

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI AXBOROT TEXNOLOGIYALARI VA
KOMMUNIKATSIYALARINI RIVOJLANTIRISH VAZIRLIGI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT AXBOROT
TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
NUKUS FILIALI



Kompyuter injiniringi fakulteti
Telekommunikatsiya texnologiyalari yo'nalishi
3-b guruhi talabasi
Seytmambetova Dildufzaning
“Mikroprotessorlar” fanidan

Mustaqil ishi

Bajargan:

Seytmambetova D.

Qabul qilgan:

Serjanov Q.

Nukus-2017

Reja:

1. Kompaniyalarning zamonaviy tarmoq protsessorlari
2. Tarmoq protsessorlarining operatsion tizimlari
3. Mikrokontrollerli tizimlar strukturasi
4. Mikrokontrollerlar strukturasi va ishlash asoslari
5. Mikrokontroller yadrosi

3.5. Kompaniyalarning zamonaviy tarmoq protsessorlari

Hozirgi kunda tarmoq protsessorlarini turli kompaniyalar ishlab chiqarmoqdalar. Quyida ayrim kompaniyalarning mahsulotlari haqida qisqacha ma'lumotlar keltirilgan.

Yuqori darajada yuklangan tizamlar uchun tarmoq protsessorlarining katta qismini EZchip kompaniyasi ishlab chiqarmoqda. Bu kompaniyaning hozirgi vaqtdagi asosiy mahsuloti 30 Gb/s ga teng bo'lgan o'tkazish qobiliyatini ta'minlovchi NP-3 tarmoq protsessorlari hisoblanadi.

NP-3 tarmoq protsessorlari paketlarni 4 darajali ierarxiyalik tasniflashga ega kiruvchi va chiquvchi paketlar uchun trafik menejerlarini; marshrutlash, kommutatsiyalash va xavfsizlik siyosatlarini ta'minlash uchun foydalanilishi mumkin bo'lgan izlash bloklarini, shuningdek, mashrutizatorlarni ma'muriy boshqarish va qo'llab-quvvatlashni osonlashtiruvchi OAM protokoli (Operation, Administration and Maintenance)ning apparat amalga oshirilishini o'z ichiga oladi. Bu protsessor uchun marshrut jadvallari tashqi DRAM-xotirada saqlanadi va 1.5 Gbaytgacha yetishi mumkin.

Zamonaviy kompyuter tarmoqlarining tobora o'sib boruvchi talablarini qondirish uchun EZchip kompaniyasi keyingi avlod tarmoq protsessori bo'lgan NP-4 ni chiqardi, bu TP marshrutizatorining 100 Gb/s (dupleks rejimda 50 Gb/s) darajasidagi o'tkazish qobiliyatini ta'minlaydi. Bu TP NP-3 arxitekturasiga asoslangan, ammo yanada ko'proq o'tkazish qobiliyatiga va yanada kengroq funksiyalar to'plamiga ega.

NP-3 da amalga oshirilgan funktsiyalardan tasbqari, NP-4 oqimli Видеош va IPTV ni qo'llab-quvvatlaydi, kommutatsiyalashning tashqi matritsalariga ega ichiga qurilgan blok, trafikni shakllantirish funktsiyalari, navbatlarni rejalashtirishning ko'p sonli algoritmlariga ega.

NP-5 keyingi avlod tarmoq protsessori tarmoqlarning 200 Gb/s ishlash qobiliyatini ta'minlaydi. Bunda NP-4 protsessorlari bilan to'liq teskari dasturiy moslashuvchanlik ta'minlanadi.

Foydalana olish qurilmalari uchun protsessorlarning ishlab chiqaruvchilari orasida eng yirigi PMC-Sierra kompaniyasi hisoblanadi, bu kompaniya 10 Gb/sgacha o'tkazish qobiliyatini ta'minlaydigan WinPath3 turkumidagi tarmoq protsessorlarini taklif qiladi. Moslashuvchan arxitekturaga ega bo'lganligi sababli bu qurilmalardan simli hamda simsiz tarmoqlarda ham foydalanish mumkin.

WinPath3 tarmoq protsesorlari umumiy vazifali ikkita uzib qo'yiladigan hisoblash yadrolariga va paketlarni qayta ishlash uchun mo'ljallangan 12 tagacha ixtisoslashtirilgan hisoblash yadrolariga ega, ular jami 64 tagacha apparat oqimlarga ishlov beradi. Paketlarning apparat vositalari yordamida amalga oshirilgan tasniflagichi 32 mingtagacha qoidalardan iborat bo'lishi mumkin, ulardan 16 mingtasi qayta manzillash (forwarding) uchun javob berishi mumkin. Tasniflagich sekundiga 450 mln.gacha qidiruv so'rovlariga ishlov berilishini ta'minlaydi. Mikroprotsessor 2,5 MB ichki xotiraga va tashqi operativ xotira bilan ishlash uchun uchta shinaga ega.

Tarmoqqa kirish qurilmalari uchun tarmoq protsessorlarining yana bitta yirik ishlab chiqaruvchisi bo'lib, Axxia (Axxia communication processors) kommunikatsion protsessorlarining yangi turkumini chiqaruvchi LSI kompaniyasi hisoblanadi. Bu ishlab chiqaruvchi protsessorlari o'zida umumiy vazifadagi hisoblash yadrolaridan Power arxitekturasi va paketlarni qayta ishlash turli vazifalarini: shablon bilan qiyoslash, tasniflash va trafikni boshqarish uchun bir nechta ixtisoslashtirilgan yadrolardan foydalanadi. Hozirgi vaqtda LSI kompaniyasi tannoq protsessorlarining bir-biridan strukturasi va unumdorligi bilan farqlanadigan to'rtta modelini yetkazib beradi ARR3100, ARR3300, ARR650 va ARR300.

Aloqa tizimlari uchun mikroelektronikani eng mashhur bo'lgan ishlab chiqaruvchi Broadcom Ethernet-tarmoqlar uchun tarmoq protsessorlarining keng turlarini taklif qiladi. Bularga 800 MHz dan 1,2 GHz gacha taktli chastotaga ega bir, ikki va to'rt yadroli protsessorlar kiradi. Bu protsessorlar sekundiga 20 mln. paketlarni o'tkazish qobiliyatini ta'minlaydi. Ushbu protsessorlar iste'mol qiladigan quvvat hisoblash yadrolarining soniga bog'liq holda 4 dan 23 Vt gacha

yetadi. Bu protsessorlar ixtisoslashtirilgan funksional bloklarga ega emas va paketlarni qayta ishlash bo'yicha butun yuklanish umumiy vazifadagi hisoblash yadrolari zimmasiga tushadi.

StrataXGS seriyasidagi kompyuterlarni alohida qayd etish kerak. Bu seriyaga yuqori darajada yuklangan tarmoqlarda va axborot-markazlarda ishlash uchun mo'ljallangan ixtisoslashtirilgan kompyuterlar kiradi. Ular 240 Gbit/s gacha bo'lgan o'tkazish qobiliyatini ta'minlaydi va quyidagi keng funksional imkoniyatlarni taqdim etadi:

- tunellash protokollarini qo'llab-quvvatlash;
- xizmat ko'rsatishning ierarxiyalı modeli (QoS);
- trafikni shakllantirish;
- OAMni qo'llab-quvvatlash;
- vaqtni sinxronlash;
- trafik to'g'risida statistikanı yig'ish uchun 100 mingdan ortiq hisoblagichlar.

3.6. Tarmoq protsessorlarining operatsion tizimlari

Ixtiyoriy apparat-dasturiy, shu jumladan real vaqt rejimida ishlovchi kompleks - operatsion tizim (OT) hisoblanadi. Operatsion tizim deb apparat-dasturiy kompleks (hisoblash tizimi) resurslarini boshqarishni ta'minlaydigan dasturlar va hisoblashlarda resurslardan foydalanadigan jarayonlar kompleksiga aytiladi. Ushbu kontekstda resurs hisoblash tizimi yoki apparat-dasturiy kompleksning ixtiyoriy logik yoki fizik (va ulaming ikkalasi) komponenti hisoblanadi.

Asosiy resurs bo'lib protsessor, operativ xotira va periferik qurilma hisoblanadi.

Resurslarni boshqarish quyidagi masalalarni yechishga olib keladi: resurslarga kirishni soddalashtirish, ularni jarayonlararo taqsimlash.

Birinchi funktsiyani joriy qilish hisoblash tizimi apparat xususiyatlarini «berkitish» imkonini beradi va shu bilan birga foydalanuvchi yoki dasturlovchiga

boshqarish yengil bo'lgan virtual mashinada ishlashga imkon beradi. Resurslarni taqsimlash funksiyasi OT bajaradigan muhim masalalardan biri hisoblanadi, shunga qaramay barcha OTlarda mavjud emas, faqatgina bir necha dasturlarni bir vaqtda ishlata oladigan OTlarda mavjud. Jarayon deb dasturda yoki uning logika tugatilgan qismida yozilgan amallar, shuningdek hisoblashda foydalaniladigan ma'lumotlar ketma-ketligiga aytiladi. Jarayon resursdan ajratilayotgan minimal ish birligi hisoblanadi.

Hozirgi kunda OTlarning quyidagi belgilari bo'yicha klassifikatsiya qilinadigan har xil turlari mavjud:

- Tizim bir vaqtda xizmat ko'rsatayotgan foydalanuvchilar soni;
- OT nazorati ostida bir vaqtda bajarilayotgan jarayonlar soni;
- Foydalanuvchilarning tizimga kirish turi;
- Apparat-dasturiy kompleks turi.

Birinchi belgiga mos holda bir va ko'p foydalanuvchili OTlarga bo'linadi. Ikkinchi belgi OTni bir va ko'p topshiriqli turlarga bo'ladi (keyinchalik faqat ko'p topshiriqli OTlar haqida so'z boradi).

Uchinchi belgiga muvofiq OT:

- Paketli ishlov berish tizimi. Bu holatda ishlayotgan dasturda tizimga ishlov berish uchun yuboriladigan paketlar shakllantiriladi. Bunda foydalanuvchilar OT bilan bevosita bog'lanmaydilar;
- Vaqtni taqsimlash tizimlari. Bir necha foydalanuvchi terminal-larini bir vaqtda tizimga interaktiv kirishlarini ta'minlaydi. Tizim resurslari har bir foydalanuvchiga u yoki bu xizmat ko'rsatish tartibiga muvofiq navbat bo'yicha ajratiladi.
- Real vaqt tizimlari. Tashqi hodisalarga javob qaytarish kafolatlangan vaqtini ta'minlaydi.

To'rtinchi belgi OTni bir va ko'p protsessorli, tarmoq va taqsimlangan turlarga ajratadi. Ko'p foydalanuvchili va ko'p topshiriqli OTlar uchun xizmat ko'rsatish tartibi muhim ko'rsatkich hisoblanadi.

Shunga muvofiq ko'p topshiriqli ishning siqib chiqarish va mos kelish rejimlari bor. Siqib chiqarish tashkil qilinganda topshiriqlarni bajarish uchun protsessor vaqtini faqat OT egallaydi (masalan, protsessor barcha topshiriqlar uchun navbat joriy qilgan bo'ladi, lekin imtiyozli xizmat ko'rsatish mavjud). Mos kelish tashkil qilinganda har bir topshiriq boshqaruvni olib, protsessorni boshqa topshiriq uchun berishni o'zi hal qiladi.

Umumiy holda mos kelish rejimi effektiv va ishonchli, ammo dasturlarni yaratishda tavsiflash faktori bo'lib dastur protsessor vaqtidan monopol tarzda foydalanmasligi kerakligi fakti hisoblanmoqda. Bundan ko'rinadiki, hozirgi vaqtda OT ning ko'p turlari mavjud, keyinchalik real vaqt operatsion tizimlari (RVOT) haqida so'z yuritiladi.

RVOT ni ko'rib chiqish uchun real vaqt tizimi tushunchasini aniqlashtirish zarur.

Real vaqt tizimi (RVT) - bu aniq ishlash faqatgina hisoblashning logik to'g'riligiga bog'liq bo'lmay, balki bu hisoblashlar bajariladigan vaqtga ham bog'liq bo'ladigan tizim.

Bunday tizimda boladigan hodisa uchun hodisa sodir bo'lish vaqti va uning logik to'g'riligi muhim.

Tizim real vaqtda ishlaydi, agar tezkorligi nazorat va boshqaruv obyektlaridagi fizik jarayonlarning bajarilish tezligiga mos bo'lsa (jarayon deganda konkret real vaqt tizimi tomonidan bajarilayotgan funksiya bilan bog'liq jarayon tushuniladi). Boshqarish tizimi ma'lumotlarni yig'ishi, ularni berilgan algoritmlar bo'yicha qayta ishlashi va boshqaruv ta'sirlarini shunday vaqt oralig'ida berishi kerakki, bunda qo'yilgan topshiriqning muvafaqqiyatli bajarilishi ta'minlanishi kerak.

RVT ga asosiy talablar:

- bir necha topshiriqlarni parallel bajara olish;
- oldindan bilish;
- hodisa javobigamaksimai vaqtning muhimligi;
- xavfsizlik masalalari;
- uzoq vaqt rad etishsiz ishlash qobiliyati.

RVT umumiy xarakteristikalar:

- katta va murakkab tizimlar;
- taqsimlangan tizimlar;
- apparat bilan qat'iy ta'sirlashuv;
- topshiriqlarni bajarish vaqtga bog'liq;
- testlashning qiyinligi.

RVT ichki va tashqi hodisalarning har xil turlari (davriy va nodavriy) bilan ta'sirlashishi kerak. Tizimning RVT klassiga tegishli bo'lishi uning tezkorligi bilan bog'liq emas. Tizim reaksiya vaqtiga va boshqa vaqt parametrlariga talablar tizimning texnik topshirig'i yoki oddiygina uning ishlash mantig'i bilan aniqlanadi. RVT tezkorligi nazorat va boshqarish obyektidagi jarayonlarni amalga oshirish vaqtidan katta bo'lishi kerak.

Qattiq va yumshoq real vaqt tizimlari mavjud.

Qattiq real vaqt tizimi deb qo'yilgan topshiriqni yechish imkoniyatini yo'qotishga olib keladigan berilgan vaqtdagi qandaydir rad etish hodisasiga reaksiyani ta'minlay olmaydigan tizimlarga aytiladi. Ko'plab nazariyachilar qattiq tizimlarda reaksiya vaqti sekund, soat, haftadan iborat bo'lishi mumkin deyishadi. Shunga qaramay, ko'pchilik amaliyotchilar qattiq tizimlarning reaksiya vaqti minimal bo'lishi kerak deb hisoblaydilar. Qattiq real vaqt tizimlari asosan nazorat va boshqaruv tizimlari hisoblanadi. Bunday RVT ni joriy qilish qiyin, chunki unga xavfsizlik masalalarining qat'iy talablari qo'yiladi.

Yumshoq real vaqt tizimlari haqida aniq tavsif yo'q, shuning uchun bunga qattiq kategoriyaga kirmaydigan barcha RVT larni kiritish mumkin. Yumshoq real vaqt tizimlari berilgan vaqtda barcha amallarni bajarishga ulgurmasligi mumkin, shuning uchun muvafaq- qiyatli ishlash mezonlarini aniqlash muammosi yuzaga keladi.

Bundan tashqari RVT maxsus va universal tizimlarga bo'linadi. Maxsus RVT - konkret vaqt talablariga javob beradigan tizim. Bunday tizim yuqoridagi talablarni qondirish uchun maxsus loyihalashgan bo'lishi mumkin.

Universal RVT maxsus texnikani qo'llamagan holda ixtiyoriy (oldindan belgilanmagan) vaqt topshiriqlarini bajara oladi. Maxsus tizimlarga qaraganda bu tizimlarga qo'yilgan talablar yengilligiga qaramay, bunday tizimlarni yaratish juda qiyin masala hisoblanadi.

IXP1200 ni real vaqt tizimi sifatida ko'rsak, protsessor universal RVT deyish mumkin, chunki u ko'p yoki oz konkret topshiriqlarni bajarish uchun loyihalashtirilgan, lekin u keng diapazonda foydalaniladi.

RVOT larning imkoniyatlarini chuqurroq ko'rib chiqish uchun reaksiya vaqtlari tartibi haqida taxminiy raqamlar va mos operatsion tizimlar keltirilgan (jadval). Bu jadval Intel 80486DX protsessori asosida qurilgan hisoblash kompleksi bazasida olingan eksperimental ma'lumotlar asosida shakllantirilgan. Shubhasiz, bu protsessor bugungi kunda eskirgan hisoblanadi, ammo turli RVOT tashqi hodisalarida reaksiya sathi xulosalarini keltirish mumkin.

RVOT tashqi hodisalarida reaksiya sathi

3.9-jadval

Reaksiya vaqti	Foydalanilgan OT
10 mks dan kam	Faqat RVOT, lekin hatto ular ham kuchsiz bo'lishi mumkin – bu sxemali va dasturli yechimlar orasidagi tanlash chegarasi
10-100 mks	Real vaqt operatsion tizimlari
100 mks – 1 ms	RVOT, RTAI, RT LINUX, Windows NT, CE uchun real vaqt kengaytmalari
1 ms	Linux va Windows NT da nimadir qilishga harakat qilish mumkin, lekin reaksiyaning kechikishi yomon vaziyatlarga olib keladigan tizimlar uchun emas.

Bunda RVOT ning vaqt chegaralari qat'iy ko'rinadi. Zamonaviy operatsion tizimlar orasida qattiq real vaqt tizimlari VxWorks, OS9, QNX, LynxOS, OSE va

boshqalarni qurish uchun maxsus yaratilgan tovarlar klassi mavjud. Bu tizimlarda kerakli instrumentlar to'plami mavjud va ayrim holatlarda yagona tanlov bo'ladi, xarajatlariga qaramay shu tizimni tanlashga to'g'ri keladi. Shunga qaramay, ko'p hollarda real vaqtga talabni (reaksiya vaqtlarini oldindan to'liq bilish) kompromislar qo'yadi, masalan, faqatgina kerakli o'rtacha samaradorlikka erishish talab etiladi.

Ba'zida faqatgina bir hodisani qat'iy nazorat qilish yetarli, shunda qolganlari uchun reaksiyaning kechikishi bo'lmaydi. O'xshash hodisalarda tanlov imkoniyati kengayadi va LINUX, Windows NT, Windows CE kabi keng tarqalgan operatsion tizimlarni real vaqt kengaytmalari (RTAJ, RT LINUX, RTX) bilan to'ldirib foydalanish bilan ko'zlangan natijaga erishish mumkin.

RVOT ni proyektlashda taqdim etilgan OT ga talablar

Talab 1. OT ko'p tolali (multi-threaded) va uzilishli bo'lishi kerak.

Yuqorida ko'rsatilganidek, RVOT u yoki bu amal bajarilishi maksimal vaqtini oldindan biladigan bo'lishi kerak, ilova talablariga mos kelishini tekshirish uchun oldindan bilish kerak bo'ladi.

Birinchi talab shundan iboratki, OT absolyut imtiyoz (uzilishli) tamoyili bo'yicha ko'p tolali bo'lishi kerak. Rejalashtiruvdan ixtiyoriy to'lanib, uning resursini yanada ko'proq zarur joyga berish imkoniyatiga ega bo'lishi kerak. OT (va apparatura) ham uzilishlarni qayta ishlash sathida uzilishlarni ta'minlashi kerak.

Talab 2. Tolalar imtiyoz tushunchasi bo'lishi kerak

Muammo shundaki, qaysi topshiriqqa resurs talab qilinayotganligini bilish zarur. RVOT ideal holatda tola resursini drayverga beradi (Bu OT lar cheklangan vaqtni boshqarish OT deyiladi (deadline driven OS)).

Buni ta'minlash uchun OT toladagi har bir amalning tugash vaqtini bilishi kerak (haligacha bu printsipda qurilgan OT yo'q), shuning uchun OT ishlab chiqaruvchilar boshqa nuqtayi nazami qabul qilishadi: topshiriqning imtiyoz sathi tushunchasi kiritiladi va vaqt bo'yicha cheklanishlar imtiyoz bo'yicha bajariladi. Shu bilan mushohadaga asoslanib, yechim xatolarni keltirib chiqarsa, bunda RVT

ko'rsatkichlari pasayadi. Yuqorida keltirilgan cheklanishlarni qayta ishlashni yanada effektiv qilinsa, loyihalovchi jadval nazariyasi yoki imitatsion modellashtirishdan foydalanishi mumkin, hatto bu ham foydasiz bo'lishi mumkin. Bugungi kunda bundan boshqa yechim yo'q shuning uchun tolalarning imtiyozlari tushunchasi juda muhim.

Talab 3. OT topshiriqlar sinxronizatsiyasi mexanizmini oldindan bilishni ta'minlashi kerak.

Topshiriqlar ma'lumotlar (resurslar)ni bo'lib beradi va ular bir-biri bilan aloqada bo'lishi kerak, o'z navbatida blokirovka va kommunikatsiya mexanizmlariga ega bo'lishlari kerak.

Hozirgi vaqtda 100 dan ortiq pulli RVOT lar mavjud. Ko'pgina bepul (yoki shartli bepul) RVT va tadqiqot yoki universitet projeklari maqomidagi tizimlar bor. Bir necha real vaqt tizimlarining qisqa tavsifini ko'rib chiqamiz.

QNX operatsion tizimi.

QNX operatsion tizimi ishlab chiqaruvchisi Kanadadagi QNX Software System Ltd (1981) kompaniyasi hisoblanadi.

QNX operatsion tizimi foydalanuvchiga o'z talabi bo'yicha konfiguratsiya qilish imkonini beradigan, 16/32 bitli gibril operatsion tizim hisoblanadi. Ko'pincha u real vaqt masshtabida ishlovchi tizimlarni yaratish uchun ishlatiladi. Tizimni to'liq o'rnatish uchun kerakli vaqt tarmoq vositalari bilan 10 - 15 minutni tashkil etadi, shundan so'ng ishini boshlash mumkin. Tizimning resurslarga talabi yo'qligi tizimning Watcom C/C⁺⁺ (QNX uchun asosiy kompilyator) kompilyatori ko'rinishidagi kerakli vayetarli yaratish muhiti ekanligi bilan ko'rsatiladi.

QNX - mikroyadro va xabar almashish prinsipida qurilgan birinchi pulli OT. Tizim turli darajadagi (menedjerlar va drayverlar), har biri ma'lum xizmat ko'rinishini beradigan erkin (ammo xabar almashish orqali o'zaro ta'sirlashadigan) jarayonlar birligi ko'rinishida yaratilgan.

Bu g'oyalar bir necha muhim afzalliklarga erishishga imkon berdi:

- oldindan bilish, qat'iy real vaqt topshiriqlariga nisbatan qo'llaniladi; UNIX ning hech bir versiyasi yadro kodi juda kattaligi tufayli bunday sifatga erisha

olmaydi. UNIX da uzilishlami qayta ishlashdan kelgan ixtiyoriy tizim chaqiruvi oldindan aytib bo'lmaydigan (Windows NT kabi) kechikishga olib keladi;

- kengayuvchanlik va effektivlik, resurslardan oqilona foydalanish bilan erishiladi va ichki qurilgan (embedded) tizimlar uchun qo'llash mumkinligi bilan izohlanadi. Dev katalogida faqat zarur drayverga mos fayl topshiriqlari uchun kerakli ma'lumotlar bor. Drayver va menedjerlarni ishga tushirish va komandalar qatoridan oddiygina dinamik o'chirish (fayl tizimidan tashqari) mumkin. Faqatgina kerakli fimksiyani ta'minlash uchun zarur boiadigan real modullamigina sotib olish mumkin;
- bir vaqtda kengayuvchanlik va ishonchlilik, tizim barqarorligmi yuzaga keltirmaslik uchun bu dray vemi yadroga kompilyatsiya qilish kerak emas.

Tarmoqning bir uzelida ishlayotgan foydalanuvchi qolgan ixtiyoriy uzellar, portlar, fayl tizimlari va topshiriqlardagi resurslarga kira oladi. Foydalanuvchi tarmoq protokoliga murojaat qilishi shart emas. U xabarlami uzatish uchun ham qo'llaniladigan paketni o'z ichiga oladi. Tarmoq administratori bu paketni taniydi va mikroyadroga yo'naltiradi, o'z navbatida u ham paketlarni lokal xabarlar shinasiga uzatadi. QNX faqatgina QNX jarayonlari xabar paketlarini tanimaydi. Shuningdek, TCPJIP, 8MB va boshqa paket protokollarini uzatish uchun tarmoq administratoriga oson murojaat qilish mumkin. Turli tarmoq administratorlariga bitta kabel orqali murojaat qilish mumkin.

QNX operatsion tizimi butun PK tarmog'ini kirish shaffofligi absolyut bo'lgan yagona resurslar to'plamiga birlashtiradi. Tugunlar tarmoqqa qo'shilishi yoki chiqarib tashlanishi mumkin, bu tizim butunligiga ta'sir etmaydi. QNX da tarmoq ma'lumotlami qayta ishlash shunday egiluvchanki, bunda muvofiq Intel kompyuterlaming ixtiyoriy turli to'plamini Arcnet, Ethernet, Token Ring yoki modem ham ulanishi mumkin bo'lgan serial porti orqali bog'lab bir tarmoqqa birlashtirish mumkin. Bundan tashqari kompyuter bir vaqtda bir necha tarmoqqa ulanishi mumkin, agar ulardan biri o'ta yuklansa yoki ishdan chiqsa, bunda QNX

avtomatik tarzda boshqa mumkin bo'lgan, axborot yo'qotishi bo'lmagan tarmoqdan foydalanadi.

QNX ichki qurilgan real vaqt tizimlari bozorida tizimning o'zi bilan bog'liq bir necha cheklavlarga ega:

- SMP ni qoilyamaydi;
- Virtual xotiradan diskka yozish mavjud emas;
- Toladan noeffektiv va nostandart foydalanish;
- Fayllarni xotirada aks ettirishning noto'liq aks ettirilishi;
- UNIX-domain sockets ni qoilyamasligi;
- Xususiy tarmoq protokoli doirasidagi xavfsizlik vositasining zaifligi.

Keltirilgan kamchiliklarga qaramay, QNX ko'pgina foydalanuvchi dasturlarida ishlangan (masalan, ma'lumotlar ombori).

VxWorks operatsion tizimi.

Wind River Systems firmasining VxWorks real vaqt operatsion tizimi va Tornado instrumental muhiti qat'iy real vaqt tizimida ishlovchi kompyuterlar dasturiy ta'minotini yaratish uchun mo'ljallangan. VxWorks operatsion tizimi amaliy dasturiy ta'minot yaratish kross vositali tizimi hisoblanadi, yaratish ishlari instrumental kompyuter (host) da Tornado muhitida olib boriladi, keyinchalik VxWorks nazorati ostida maqsad mashinasida (target) foydalaniladi.

VxWorks operatsion tizimi qat'iy real vaqt operatsion tizimlari kabi mikroyadro texnologiyasi bo'yicha qurilgan, ya'ni yadroning quyi uzluksiz sathida topshiriqlarni rejalashtirish va ularning kommunikatsiya sinxronizatsiyasini boshqarish asosiy funksiyalari bajariladi. Operatsion tizimning qolgan barcha yuqori darajali funksiyalari (xotira, kiritish/chiqarish, tarmoq vositalari va boshqalarni boshqarish) quyi daraja oddiy funktsiyalariga asos qilinadi, bu tezkorlik va operatsion tizim zaruriy konfiguratsiyalarini oson qurish imkoniyatini beradi.

Wind ko'p topshiriqli yadrosida imtiyozni hisobga oladigan va uzilishlar bo'yicha ishga tushadigan topshiriq rejalashtirish algoritmi qo'llanilgan. Wind yadrosida topshiriqlarni sinxronlash asosiy vositasi sifatida va umumiy resurslarga

o'z-o'zini inkor etuvchi kirish sifatida semaforlar ishlatilgan. Turli amaliy topshiriqlarga nisbatan semaforlarning bir necha ko'rinishlari mavjud: ikkilik, butun sonli, o'z-o'zini inkor etuvchi va POSIX.

VxWorks bazaviy tarmoq vositalari: UNIX-networking, SNMP va STREAMS

VxWorks real vaqt talablarini hisobga olgan holda TCP/IP protokoli bilan yaratilgan birinchi real vaqt operatsion tizimi bo'lgan. VxWorks hozirgacha UNIX uchun standart bo'lgan barcha tarmoq vositalarini qo'llaydi: TCP/UDP/ICMP/IP/ARP, Sockets, SLIP/CSLIP/PPP, telnet/rlogin/rpc/rsh, ftp/tftp/bootp, NFS (klient va server).

SNMP-agentini MIB-I ni qo'llagan kabi MIB-II ni qo'llab joriy qilish intellektual tarmoq qurilmalari (hablar, ko'priklar, marshrutizatorlar, qaytargichlar) va tarmoqda ishlovchi boshqa qurilmalarda VxWorks ni qo'llash uchun mo'ljallangan.

Tornado instrumental muhiti ochiq arxitekturaga ega, real vaqt DT ishlab chiqish instrumental vositasini yaratuvchi boshqa firmalarga o'z dasturiy mahsulotlarini Tornado bilan integrallashtirish imkonini beradi. Foydalanuvchi o'zining xususiy maxsus ishlab chiqish vositasini Tornadoga ulay oladi, shuningdek, Wind River Systems firmasi instrumental vositasi imkoniyatlarini kengaytiradi.

IXP12xx da qurilmasi yaratish jarayon ini tezlashtirish uchun Intel o'z bo'linmasida yaratilgan (Level One kompaniyasi) IXDP1200 Advanced Development Platform apparat-dasturiy kompleksni tavsiya qiladi. Kompleksning apparat qismi Ethernet va Serial portli IXP1200 tarmoq protsessori platasini, CompactPCI slotli shassini o'z ichiga oladi, qo'shimcha ravishda WAN yoki LAN interfeysli kiritish/chiqarish platasi o'rnatilgan bo'lishi mumkin.

Dasturiy ta'minot tarkibiga IXP asosida dastur yaratish uchun zarur muhitni o'z ichiga oluvchi Intel IXA SDK kirishi mumkin.

Yaratish muhiti Intel Internet Exchange Architecture SDK paketini o'z ichiga oladi. Bu paket modulli dasturlash vositasiga ega: Intel Active Computing Element, ko'chuvchi komponentlarni yaratish va ulardan dasturiy ta'minot qurish,

ulami birlashtirib paketlarni qayta ishlash funktsiyasini joriy qilishga imkoniyat beradi. Operatsion tizim - telekommunikatsiya qurilmasi dasturiy ta'minotining asosi. Operatsion tizim topshiriqlarni dispetcherlashni (har bir vaqt momentida ulaming qay biri bajarilishi kerak) ta'minlaydi va topshiriqlararo ma'lumotlar almashinuvini boshqaradi. IXP1200 uchun dasturni ishlatish muhiti ichki o'rnatilgan (embedded) real vaqt operatsion tizimi (VxWorks yoki embedded Linux) hisoblanadi.

Intel Embedded Linux Integrated Development Environment ishlab chiqish muhiti komanda qatoridan foydalanmay Linux uchun foydalanuvchining grafik interfeysini ishlatishga imkon beradi.

Linux operatsion tizimi.

Linux - shaxsiy kompyuter va ishchi stantsiyalar uchun zamonaviy POSIX bilan hamkorlikdagi Unix ga o'xshash operatsion tizim, ya'ni ko'p foydalanuvchili tarmoq operatsion tizimi.

Linux OT ochiq tizim standardari va Internet tarmogi protokollarini qo'llaydi. Tizimning barcha komponentlari, jumladan joriy matnlar cheklanmagan sonli foydalanuvchilar uchun erkin ko'chirish va o'rnatish litsenziyasi bilan tarqatiladi.

Linux ning OT sifatida xarakterli xususiyatlari:

- ko'p topshiriqlilik (zaruriy shart hisoblanadi);
- ko'p foydalanuvchili rejim;
- protsessorning himoyalangan rejimi (386 protected mode);
- protsessor xotirasi himoyasi; dasturning ishdan chiqishi tizimga bogliqlikni vujudga keltirmasligi kerak;
- TCP/IP tarmog'i, shu jumladan ftp, telnet, NFS vaboshqalarni qo'llash.

Linuxning ommalashib borishi ishlab chiqaruvchilarning bu operatsion tizimga diqqat bilan e'tibor qaratishlariga olib keldi. Hozirgi vaqtda bu OT barqaror ishlashga tayyor, uning boshlang'ich matnlari va arxitekturasining ochiqligi esa dasturchilarni ko'pgina apparat platformalariga (SGI, IBM, Intel, Motorola va boshqalar) o'zlarining qo'shimchalarini kiritishlariga imkon beradi.

4. MIKROKONTROLLERLI TIZIMLARI

4.1. Mikrokontrollerli tizimlar strukturasi

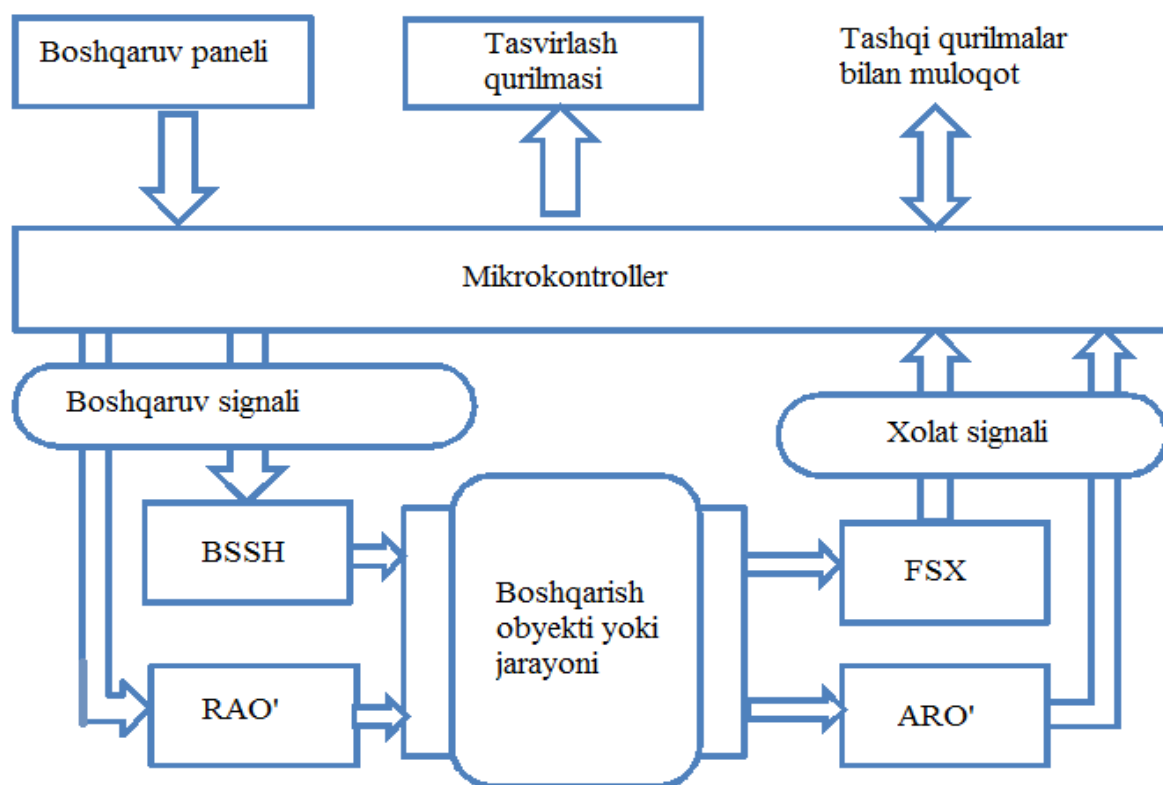
Mikrokontrollerlar - hisoblash asboblari, qurilmalar va har xil vazifalarda qo'llaniladigan tizimlarda ishlatiladigan mikroprotssessorlarni eng keng sinfini tashkil qiladi. Mikrokontrollerlar bu - texnik obyektlarni boshqarish qurilmalarni va texnologik jarayonlarni hosil qilish uchun mo'ljallangan maxsus mikroprotssessor [14-17]. Tuzilishi jihatidan mikrokontrollerlar, kristalda hisoblash tizimining hamma tarkib qismlari: mikroprotssessor, xotira, hamda qo'shimcha funktsiyalarni amalga oshirish uchun periferiya qurilmalari joylashtirilgan, katta integral sxemani (KIS) tashkil qiladi.

Mikrokontrollemlarning hamma elementlari bitta kristalda joylashgani uchun, ularni bir kristalli (bir korpusli) mikroEXM yoki bir kristalli mikrokontrollerlar deb ham atashadi. Mikrokontrollerlarni qo'llashdan maqsad - komponentlar sonini qisqartirish, o'lchamini kamaytirish va qurilmani (tizimni) narxini tushirishdir.

Odatda, mikrokontrollerlar RISC-arxitekturasiga (RISC - Reduced Instruction Set Computer), kam hajmli xotiraga, fizik va logik bo'lingan dastur xotirasi va komandalar tizimini boshqarish uchun mo'ljallangan ma'lumot xotirasiga ega. Shunday qilib, mikrokontrollerlar boshqarish masalasini yechish, nazorat, tartibga solish va ma'lumotlarga dastlabki ishlov berish uchun mo'ljallangan.

Mikrokontrollerli boshqaruv tizimiga mikrokontroller va u bilan boshqaruv obyektini ulash (biriktirish) qurilmasi kiradi (4.1-chizma) [14].

Mikrokontroller obyekt bo'yicha holat signallarini davriy so'rab turadi va joylashtirilgan algoritmgacha muvofiq boshqaruv signallarini ketma-ketligini ishlab chiqaradi. Holat signallari boshqaruv signallarini joriy parametrlarini xarakterlaydi. Ular datchikning (D) chiqish signallarini analog-raqamli o'zgartirgich (ARO') yoki signallar holatini shakllantirgich (ShSh) yordamida o'zgartirish yo'li bilan shakllanadi.



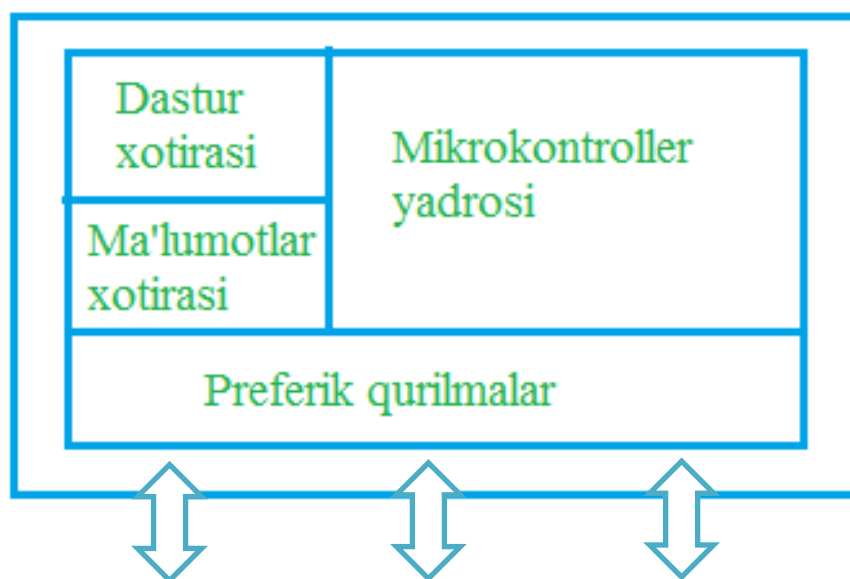
4.1-chizma. Mikrokontroller asosidagi boshqaruv tizimining odatiy tuzilishi: BSSH - boshqaruv signallarini shakllantirgichlar; BQ - bajaruvchi qurilma; D - datchiklar; ShSh - signallar holatini shakllantirgichlar

Mikrokontroller orqali tanlangan Boshqaruv signallari, raqamli-analog o'zgartirgich (RAO') yoki boshqaruv signallarini shakllantirgich (BSSH) yordamida o'zgartiriladi. Bajaruvchi qurilmaga (BQ) keladigan RAO' va BSSH chiqish signallari mos ravishda analog va diskret boshqaruv ta'siriga ega. Tizimida yana boshqaruv paneli, indikatsiya qurilmasi va tashqi qurilma bilan ma'lumot almashtirib turish uchun interfeys bo'lishi mumkin. Ma'lum tizimning vazifasi va xarakteristikasiga qarab yuqorida ko'rsatilgan elementlarning ba'zi biri mavjud bo'lmasligi mumkin.

4.2. Mikrokontrollerlar strukturasi va ishlash asoslari

Mikrokontroller bitta integral sxema ko'rinishida amalga oshiriladigan hisoblash tizimidan iborat va o'z ichiga yadro, dastur xotirasi, ma'lumotlar xotirasi, periferiya qurilmalari kabi asosiy bloklarni oladi (4.2-chizma).

Mikrokontroller yadrosi dastur tomonidan beriladigan boshqaruv jarayonini amalga oshiradi. Mikrokontrollerli yadro negizida integral sxemasini ishlab chiqaruvchi zavod tomonidan modulli xotira va periferiya qurilmalarining nom ro'yxati bo'yicha turlicha bo'lgan, lekin komandalar tizimi va ma'lumotlar almashinuvi sikli bo'yicha o'zaro moslashadigan mahsulotlar ishlab chiqariladi. Ushbu belgi bo'yicha ko'plab moslashadigan mikrokontroller (MK) mikrokontroller turkumi deb ataladi.

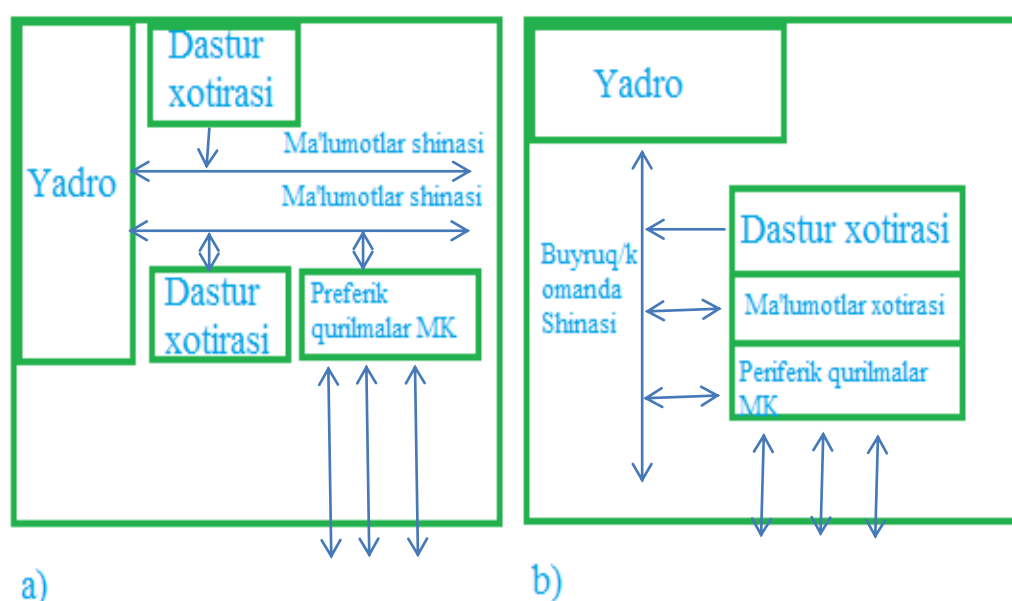


4.2.-chizma. Mikrokontrollarning umumlashtirilgan tuzilmaviy sxemasi

Dastur xotirasi boshqaruvchi dasturni saqlash uchun mo'ljallangan. Boshqarish jarayoni uchun zarur bo'lgan ma'lumotlar ma'lumotlar xotirasida joylashadi.

Periferiy qurilmalari mikrokontrollarning tashqi obyektlari va qator boshqaruv funksiyalarini amalga oshiradigan apparat bilan birikishni ta'minlash uchun mo'ljallangan.

Mikrokontrollerlar, boshqa klasslarning hisoblash mashinalari kabi, Garvard yoki Prinston arxitektura asosida amalga oshiriladi (4.3-chizma). Garvard arxitektura asosida bajariladigan mikrokontrollerlarda dasturlar va ma'lumotlar foydalana olishning turli metodlaridagi mantiqiy bog'liq bo'lmagan xotira bloklarida joylashadi. Prinston arxitektura asosida bajariladigan mikrokontrollerlarda dasturlar va ma'lumotlar xotiraning umumiy blokida joylashishi mumkin, murojaat uchun foydalana olishning yagona metodidan foydalaniladi.



4.3-chizma. MK garvard (a) va prinston (b) arxitekturalari

Namunaviy va kristalga eng ko'p integratsiyalanadigan periferiya qurilmalarining mikrokontrolleriga quyidagi bloklar kiradi:

- mantiqiy signallar ko'rinishida keltirilgan ma'lumotlar almashinuvini amalga oshiradigan kiritish-chiqarish parallel raqamli portlar;
- vaqtli integrallar shakllantirilishini amalga oshiradigan va mantiqiy hodisalarni hisoblashni bajaradigan taymer-hisoblagichlar;
- vaqt bo'yicha bogliq bo'lgan hodisalarni apparatli qayta ishlash uzellari;

- uzluksiz signallarni chiqarish va kiritishni amalga oshiradigan raqamli-analog va analog-raqamli o'zgartirgichlar;
- taqsimlanadigan tizimlarda ma'lumotlar almashinuvini amalga oshiradigan kiritish-chiqarishning ketma-ket portlari;
- uziluvchi hodisalarga xizmat ko'rsatish bloklari;
- ishlash ishonchliligini oshirish vositalari.

MK har bir periferiya uzeli maxsus funksiyalar registri deb ataladigan uzelnining dasturiy qulay bo'lgan konfiguratsion registrida boshqariladigan kodlarni yozish yordamida rostlash imkoniyatiga ega bo'ladi. Rostlash qurilmaning (masalan, taymer va parallel porti raziyadlaridagi ma'lumotlarni uzatish yo'nalishlarining razryadlilikini va boshqalarni talab etadigan) ishlash rejimini tanlashni amalga oshirish imkonini beradi.

MKda joylashgan periferiya bloklarining tarkibi qurilmaning maqsadli vazifasiga bog'liq bo'ladi va ushbu turkumning mikrokontrollerida amalga oshiriladigan namunaviy vazifalari asosida ishlab chiqaruvchilari tomonidan aniqlanadi.

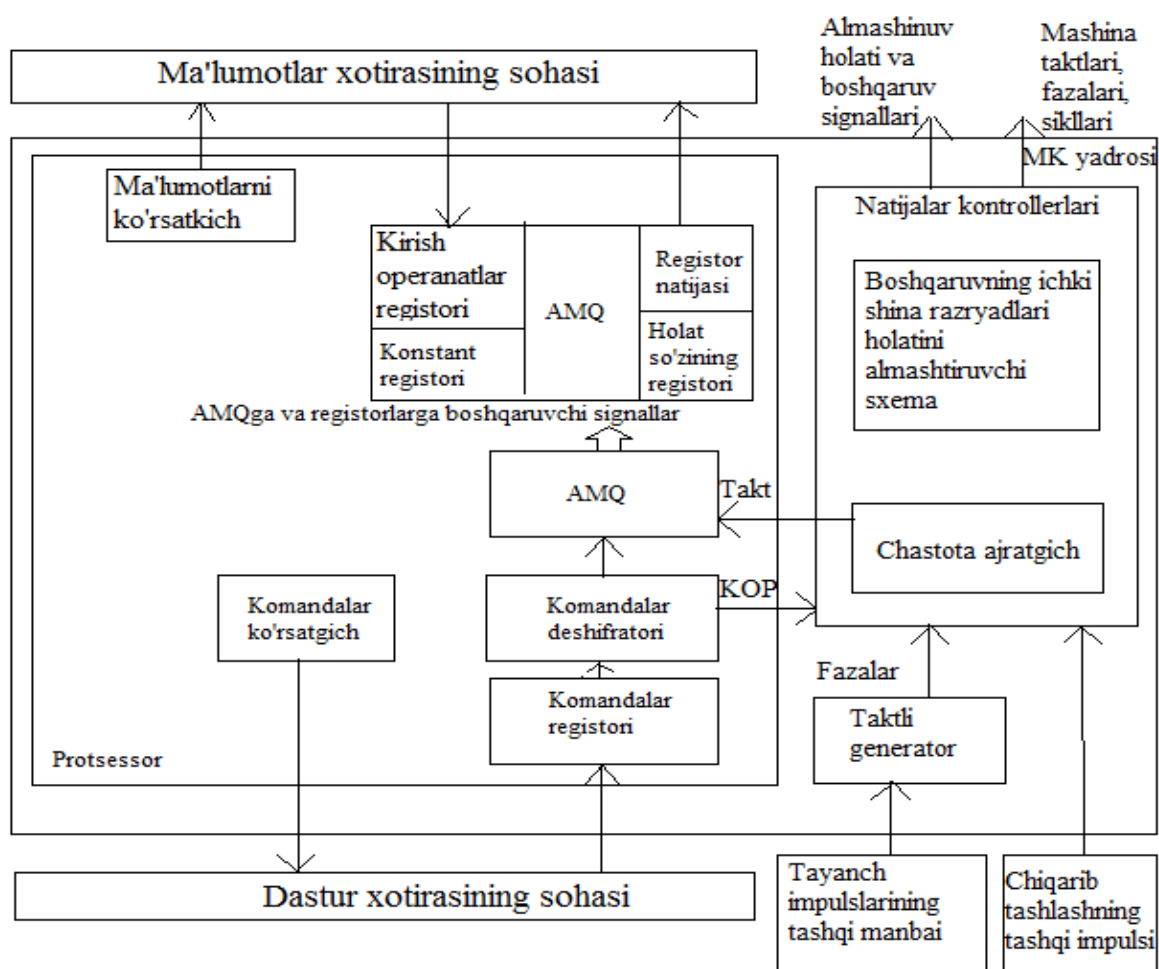
4.3. Mikrokontroller yadrosi

Mikrokontroller yadrosi tarkibiga protsessor, taktli generator va shina kontrolleri kiradi (4.4-chizma). Protsessor ikkilik kodi va komandalar ketma-ketligidan iborat bo'lgan dasturga muvofiq ushbu jarayonni boshqarish ko'rinishida keltirilgan axborotni qayta ishlash jarayonini bevosita amalga oshiradi. Taktli generator MK uzellarida jarayonlar o'tishini sinxronizatsiyalovchi tayanch signallar ketma-ketligini tayanch impulslarning tashqi ketma-ketligi asosida shakllantirishni amalga oshiradi. Shinalar kontrolleri MKda komandalar bajarilishining turli bosqichlarini ichki shina bo'yicha taktlovchi va MK periferiya qurilmalari bilan ma'lumotlar almashinuvini tashkil etish uchun zarur bo'lgan ko'p fazali impulsli ketma-ketlikning tuzilishini amalga oshiradi.

Komandalar berilgan adreslar (katakchalar raqami) bo'yicha komandalar xotirasida joylashadi va o'z ichiga bajariladigan operatsiyalami tavsiflaydigan boshqariluvchi kodlami va berilgan operandlar (amallar bajariladigan ma'lumotlar)ni oladi.

Har bir MK komandalar ro'yxati va ularning formatlari xarakterlanadigan komandalarning muayyan tizimiga ega boiadi. Komandalar ro'yxati o'z ichiga ushbu MK protsessorida bajarilishi nazarda tutilgan amallar to'plamini oladi. Har qanday MK komandalar ro'yxatida amallarning to'rtta guruhiga ajratish mumkin:

- ma'lumotlar uzatish amallari (MK katakchalar, shuningdek MKning boshqa dasturiy qulay elementlar o'rtasida);
- arifmetik amallar («VA», «YoKI», «YoKI»ni istisno qiladigan inversiya, turli siljishlar);



4.4-chizma. Mikrokontroller y adrosining tuzilmaviy sxemasi

- boshqaruvni uzatish amallari (berilgan adres bo'yicha shub- hasiz o'tish, operandlar tengsizligi yoki tanglik sharti bo'yicha o'tish, quyi dasturga o'tish va undan qaytarish va h.).

Komandalar formati amallar dasturining navbatdagi qadamida bajariladigan tipni, kirish va chiqish operandlarini, shuningdek dastuming quyidagi qadamda bajarilishi kerak bo'lgan komandalar adresini aniqlash imkonini beradi.

Bajariladigan komandalar tipi amallar kodi (KOP) beriladi. Operandlarni berish uchun ularni lokalizatsiyalash metodlari (adreslash usullari) qo'llaniladi:

- noaniq bo'lgan: operand undan foydalana olishning bir xilligi bilan bog'liqligi (masalan, uning joylashish imkoniyatiga bog'liqligi) ko'rsatilmaydi;
- bevosita: kirish operand komandalarda (masalan, konstant topshirig'i maqsadida) joylashtiriladi;
- to'g'ri: kirish operand komandalarda (masalan, konstant topshirig'i maqsadida) joylashtiriladi;
- to'g'ri: komandada operand joylashgan ma'lumotlar xotirasidagi adres ko'rsatiladi;
- bevosita: komandada operand joylashgan ma'lumotlar xotirasidagi katakchalar adresini o'z ichiga olgan ma'lumotlar xotirasidagi katakchalar adresi ko'rsatiladi (masalan, dastur uchastkasining bir necha marta takroranganda ketma-ket joylashgan ma'lumotlardan foydalana olishni tashkil etishda izlanayotgan ma'lumotlar adresini o'zgartirgan holda komandalar operandining qiymatini o'zgartirish);
- nisbiy: komandada (masalan, noaniq beriladigan) ayrim kattalikka tuzilgan ma'lumotlar xotirasida katakchalar adresi ko'rsatiladi, izlanayotgan operand joylashgan ma'lumotlar xotirasidagi katakchalar adresini beradi (masalan, ma'lumotlar jadvalining elementiga murojaat qilganda jadval boshiga nisbatan siljishi bo'yicha izlanayotgan operandni aniqlash qulaydir).

Quyidagi bajariladigan komandalar adresi komandalaming ushbu vaqtida bajariladigan adresdan keyin keladigan dastur xotirasining adresi kabi noaniq beriladi, bu ko'pgina dasturlarda komandalar ketma-ketligining liniyali uchastkalarga ega bo'lish bilan tushuntiriladi. Sikllar, quyi dasturlar, shartlar bo'yicha vetalenieni va h tashkil etishda uning aniq topshirig'i uchun komandalar qo'llaniladi, KOP boshqaruvni uzatishning muayyan amalini kodlaydi.

Ko'plab MK komandalar tizimiga bir, ikki, uch adresli va adressiz komandalami (bitta operandalar komandasida adreslanadigan miqdori bo'yicha) kiritadi.

MKda komandalami bajarish protsedurasi quyidagiga olib keladi.

Chiqarib tashlash impulsi amalining tugashi bo'yicha MK yadro registrini initsializatsiyalash amalga oshiriladi. Komandalar ko'rsatkichiga dastlabki ishga tushirish adresi kiritiladi.

Komandalar ko'rsatkichidagi adres bo'yicha shina kontroller tomonidan shakllanadigan boshqariluvchi signallar ta'siri ostida dastur xotirasi sohasidan komandalar registriga dastur kontrolleri tomonidan bajariladigan navbatdagi komandalar yuklanadi.

Har qanday komandalar elementar harakatlar (mikroamallar) ketma-ketligini, operandlar amali uchun talab etiladigan miqdori aniqlash, zarur operandlami lokalizatsiyalashni aniqlash, ulami chiqarib tashlash, bajariluvchi bloklar uchun harakatlar kodini shakllantirish, amallar bajarilishi tugashini kutish, natijalarni lokalizatsiyalashni aniqlash, natijalami kiritish, keyingi komandalar va qator boshqa komandalar adresini aniqlashdan iborat. Navbatdagi komandalami bajarishda amalga oshiriladigan mikroamallaming muayyan ro'yxati uning KOPni aniqlaydi.

Talab etiladigan mikroamalga protsessor sxemasini rostlash uchun boshqariluvchi signallar ketma-ketligidan foydalaniladi. Komandalar dasturi xotirasi dan hisoblab chiqilgan KOP deshifrlanadi va sinxronizatsiyalashning har bir takt bilan ishlab chiqiladigan, boshqariluvchi signallar to'plaming

komandalarini ishlab chiqishning ushbu bosqichida zarur boladigan shina kontrolleridan kelib tushadigan mikrodesturli avtomat (MPA)ga kelib tushadi.

Arifinetik va mantiqiy amallar protsessorida siljish, nollash va hokazolami bajarish arifinetik-mantiqiy qurilma (AMQ) tomonidan ta'minlanadi. Xotira, konstant ma'lumotlarning ikki-o'ntalik tarzda keltirishda to'g'rilovchi kodni, bitlar ustida amallarni AMQda bajarishda maska kodini ishlab chiqishni, shuningdek konstant kodlarini berishni ta'minlaydi. Amallar AMQda bajariladigan ma'lumotlarni vaqtli saqlash uchun tegishli ko'rsatkich qo'llanilishi bilan ma'lumotlar xotirasining sohasidan kiritiladigan kirish amallarining registrlari, axborot mo'ljallangan.

Amallarni AMQda bajarilishining tugashi bo'yicha uning natijalari natijalar registriga kiritiladi, shuningdek protsessor holatining so'z registriga kiritiladigan va dastur bilan hisoblash va tahlil qilish uchun (masalan, arifinetik jihatdan tolganligi sababli dasturning boshqa shoxiga o'tishni tashkil etish uchun) qulay bo'lgan amallar natijalarining belgilari (toldirish, siljish, belgi va h.)ni shakllantiradi. Keyin umumiy holatda ma'lumotlar ko'rsatkichiga komandalar natijalarini joylashtirish zarur bo'lgan ma'lumotlar xotirasi katakchalarining adreslari ketma-ket kiritiladi (ushbu adreslar chiqish operandlarni adresi ashy maydonlaridan chiqarib tashlanadi) va operandlar natijalarining registrlaridan ma'lumotlar ko'rsatkichi tomonidan adreslanadigan ma'lumotlar xotirasi katakchalariga kiritiladi. (Shuni ta'kidlash kerakki, qoidaga ko'ra, MK protsessorida operandlarni kiritishda avtooshirish va xotiradan operandlar chiqarib tashlanganda avtokamaytirish mexanizmlari bilan ta'minlangan ma'lumotlar xotirasida qo'shimcha ko'rsatkichdan foydalaniladi. Xotiradan foydalana olish metodi stekli deb ataladi, ma'lumotlar xotirasida ajratiladigan bunday manipulyatsiyalash uchun soha stek deb ataladi. Stekdan quyi dasturi tashkil etishda, xususan, uzilishni qaytaishlash quyi dasturdan foydalaniladi).

Chiqish natijalari joylashtirilgandan keyin komandalar ko'rsatkichining avtooshishi yuzaga keladi, yoxud bajariladigan komandalarda operandlarning mavjud berilgan maydoni unga kiritiladi. Ikkala holatda komandalar ko'rsatkichida

navbatdagi bajarilishi kerak bo'lgan komandalami o'z ichiga olgan xotira katakchalari adresi bo'ladi va tavsiflangan jarayon takrorlanadi.

Masalan, PLUS opX, opY, opZ ($opZ=opX+opY$) gipotetik komandalarini bajarish ma'lumotlar ko'rsatkichiga opX adresini yuklash, «ma'lumotlar xotirasini o'qish» signalini berish, ma'lumotlar xotirasining tayyorligini kutish, ma'lumotlar xotirasining ma'lumotlar shinasidan AMQning kirish operandining 1-son registriga yuklash, opY uchun shunga o'xshash harakatlami bajarish (2-son registrga yozish), «qo'shish» kodini AMQga berish, AMQ tayyorligini kutish, opZ adresni ma'lumotlar ko'rsatkichiga yuklash, ma'lumotlami AMQning kirish operandimng 1-son registridan ma'lumotlar xotirasining ma'lumotlar shinalariga berish, «ma'lumotlar xotirasini yozish» signalini berish, ma'lumotlar xotirasi tayyorligini kutish kabi harakatlami yuzaga keltiradi.