziy protsessorli S64x qurilma, interfeys SRIO (Serial Rapid I/O), to'rtta ma'lumotlar uzatish kontrolleri (TC0 – TS3) va uchta yetakchi tashqi qurilma qurilmasini (PCI - interfeysi, xost-protsessorga chiqish – HPI, Ethernet – EMAC dan foydalanish) kommutatsiyalanadigan markaziy resurs shinasiga ulovchi kommutatsiya porti KP kiradi. Yetaklanuvchi qurilmalarga xotira, xotira kontrolleri, tashqi xotira kontrolleri, turbo-soprotsessor (TCP), shifrdan chiqarish qo'sh protsessori (VCP) va tashqi qurilma qurilmalarini kommutatsiyalanadigan markaziy resurs shinasini bilan ulovchi va kommutator kiradi. Bunday arxitektura bir vaqtning o'zida tez va foydali hisoblanadi, chunki kommutatsiyalanadigan markaziy resurs shinasini haqiqatdan ham yetakchi va yetaklanuvchi qurilmalar o'rtasida parallel ravishda ma'lumotlar uzatilishini ta'minlaydi. Masalan PCI interfeysni tashqi xotira interfeysi (EMIF) bilan tashqi xotira kontrolleri orqali ulash PCI interfeysi va protsessor o'rtasidagi ulanishga bog'liq emas. Ma'lumotlarni uzatish to'liq parallel ravishda amalga oshiriladi.



11.11-rasm. TMS320C6455 signal protsessorining blok sxemasi.

Agar bir nechta yetaklanuvchi qurilmalar bitta yetakchi qurilmaga murojaat qilsa, unda SCR shina umumiy foydalanishni ta'minlaydi, uning funksiyalarini tizim ishlab chiqaruvchisi ma'lum darajada nazorat qiladi, chunki yetakchi qurilmalar uchun ustuvorlik darajalarini dasturlay oladi.

Algoritmni bajarishda asosiy protsessor va xotira o'rtasidagi buyruqlar va ma'lumotlarning yuborish jiddiy ahamiyatga ega bo'ladi. TMS320C6455 qurilma xotira tizimida ma'lumotlarni qayta uzatish amallari ma'lumotlarning 356-razryadli shinalarida foydalanish va ular orasida xotiradan to'g'ridan-to'g'ri foydalanishning ichki arxitekturasiga qo'shimcha kiritilgan ikki darajali bufer xotirani yaratish hisobiga optimallashtirilgan. Arxitekturaga qo'yilgan boshqa majburiy talab – effektiv kristall ichidagi protsessorli kichik tizimlarning mavjudligi. Qo'shprotsessorlar katta unumdorlikni talab etadigan o'ziga xos bo'lgan funksiyalarini tezlashtirish uchun bitta kristaldagi integratsiyasi juda effektiv yondashish hisoblanadi. Masalan 11.11-rasmda ko'rsatilganidek TMS320C6455 protsessoriga deshifratore (VCP) va turbodeshifratore (TCP) qo'shprotsessori

integratsiyalangan (birlashtirilgan). Kristatal ichida ishlov berish tugallanganidan so'ng protsessor ma'lumotlarning katta hajmini integral sxemadan plataga, undan so'ng esa transport ma'lumotlarining telekommunikatsion muhitigā uzatilishini ta'minlashi kerak. Ko'rinib turibdiki tanlov – bu yuqori tezlikdagi kiritish/chiqarish vositalaridir.

Kristallararo interfeyslar uchun bir nechta yuqori unumdorlikka ega (foydali) bo'lgan kiritish/chiqarish interfeyslarini plata darajasida o'rnatish eng yaxshi yechim hisoblanadi. SRIO (Serial Rapid I/O) Interfeys – bu qurilmalar o'rtasidagi kommunikatsiya ko'p protsessorli geterogen muhiti uchun optimal (qulay) variant, chunki uning xabarlarini yuqori unumli uzatish sxemasi tufayli o'tkazish polosasidan 95 % foydalanishga erishiladi (4-kanalli ketma-ket ikki tomonlama aloqa liniyasi uchun 10 Gbit/s gacha). Tashqi xotira bilan ma'lumot almashinuvi 32-razryadli xotira kontrolleridan foydalangan holda amalga oshiriladi. Shunga o'xshash PCI interfeysiga ega shina (66MGs) tashqi qurilmalarini ulash uchun juda mos keladi, 1 Gbit/s tezlikka ega Ethernet (EMAC) muhitidan foydalanish kontrolleri IP-trafikni plata doirasida (chegaralarida) yoki undan tashqarida saqlab turadi, ishlash va testlash uchun telekommunikatsion qo'llanishlar uchun xos bo'lgan universal fizik interfeys esa, ATM (UTOPIA 2) texnologiyasi ulanishlari uchun qulay.

Garchi signal protsessorlarning hisoblash quvvati ishlashning yuqori parallelizm va boshqa takomillashtirishlarga ega bo'lgan yangi arxitekturalar qo'llanishi tufayli sezilarli darajada oshgan bo'lsa ham signallarga ishlov beradigan apparaturalarni ishlab chiqaruvchilar bitta platada bir nechta protsessorlari ratsional va effektiv birlashtirish tufayli ko'proq afzalliklarga ega bo'lishlari mumkin. SRIO (Serial Rapid I/O) interfeys yuqori tezlikka ega birikmalarning qo'llanishi bunday integratsiyani yanada osonlashtirdi, chunki dasturiy ta'minot nuqtai nazaridan SP uchun bir nechta protsessorlar o'rtasidagi ma'lumotlar oqimini boshqarish bitta protsessor doirasida generatsiyalanadigan ma'lumotlarni boshqarishdan bir oz farq qiladi.

Videoishlov berish tizimlari. Bugungi kunda videodan foydalanish keng tarqaldi, shuning uchun iste'molchilar tasvirning turli sifatlarini ta'minlovchi

qurilmalarning barcha turlari video bilan ta'minlanishini istaydilar. Texnikaning mobil telefonlar, portativ musiqali pleyerlar yoki videopleyerlar kabi turlarida bitta signal protsessor videoma'lumotlarga ishlov berishning barcha vazifalarini bajara oladi va qat'iy narx doirasiga kiritiladi. Lekin agar gap yuqori sifatli video ilovalar, masalan yuqori aniqlikdagi televideniye yoki videokonferensiyalarni amalga oshirish to'g'risida bo'lsa, ma'lumotlarga ishlov berishga qo'yiladigan talablar bugun bozorlarda taqdim etilgan har qanday yagona qurilma imkoniyatlaridan yuqori. Ushbu holda bir nechta raqamli signal protsessorlardan, ularning dasturlanadigan mantiqiy integral sxemalariga (DMIS) ega kombinatsiyalaridan (birikmalaridan) qurilgan tizimlar, shuningdek, ko'p yadroli signal protsessorlar yuqori sifatga ega bo'ladigan (haddan tashqari murakkab va qimmat) videoni amalga oshirishlari mumkin. Vazifalarni protsessorlar, ishlab chiqaruvchi-firmalar o'rtasidagi qanday taqsimlanishi to'g'risidagi oqilona qarorni qabul qilish uchun faqatgina qurilmalar resurslarinigina hisobga olib qolmasdan signallarga raqamli ishlov berish algoritmlarini ham tahlil qilish kerak.

Nazorat uchun savollar

1. Texas Instruments kompaniyasini signal protsessorlariga misollar keltiring.
2. C2000 platformasi haqida ma'lumot bering.
3. TI firmasining ikki yadroli signal protsessorlari vazifasini bayon qiling.
4. DaVinci protsessorlari oilasida nechta guruhni ajratish mumkin?
5. Analog Devices signal protsessor modellariga misol keltiring.

XII BOB. DASTURNI TAYYORLASH VA SOZLASHNING APPARAT-DASTURIY VOSITALAR

Ko'p signal protsessorlari ishlov berish tezligi nazorat yoki boshqaruv obye'ktlari tomonidan beriladigan real vaqt tizimida ishlaydi. Ish jarayonida obye'kt ishiga aralashishning va ishlayotgan ishlov beruvchi dasturga o'zgartirish kiritish imkoni bo'lmaydi. Shuning uchun SP uchun dasturlarni tayyorlash va sozlash jarayonida foydalanuvchilar ko'p vaqtni sarflashlari kerak bo'ladi. Signal protsessorlarida dasturlash bir muncha unumli bo'lgan dasturiy ta'minotni ishlab chiqish va sozlash vositalarini talab etadi [4, 9].

12.1. Dasturiy ilovalarni loyihalashning asosiy bosqichlari

Umuman olganda SP har xil turlari uchun dasturni tayyorlash va sozlash jarayoni bir biriga o'xshash bo'ladi. Bu jarayon quyidagi uchta fazani o'z ichiga oladi:

- simulyator yordamida algoritm ishini modellashtirish;
- baholovchi platadan foydalanib protsessor imkoniyatini baholash;
- tayyor qurilma tarkibida bajariluvchi kodni ichki sxemali sozlash.

Protsessor simulyatori – bu shaxsiy kompyuterda ishlovchi va protsessor yuklanishini, uning tashqi qurilmalar bilan aloqasini, real apparatlardan foydalanmasdan tashqi uzilishlarga protsessor reaksiyasini imitatsiyalovchi va bajarilayotgan dasturni boshqaruvchi dasturiy instrument hisoblanadi. Modellashtirish fazasi protsessor arxitekturasi bilan tanishuvning boshida va alohida algoritmlarni sozlash bosqichida katta qiziqish kasb etadi. Ayni damda murakkab tizim tarkibida protsessor ishini modellashtirish quyidagi sabablarga ko'ra anchagina qiyinchilik tug'diradi.

Birinchiidan, simulyator protsessorning tashqi qobig'ini modellashtirishda chegaralangan imkoniyatlarga ega. Ikkinchiidan, u juda sekin ishlaydi, chunki har bir protsessor siklida bajariladigan amallarni ko'rsatish uchun kompyuter ko'p sonli amallarni bajarishi kerak. Ko'pchilik ishlab chiqaruvchilar protsessor bilan tanishish

va o'z algoritmlarini real sharoitga yaqin, ya'ni modellashtirish fazani chetlab o'tib, baholash platalari yordamida yo'lga qo'yishni afzal biladilar. Firmalar bunday baholash platalarini o'z signal protsessorlarining barcha oilalari tipik vakillari uchun ishlab chiqaradilar. Ushbu baholash platalarining ko'pchiligi tashqi kengaytirishi platalarini ulash uchun razyomlarga ega bo'lib, bu ular yordamida to'liq funksional tizimlarning prototiplarini yaratish imkonini beradi. Yakuniy mahsulot tarkibida sxema ichidagi emulyator-personal kompyuterda bajariladigan dasturdan protsessorning ichki tugunchalaridan to'liq foydalanish imkonini beruvchi qurilma yordamida dasturiy ta'minotni yo'lga qo'yish amaliy dastur yaratish ishining final fazasi hisoblanadi. Analog Devices kompaniyasining ishlab chiqishi va sozlash vositalari misolida ma'lumotlarni ishlash amaliy dasturini yaratish jarayonini ko'rib chiqamiz. Har bir fazada qo'llaniladigan ilova va vositalarni yaratishning asosiy fazalari oldingi boblarda ko'rib chiqilgan signal protsessorlarning barcha so'nggi modellari uchun o'xshash [4, 5, 9].

Loyihalashtirishning yuqorida aytib o'tilgan barcha uchta fazasi CROSSCORE – quyidagi 3 ta komponentani o'z ichiga oluvchi Analog Devices dasturiy- apparat vositalari kompleksi bilan qo'llab-quvvatlanadi:

- Visual DSP++ ishlab chiqish va sozlashning integrallashtirilgan muhiti;
- EZ KIT/ EZ BOARD baholash platalari va EZ EXTENDER kengayish platalari to'plami;
- sxema ichi emulyatorlari.

Visual DSP++ muhiti. Analog Devices protsessorlari uchun ishlab chiqish va sozlash dasturiy vositalari, xuddi protsessorlar kabi, uzoq rivojlanish yo'lini bosib o'tgan. O'n besh yillar oldin ular DOS buyruq satridan bajarilishi kerak bo'lgan fayllarni yaratish uchun ketma-ket chaqiriladigan alohida uzilishlar va simulyator va emulyator bilan ishlash uchun matnli interfeys bilan ishlovchi ikkita dastur to'plamidan iborat edi. 90-yillar so'nggida ularning o'rniga OC WINDOWS uchun Visual DSP deb ataluvchi grafik interfeysli ishlab chiqish muhiti keldi. Joriy asrning boshida uning nomi Visual DSP++ deb o'zgartirildi. Dastlab ushbu paket ikkita variantda: 16 bitli va 32 bitli protsessorlar uchun ishlab chiqarilar edi. 4. 0 versiyadan

boshlab ADSP 21XX oilasining 16 bitli protsessorlarini qo'llab-quvvatlash to'xtatildi, Blacktin 16 bitli protsessorlari va SHARC va TIGER SHARC 32 bitli protsessorlar uchun dasturiy ta'minotni ishlab chiqish vositalari esa yagona dasturiy mahsulotga integratsiya qilindi [13].

Bugun Visual DSP++ ishlab chiqish va sozlash integrallashtirilgan muhiti bo'lib, Analog Devices protsessorlari uchun dasturiy ta'minotni yaratishning asosiy vositasi hisoblanadi va loyihalashtirishning quyidagi bosqichlarida zarur bo'ladigan barcha komponentlarni o'z ichiga oladi:

- foydalanuvchining grafik interfeysi;
- bajariluvchi fayllar, yuklangan obrazlar va yordamchi fayllar: assembler, protsessor, kompilyator C/C++, komponovkachi, yuklanadigan obrazlarni yaratish dasturi, arxivator uchun zarur utilitlar;
- protsessorlar modellari bilan simulyator;
- emulyatorlar va sozlashli platalar bilan o'zaro ishlash uchun dasturiy komponentalar (drayverlar);
- VDK (Visual DSP++ Kernel) real vaqt operatsion tizimning yadrosi;
- dasturlar namunalari.

Protsessor turi va sozlash vositasidan (EZ KIT/DBGAGENT platasida simulyator, emulyator yoki sozlash agenti) qat'iy nazar Visual DSP++ muhitida loyihalar yaratish va ularni boshqarishning yagona metodologiyasidan foydalaniladi. Loyiha ustida ishlash jarayoni yagona grafik interfeys doirasida amalga oshiriladi. Visual DSP++ tarkibiga kiruvchi Project Wizard utilitasi bajariladigan fayl komponovkasi yoki yuklanadigan obraz generatsiyalashish uchun zarur bo'lgan yangi loyihalarni yaratish, uning parametrlarini sozlash va fayllarini shakllantirishni soddalashtiradi. C/C++ samarali kompilyatorlari, shuningdek ko'p sonli standart va ixtisoslashtirilgan kutubxonalar yuqori darajali dasturlash tillaridan foydalanib ilovalarni yaratish imkonini beradi, bunda assembler kodning faqat eng muhim qismlarida qo'llaniladi, ko'p vazifalikni qo'llab-quvvatlash talab qilinadigan murakkab ilovalar ustida ishlashda foydalanuvchi xohishiga ko'ra, operatsion tizim

yadrosi loyihasi apparat realizatsiyasi detallardan abstraklashish imkonini beruvchi VDK (OS) ni qo'shish va signallarni boshqarish va ularni ishlash algoritmlariga diqqatni jamlash mumkin.

Visual DSP++ tarkibida Blackfin oilasi protsessorlari uchun ichki va tashqi periferiya modullarining ko'p sonli drayverlari yetkazib berilib, ular VDK bilan birgalikda, shuningdek, avtonom rejimda qo'llanilishi mumkin. Dasturiy ta'minotni sozlash jarayonini maksimal soddalashtirish uchun Visual DSP++ da stek, lokal o'zgaruvchilar va ifodalar, registrlar va xotira tarkibini aks ettirish uchun ko'plab oynalar, shuningdek, dasturda tor joylarni topish imkonini beruvchi chiziqli va statistik profillash vositalari va qator qiziqarli imkoniyatlar mavjud. Ushbu instrumentda Background Telemetry Channel sozlash texnologiyasi joriy qilingan bo'lib, u dasturning bajarilish jarayonini kuzatish, muhit va dastur o'rtasida ma'lumot almashishlashni protsessorni to'xtatmay amalga oshirish imkonini beradi. Sozlash muvaffaqiyatli yakunlanganda fayl yuklanadigan obrazga o'zgarish va bu obrazni o'z navbatida, platadagi xotira mikrosxemasiga emulyator (yoki EZ KIT/EZ BOARD platasi bilan ishlanganda sozlovchi agent) va Visual DSP++ ga integrallashtirilganda Flash Programmer ilovasi yordamida yozish mumkin.

12.2. Baholash platalari va kengayish platalari

EZ KIT markasining baholash platalari foydalanuvchini muayyan protsessor imkoniyatlari bilan boshlang'ich tanishtirish uchun mo'ljallangan. Bunday platalar bir tizim bo'lib, uning platalar tarkibiga bevosita protsessorning o'zi, tashqi xotira mikrosxemalari va protsessorning ichki periferiya modullari to'plami va birinchi navbatda qaysi vazifalarni bajarishga yo'naltirilganligiga bog'liq ravishda o'zgaruvchi tashqi interfeys mikrosxemalari kiradi. EZ KIT platasidagi protsessorga dasturni yuklash va uni sozlash Visual DSP++ muhitidan shaxsiy kompyuterning standart portlarining biri orqali amalga oshiriladi. Shaxsiy kompyuter va protsessor orasida aloqa uchun USB porti va Debid Agent texnologiyasidan foydalaniladi. Debid Agent baholash platasida joylashgan alohida kontroller bo'lib, shaxsiy

kompyuterdan keladigan buyruqlarni protsessorning sxema ichi sozlash interfeysi buyruqlariga o'zgartirib beradi. Zamonaviy EZ KIT Lite baholash platalari kengayish platalarini qo'shish uchun maxsus razyomlarga ega bo'lib, bu razyomga protsessorning ko'pchilik signallari olib chiqilgan. Bunday razyomning mavjudligi baholash platasiga eng turfa periferiya qurilmalarni qo'shish va uning asosida tugallangan tizim prototipini yaratish imkonini beradi. Foydalanuvchilar o'z xususiy kengayish platalarini ishlab chiqishlari yoki quyidagi vazifalarni bajarish uchun mo'ljallangan tayyor platalarning biridan foydalanishlari mumkin [23]:

- audio va videosignallarni kiritish/chiqarish (AVEZ Extender va Audio EZ Extender);

- Analog Devices kompaniyasining tez ta'sir qiluvchi SAP/ASP baholash platalariga va sensorli suyuq kristallik displeylariga (Landscape LCD EZ Extender) ulanish;

- USB interfeyslari (USB EZ Extender, USB LAN EZ Extender), Ethernet (USB LAN EZ Extender) va Bluetooth (Bluetooth EZ Extender) orqali tashqi qurilmalar bilan ishlash.

Tayyor kengayish platalarining ko'pchiligi Blackfin protsessorlari uchun baholash platalari bilan ishlaydi, biroq SHARC protsessorlariga mos keladigan variantlar ham chiqarilmoqda.

12.3. Ichki sxema emulyatorlari

Sxema ichki emulyatori - real qurilma tarkibidagi signal protsessor bazasida tizim ishini yo'lga qo'yish imkonini beruvchi apparat vosita. Emulyator yordamida ishlab chiqaruvchi shaxsiy kompyuterda ishlovchi loyihalash muhitidan protsessorga bajarilishi kerak bo'lgan kodni yuklash va uning ishini vaqt nisbatlari va tizimning elektr tavsiflariga qaramasdan nazorat qilish mumkin. Emulyator bir tomondan kompyuterning standart interfeyslaridan biriga (LPT, USB, PCI), ikkinchi tomondan protsessor ichki kristall interfeysi chiqishlariga bog'langan bosma plataidagi razyomga ulanadi. Zamonaviy protsessorlarda sozlashning ichki kristall interfeysi

rolini JTAG standartini qo'llab-quvvatlovchi testlash porti (TAP, Test Access Port) o'ynaydi. Emulyatorning o'zining platasida kontroller joylashgan bo'lib, u kompyuterdan kelayotgan buyruqlarni sozlashning ichki kristall interfeysi signallariga o'zgartirib beradi. Emulyator TAP dan protsessorning ichki tugunlariga kirishda foydalaniladi, ishlab chiqaruvchiga kodni yuklash, to'xtash nuqtalarini o'rnatish, o'zgaruvchilarni, xotira va registrlarning tarkibini ko'rib chiqish imkonini beradi.

Ma'lumotlar va buyruqlarni jo'natish uchun protsessor to'xtatib qo'yilishi kerak, biroq amal tugagandan so'ng uning ishi to'liq tezlik bilan qayta tiklanadi.

Sxema ichi emulyatorlari xususiy ishlanma platalarini sozlashda almashtirib bo'lmas vosita hisoblanadi.

12.4. Dasturiy ilovalarni ishlab chiqishning asosiy bosqichlari

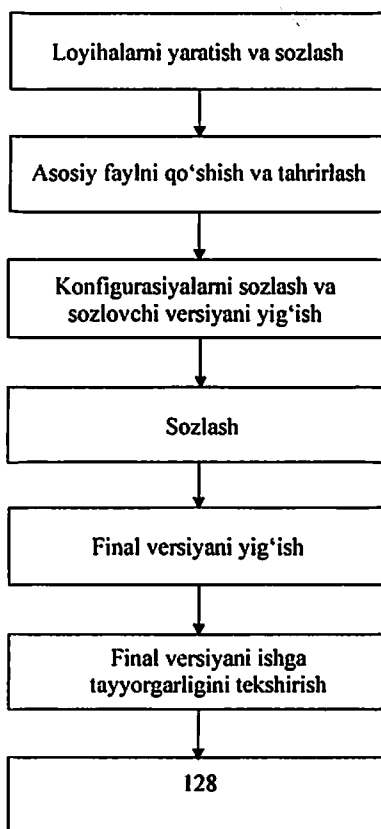
Ilovalarni yaratish loyahasida asosiy strukturaviy birlikdir, u dasturning dastlabki fayllari va muhit elementlarining sozlovchi to'plami bo'lib, ularni protsessor bajarishi kerak. Loyiha to'g'risidagi barcha ma'lumotlar Visual DSP++ ning kengaytmali faylida saqlanadi. Loyiha ko'pincha muayyan apparat platforma uchun ishlab chiqiladi. Muhitning apparat platformaga kirishi sozlovchi vositalar (simulyator, emulyator yoki Debid Agent) orqali amalga oshiriladi. Ushbu vositalar Visual DSP++ terminologiyasida maqsadli obyektlar (Target) yoki sozlashning maqsadli obyektleri (Debid Target) deb ataladi.

Maqsadli obyektning tanlangan turiga qarab, quyidagilar platforma bo'lishi mumkin:

- simulyator bilan ishlayotganda bir yoki bir necha bir turdagi protsessorlar;
- sozlovchi agent orqali ishlayotganda EZ-KIT Lite platasidagi protsessor;
- emulyator bilan ishlayotganda JTAG zanjiriga birlashtirilgan bir yoki bir necha (turli tipdagi) protsessorlar. Bajarilayotgan fayllarni yuklash va sozlash uchun platformaga ulash sessiyalarda amalga oshiriladi.

Alohida olingan vaqt ichida faqat bitta sessiya ochiq bo'lishi mumkin va modellashtirishdan sxema ichi sozlash yoki baholash platasi tarkibida sozlashga o'tish uchun bitta sessiyadan chiqib, yangi sessiyani ochish kerak. Istalgan sessiyani (simulyator qo'llaniladigan sessiyalardan tashqari) sozlash uchun Visual DSP++ tarkibiga Visual DSP++ Configurator utilitasi kiritilgan. Unga kirish *All programm* → *Analog Devices* → *Visual DSP++ 5.0* → *Visual DSP++ Configurator* amallar ketma ketligi *Start* menyu qatori orqali amalga oshiriladi.

Visual DSP++ muhitida projekt ustida ishlash jarayoni quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi (12.1-rasm).



12.1-rasm. Ilovani yaratish bo'yicha ish bosqichlari.

Birinchi bosqichda foydalanuvchi loyiha faylini (.dpj) yaratadi va uning parametrlarini (protessor tipi, assembler, kompilyator, komponovkachini sozlash) sozlaydi. Loyihalarni yaratishni soddalashtirish uchun Visual DSP++ tarkibiga Project Wizard nomli utilita kirib, u interaktiv rejimda loyiha parametrlarini sozlash, shuningdek qator yordamchi fayllarni, jumladan spetsifikasiya bu-xususiyatini tavsiflash fayli va sarlavhalar runtimeni qo'llanilayotgan platforma spetsifikasini hisobga olib avtomatik ravishda generatsiyalash imkonini beradi. Loyihani yaratish bosqichida foydalanuvchi xohishiga ko'ra yaratilayotgan loyihaga VDK (Visual DSP++ Kernel) real vaqt operatsion tizim yadrosining qo'llanilishini kiritish mumkin. VDK- Visual DSP++ bilan integrallashtirilgan, masshtablanuvchi dasturiy tizim bo'lib, undan foydalanish apparat realizatsiya detallaridan dasturiy ta'minotni yaratishda abstraktlanish va ma'lumotlarni ishlash algoritmlarini yozishga diqqatni jamlash imkonini beradi. VDK foydalanuvchiga resurslarni rejalashtirish va boshqarishning SP Analog Devicesni dasturlashtirishda xotira adresatsiyasi va vaqt cheklanishlariga xos bo'lgan vositalarini taqdim etadi. Ushbu vositalarning qo'llanilishi ko'p sonli jarayonlarning parallel bajarilishini talab qiluvchi murakkab loyihalar ishlab chiqilishi unumdorligini oshirish mumkin.

Blacktin protessorlari bilan ishlashda foydalanuvchilar Lwip ochiq dastlabki kodli tarmoq steki qo'llanilgan loyihalarni yaratishlari mumkin. Ushbu imkoniyat foydalanuvchi tomonidan loyihani yaratish bosqichida tanlanadi.

Navbatdagi bosqich loyihaga mavjud fayllarni qo'shish yoki yangi boshlang'ich fayllarni yaratishdan iborat. Dasturning dastlabki fayllari protessorning assembler tilida (.asm, .s yoki .dsp kengayishiga ega) va yoki C/C++ (.c/.cpp/.cxx) yuqori darajali dasturlash tillarida yozilishi mumkin. Ushbu ikkala variant o'z afzalliklari va kamchiliklariga ega. Yuqori darajali tillar afzalligi modullik, boshqa platformalarga ko'chish va koddan qayta foydalanish soddaligidan iborat.

C/C++ tillarida ma'lumotlarni manipulyatsiya qilish odatda yuqori darajali abstraksiyada dasturni tushunarliroq qiluvchi o'zgaruvchilar va funksiya/protseduralarni chaqirishdan foydalanish yo'li bilan bajariladi. O'z navbatida assembler tilida dasturlashda ma'lumotlar bilan amallar real registrlar,

hisoblash bloklari va protsessor xotirasi bloklari darajasida amalga oshiriladi. Assembler tilida dasturlarni yozish- bu murakkab, ko'p vaqt talab qiluvchi jarayon bo'lib, dasturchidan dasturlashga oid yuqori bilim va e'tiborni talab qiladi. Biroq, assemblerning shubhasiz afzalligi bu kodning yuqori kompaktligi va tez ishlashidir, chunki hech bir, hatto eng zamonaviy kompilyator ham bu ko'rsatkichlar bo'yicha assembler tilida qo'lda savodli yozilgan dasturdan o'tadigan kodni generatsiyalashga qodir emas. Aynan shuning uchun firmalar ko'pincha o'z loyihalarida C/C++ assembler tillarining kombinatsiyasini qo'llaydilar.

Yuqori darajali tillarni boshqarish masalalari va ma'lumotlarni bazaviy manipulyatsiyalash uchun, assembler esa intensiv raqamlik hisoblashlar va xizmat ko'rsatish vaqtiga kritik vazifalarni bajarishga to'g'ri keladi.

Shuningdek, ushbu bosqichda loyihaga (agar bu Project Wizard yordamida avtomatik tarzda bajarilmagan bo'lsa) ikkita yordamchi fayl: run-time sarlavha fayli qo'shilishi mumkin. S sarlavha run-time fayli (CRT header) dasturning asosiy qismi C/C++ tilida yozilgan bo'lgan holda zarur bo'ladi. U assembler tilidagi kod bo'lib, quvvatni qo'shish yoki o'chirishda dasturning boshlang'ich adresi bo'yicha protsessorning oxirgi holatidan keyin bajariladi. Ushbu kod protsessorni ma'lum holatga olib keladi va main funksiyani chaqiradi. run-time sarlavhaning bajarilish main - holat kirishda protsessor S ilovalarning ikkilangan interfeysiga bo'ysunishni kafolatlaydi, ilovada e'lon qilingan global ma'lumotlar esa C/C++ standartlari talablariga binoan initsializatsiyalangan. Linkerni tavsiflash fayli (Linker Description File, LDF) bajarilayotgan kod komponovkasi jarayonini boshqarish uchun qo'llaniladi. Agar bir yoki ikkala fayl loyihaga aniq ko'rinishda qo'shilmasa, komponovka jarayonida tanlangan protsessor uchun standart fayllar qo'llaniladi. Shuningdek loyihaga boshqa fayllar ham qo'shilishi mumkin, biroq loyihani yig'ishda faqat Visual DSP++ utilitalari taniydigan fayllar ishlatiladi.

Barcha boshlang'ich va yordamchi fayllar tayyor bo'lgach, loyihani yig'ishni boshlash mumkin. Ushbu jarayon ikki bosqichda amalga oshiriladi. Dastlab boshlang'ich fayllar va CRT "kompilyator" va "assembler" utilitalari yordamida tegishli ravishda kompilyatsiyalanadi va assemblerlanadi. Natijada ELF (Executable

and Linkable Forma) standart formatida bir yoki bir necha obyekt fayllar shakllanadi va ular doj kengayishiga ega bo'lib o'zida kod va ma'lumotlarning strukturalashtirilgan seksiyalariga ega. Shuningdek assemblerlash jarayoniga listing majburiy bo'lmagan fayli generatsiyalanishi mumkin. (.lst) bo'lib, u assemblerlash natijalari haqida ma'lumot- axborotga ega. Keyin "linker" utilitasi chaqiriladi, u linkerni tavsiflash faylida mavjud bo'lgan axborot asosida obyekt fayllarni va foydalanuvchi tomondan ulanadigan kutubxonani (.dlb) ni tahlil qiladi va obyektarning qaysi birini protsessor foydalanadigan ichki yoki tashqi xotiraning u yoki bu segmentiga joylashtirish zarurligini aniqlaydi. Linker ishining natijasi .dxe kengaytmali ELF formatidagi bajariluvchi fayl bo'ladi. Ayrim hollarda linker shuningdek birgalikda qo'llaniladigan .cm kengaytmali xotira tarkibi fayllarini va ovl kengaytmali xotira fayllarini shakllantiradi.

Bajarilayotgan fayllarning shakllanishi uchun kerak bo'lgan barcha utilitalar Visual DSP++ muhitida avtomatik ravishda fon rejimida foydalanuvchi tomondan menyuning tegishli qatorini tanlash yoki instrumentlar panelida tugmachani bosib qo'shiladi, loyihani yig'ish jarayonining borishi haqidagi axborot, xatolar haqida ogohlantirish va xabarlar esa Windows oynasiga chiqariladi. Qoidaga ko'ra, loyihani yig'ishning ushbu bosqichida Devid konfiguratsiyasi ro'y beradi, unda kompilyator optilizatsiyasi o'chirilgan va kodga sozlash imkoniyatlari qo'shiladi.

Loyiha muvaffaqiyatli yig'ilgan holda foydalanuvchi sessiyani sozlaydi, undan so'ng bajarilayotgan fayl maqsadli obyekt orqali protsessorning dasturiy modeliga yoki sozlash uchun real protsessorga yuklanadi.

Loyiha funksional sozlashdan muvaffaqiyatli o'tsa, u Release konfiguratsiyasiga qayta yig'ilishi mumkin. Ushbu konfiguratsiya unumdorligi bo'yicha optimallashtirilgan kodni sozlash imkoniyatisiz berish mumkin. Bajarilayotgan fayl yig'ilishi natijasida qo'lga kiritilgan ishlash qobiliyatini platforma tarkibida qayta tadqiq etish kerak. Chunki bajarilayotgan fayl formati protsessorga avtonom ishlovchi tizimdagi protsessorga bevosita yuklash uchun yaramaydi, u loader utilitasi tomondan yuklanayotgan obrazga (.ldr) o'zgarishi kerak. Visual

DSP++ muhiti Analog Devices kompaniyasi protsessorlari bazasida ilovalarni maksimal tez yaratish uchun zarur bo'lgan barcha vositalarga ega.

Nazorat uchun savollar

1. SP har xil turlari uchun dasturni tayyorlash va sozlash jarayoni qanday fazani o'z ichiga oladi?
2. Visual DSP++ muhiti haqida ma'lumot bering.
3. Sxema ichki emulyatoriga ta'rif bering.
4. Ilovalarni ishlab chiqish ishlarining asosiy bosqichlarini yoritib bering.
5. C/C++ tillarida ma'lumotlarni manipulyatsiya qilish qanday yo'llar bilan amalga oshiriladi?

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Simon Haykin, Barry Van Veen Signals and Systems, 2nd Edition. Wiley prees. 2002.ISBN-13: 978-0471164746 ISBN-10: 0471164747
2. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. 2-е издание. Вильямс, 2004. — 992 с.
3. Proakis, John G., and Dimitris G. Manolakis. “Digital signal processing.” PHI publication. 2004.
4. Li Tian. “Digital Signal Processing Fundamentals and Applications.” Academic Press is an imprint of Elsevier. 2008.
5. Vinay K. Ingle and John G. Proakis. “Digital signal processing using Matlab, Third edition”. Global Engineering. 2012.
6. Steven, W. Smith, Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists, Newnes, 2003 ch.5pp. 345-347.
7. Lyons, Richard G. “Understanding digital signal processing, Third Edition.” Pearson Education India. 2004.
8. Л.Р.Рабинер, Р.В. Шафер. Цифровая обработка речевых сигналов: Пер с англ./Под ред. М.В. Назарова и Ю.Н. Прохова.- М.: Радио и связь, 1981.-496 с.
9. Солонина А.И., Улахович Д.А., Яковлев Л.А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. Учебное пособие. — СПб: БХВ-Петербург, 2001. — 464 с. — ISBN 5-94157-065-1.
10. Е.В. Якимов, Г.В. Вавилова, И.А. Клубович. Цифровая обработка сигналов: учебное пособие / - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. - 307 с.
11. Oppenheim, Alan V., and Ronald W. Schafer. “Signal Processing Series: Discrete-Time Signal Processing.” 2009.
12. Jelena Kovacevic, Vivek K Goyal and Martin Vetterli. “Fourier and Wavelet Signal Processing.” 2013.

13. Allen B. Downey. "Digital signal processing in Python." Green Tea Press. 2014.
14. Gonzalez and Woods. "Digital Image Processing, 4th edition." Pearson/Prentice Hall. 2018.
15. Федосов, Валентин, and Андрей Нестеренко. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учебное пособие. Litres, 2017.
16. Оппенгейм, Алан, and Рональд Шафер. Цифровая обработка сигналов. (Авторизованный перевод издания на английском языке) Litres, 2018.
17. Гонсалес, Рафаэл, and Ричард Вудс. Цифровая обработка изображений. (Авторизованный перевод издания на английском языке) Litres, 2019.
18. Ключев А.О., Платунов А.Е. Встроенные инструментальные средства современных микроконтроллеров. // Электронные компоненты. № 7. 2002.с. 94–97.
19. Ключев, А.О., Ковязина Д.Р., Кустарев, П.В., Платунов, А.Е. Аппаратные и программные средства встраиваемых систем. Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 290 с.
20. Никамин В.А. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Справочник. Москва "Альтекс-А" 2003 – 224 с.
21. Шелухин О.И., Лукьянцев Н.Ф. Цифровая обработка и передача речи.– М.: Радио и связь, 2000.– 454с.
22. М.М.Мусаев. Процессоры современных компьютеров. Учебное пособие. "Алокачи", Ташкент. 2019.– 418 с.
23. Musaev M.M., Kardashev M.S. Spectrum Analysis of Signals on Multicore Processors. // *Digital Signal Processing – Muscov*, 2014, № 2, pp.82-86.
24. Берданов У.А, " Ўзбек тили сўзларини кайта ишлашда яширин марков моделидан фойдаланиш" Научно-технический и информационно-аналитический журнал ТУИТ 2018, №1. Ташкент. Узбекистан.

25. Рахимов М.Ф. Цифровая фильтрация речевых сигналов на многоядерных процессорах. Вестник ТУИТ, Ташкент, 2017, 3, стр.27-34.
26. www.library.ziyounet.uz.
27. www.arxiv.uz.
28. www.tutorialspoint.com/digital_signal_processing/index.htm.
29. www.coursera.org/learn/dsp1.
30. www.visualstudio.microsoft.com/.
31. www.gnu.org/software/octave/.
32. <https://dspguru.com/dsp/tutorials/>.
33. <https://www.dsprelated.com/tutorials.php>.
34. <https://101science.com/dsp.htm>.
35. <https://www.analog.com/>.

Musaev M.M., Raximov M.F., Berdanov U.A.

TIZIMLAR VA SIGNALLARNI QAYTA ISHLASH

(O'qiv qo'llanma)

*Hoшир: М. Зайниев
Муҳаррир: Ф. Рамазонов
Дизайнер-саҳифаловчи: С. Раззоков*

**Нашр. лиц. № 005073-06 08.02.2016 й.
«MUHR-PRESS» нашриёти**

**100000, Тошкент шаҳри, Дустлик 1 – мавзе,
3-уй, 20 хонадон.
Тел.: +998 90 950 65 58;**

**Босишга рухсат этилди: 10.11.2022 й.
Формати: 60x90 ¹/₁₆. Босма таботи: 12,5. Адади: 50 нусха.
Нархи шартнома асосида.**

**«MERIT PRINT» босмахонасида чоп этилди.
Манзил: Тошкент шаҳри, Яккасарой тумани,
Ш.Руставели кучаси 91-уй**