

Дәріс 12. Кірістірілген операциялық жүйелер

12.1. Кірістірілген жүйелер

Кірістірілген жүйелер туралы түсініктер

Қолданбалы және мамандандырылған процессорлар

Микропроцессорлар

Микроконтроллерлер

Терең кірістірілген жүйелер

12.2. Кірістірілген операциялық жүйелердің сипаттамалары

Бастапқы және мақсатты орта

Бастапқы жүктеуші

Ядро

Түбірлік файлдық жүйе

Даму тәсілдері

Қолданыстағы коммерциялық операциялық жүйені бейімдеу

Арнайы жасалған кірістірілген Операциялық жүйе

12.1. Кірістірілген жүйелер

Кірістірілген операциялық жүйелер операциялық жүйелердің маңызды және кеңінен қолданылатын санаттарының бірі болып табылады. Кірістірілген жүйенің ортасы операциялық жүйеге ерекше қатаң талаптар қояды; сонымен қатар, әдеттегі операциялық жүйелерге қарағанда мүлдем басқа дизайн стратегиялары қарастырылған.

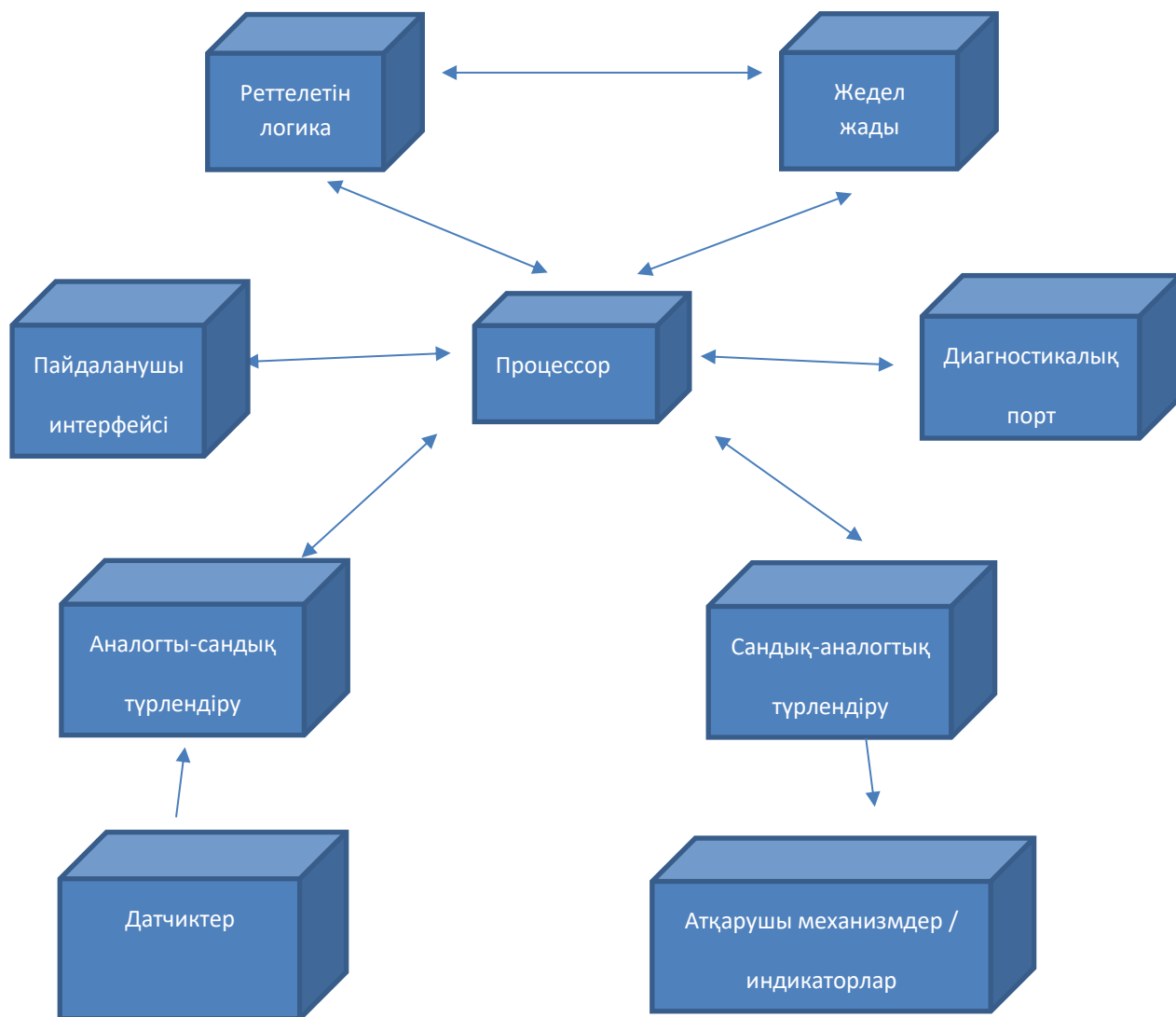
Кірістірілген жүйелер туралы түсініктер

Кірістірілген жүйе термині әмбебап (мысалы, портативті немесе жұмыс үстелі) компьютерге қарағанда белгілі бір немесе бірқатар функцияларды орындайтын аппараттық және бағдарламалық жасақтаманы белгілі бір өнімде қолдануды білдіреді. Кірістірілген жүйені компьютерлік чипті қамтитын, бірақ әмбебап жұмыс станциясы, жұмыс үстелі немесе портативті компьютер болып табылмайтын кез-келген құрылғы ретінде анықтауға болады. Қазіргі уақытта электр қуатымен жұмыс істейтін құрылғылардың көпшілігінде кірістірілген есептеу жүйесі бар.

Кірістірілген жүйелері бар құрылғыларға ұялы телефондар, сандық фото және бейнекамералар, микротолқынды пештер, үйдегі қауіпсіздік жүйелері, кір жуғыш және ыдыс жуғыш машиналар, жарықтандыру жүйелері, әртүрлі автомобиль жүйелері, автоматтандырылған жүйелердегі сенсорлар мен жетектердің көптеген түрлері жатады.

Көбінесе кірістірілген жүйелер қоршаған ортамен тығыз байланысты. Бұл қоршаған ортамен өзара әрекеттесу қажеттілігіне байланысты нақты уақыт шектеулеріне әкелуі мүмкін. Мұндай шектеулер бағдарламалық жасақтаманы синхрондауды қажет етеді. Егер көптеген әрекеттер бір уақытта бақылауда болуы керек болса, онда бұл одан да күрделі шектеулер қояды – нақты уақыт.

12.1 суретте ең жалпы терминологияны қолдана отырып, кірістірілген жүйелерді ұйымдастыруды нақты көрсетеді.



12.1 сурет. Кірістірілген жүйені ықтимал ұйымдастыру

Әдеттегі жұмыс үстелі компьютері портативті компьютерден тек процессормен және жедел жадымен ғана емес, сонымен қатар бірқатар басқа элементтермен де ерекшеленеді.

Өлшеу, манипуляциялау немесе сыртқы ортамен басқа өзара әрекеттесу мақсаттары үшін жүйеде әртүрлі интерфейстер болуы мүмкін. Кірістірілген жүйелердің сенсорлар мен жетектер арқылы сыртқы әлеммен өзара әрекеттесуі (әрекет етуі, манипуляциясы және байланысуы) сирек емес, сондықтан олар жауап беретін жүйелер болып табылады. Реакция жүйесі қоршаған ортамен үнемі өзара әрекеттеседі, берілген орта белгілейтін қарқынмен әрекеттерді орындайды.

Пайдаланушы интерфейсі қарапайым немесе күрделі болуы мүмкін. Көбінесе пайдаланушы интерфейсі болмауы мүмкін.

The диагностикалық порт бақыланатын жүйені диагностикалау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Өнімділікті немесе сенімділікті арттыру үшін арнайы мақсаттағы интегралды схеманы қолдануға болады – бағдарламаланатын (FPGA) немесе белгілі бір қолданба үшін жасалған (ASIC) немесе тіпті сандық емес жабдық.

Бағдарламалық жасақтама көбінесе бекітілген функцияны орындайды және белгілі бір қосымшаға арналған.

Кірістірілген жүйелер үшін маңызды тиімділікке ие. Мұндай жүйелер тұтынылатын энергия, Код көлемі, жұмыс уақыты, салмағы, өлшемдері мен құны бойынша оңтайландырылған.

Бағдарламалық жасақтаманың бекітілген функционалдығына қарамастан, бағдарламалық жасақтама қателерін жою, қауіпсіздікті жақсарту және функционалдылықты кеңейту үшін жаңарту мүмкіндігі тек тұрмыстық техникада ғана емес, кірістірілген жүйелердің өте маңызды қасиетіне айналды.

Кірістірілген жүйелердің салыстырмалы түрде жақында жасалған бір дамуы көптеген қосымшаларды қолдайтын платформалар болды. Бұған "ақылды" теледидарлар сияқты смартфондар мен аудиовизуалды құрылғылар тән мысалдар болып табылады.

Қолданбалы және мамандандырылған процессорлар

Қолданбалы процессорлар (application processors) Linux, Android және Chrome сияқты күрделі операциялық жүйелерді толтыруға қабілетті ретінде анықталады. Осылайша, қолданбалы процессор әмбебап сипатқа ие. Тиісті кірістірілген жүйе көптеген қосымшаларды қолдауға және көптеген функцияларды орындауға арналған.

Кірістірілген жүйелердің көпшілігінде мамандандырылған процессор қолданылады (dedicated processor), оның аты айтып тұрғандай, белгілі бір тапсырманы немесе негізгі құрылғының сұранысы бойынша ұқсас тапсырмалардың аз санын шешуге арналған. Мұндай кірістірілген жүйе бастапқыда белгілі бір тапсырманы немесе бірнеше тапсырманы шешуге арналған болғандықтан, процессор мен онымен байланысты компоненттер оның өлшемдері мен құнын төмендетуге мүмкіндік беретін арнайы түрде жасалуы мүмкін.

Микропроцессорлар

Микропроцессор - бұл элементтері бір немесе бірнеше интегралды микросхемаларға (IC) жинақталған процессор. Бастапқыда процессорлық АЖ регистрлерді, арифметикалық-логикалық құрылғыны (ALU) және кейбір басқару блогын немесе командалық өңдеу логикасын қамтыды. Транзисторлардың кристалға орналасу тығыздығы артқан сайын, командалар жиынтығының архитектурасын қиындатуға, сайып келгенде, көбірек жедел жад пен процессорларды қосуға мүмкіндік туды. Қазіргі заманғы микропроцессорлық IC-де бірнеше процессорлар бар, әйтпесе ядролар деп аталады, сонымен қатар өте жедел немесе кэш деп аталатын жадтың едәуір мөлшері бар. 12.2 суретте көрсетілгендей микропроцессорлық АЖ есептеу жүйесін құрайтын кейбір элементтерді ғана қамтиды.

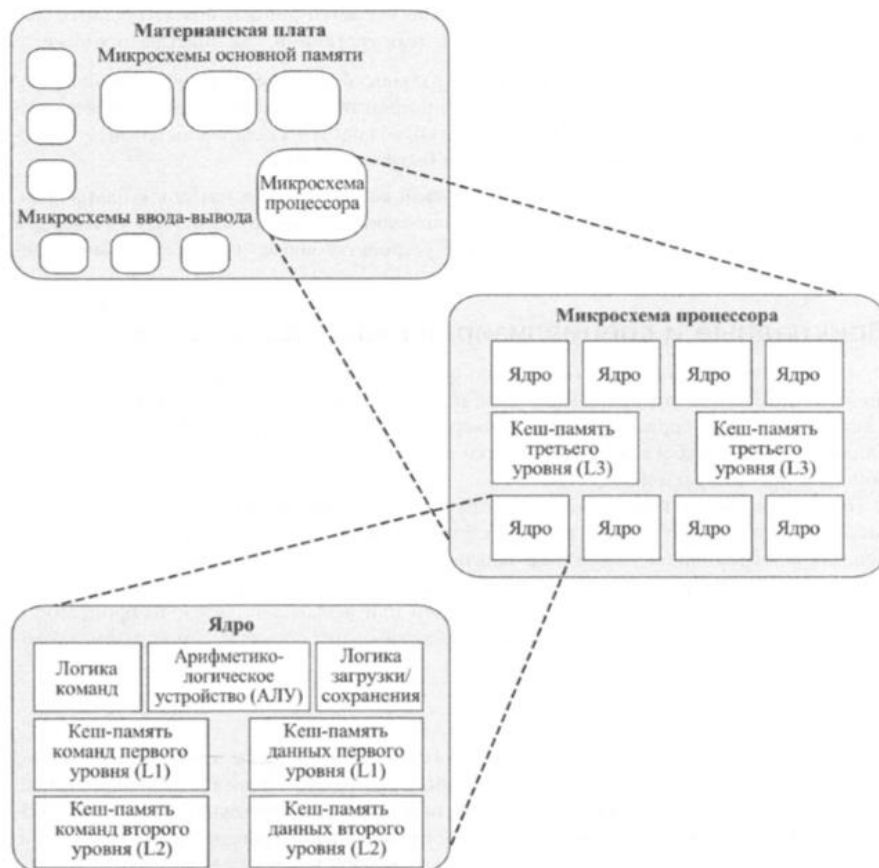
Көптеген компьютерлер, соның ішінде смартфондар мен планшеттердегі кірістірілген компьютерлер, дербес және портативті компьютерлер мен жұмыс станциялары аналық платада орналасқан. Баспа схемасы (Printed circuit board – PCB) - бұл IC және басқа электрондық компоненттерді орнатуға және қосуға арналған қатты монтаждау жазықтығы. Мұндай тақта бірнеше қабаттардан тұрады (әдетте екіден онға дейін), электронды компоненттерді тақтада ойылған мыс жолдарымен байланыстырады.

Компьютердегі негізгі ПХД **жүйелік немесе аналық** деп аталады, ал негізгі тақтадағы қосқыштарға салынған кішірек ПХД **кеңейту тақталары** деп аталады.

Жүйелік тақтадағы ең көрнекті элементтер-чиптер. **Чип (чип)** – электронды және логикалық тізбектері бар жалғыз жартылай өткізгіш (әдетте кремний) өнім. Нәтижесінде алынған өнім интегралды схема (IC) деп аталады.

Жүйелік тақтада процессорды орнатуға арналған қосқыш немесе панель бар, ол әдетте олардың бірнеше бөлек ядроларынан тұрады, сондықтан оны көп ядролы процессор деп атайды. Сондай-ақ, жедел жадтың интегралды схемаларын, енгізу-шығару контроллерлерін және компьютердің басқа да негізгі компоненттерін орнатуға арналған қосқыштар бар. Қосымша компоненттер мен кеңейту тақталарын жұмыс үстелінің жүйелік тақталарының тиісті коннекторларына орнатуға болады. Осылайша, қазіргі заманғы аналық

плата бірнеше жеке чиптерді ғана қосады, олардың әрқайсысында бірнеше мыңнан жүздеген миллион транзисторлар бар.



12.2 сурет. Көп ядролы компьютердің негізгі элементтерінің жеңілдетілген схемалық көрінісі

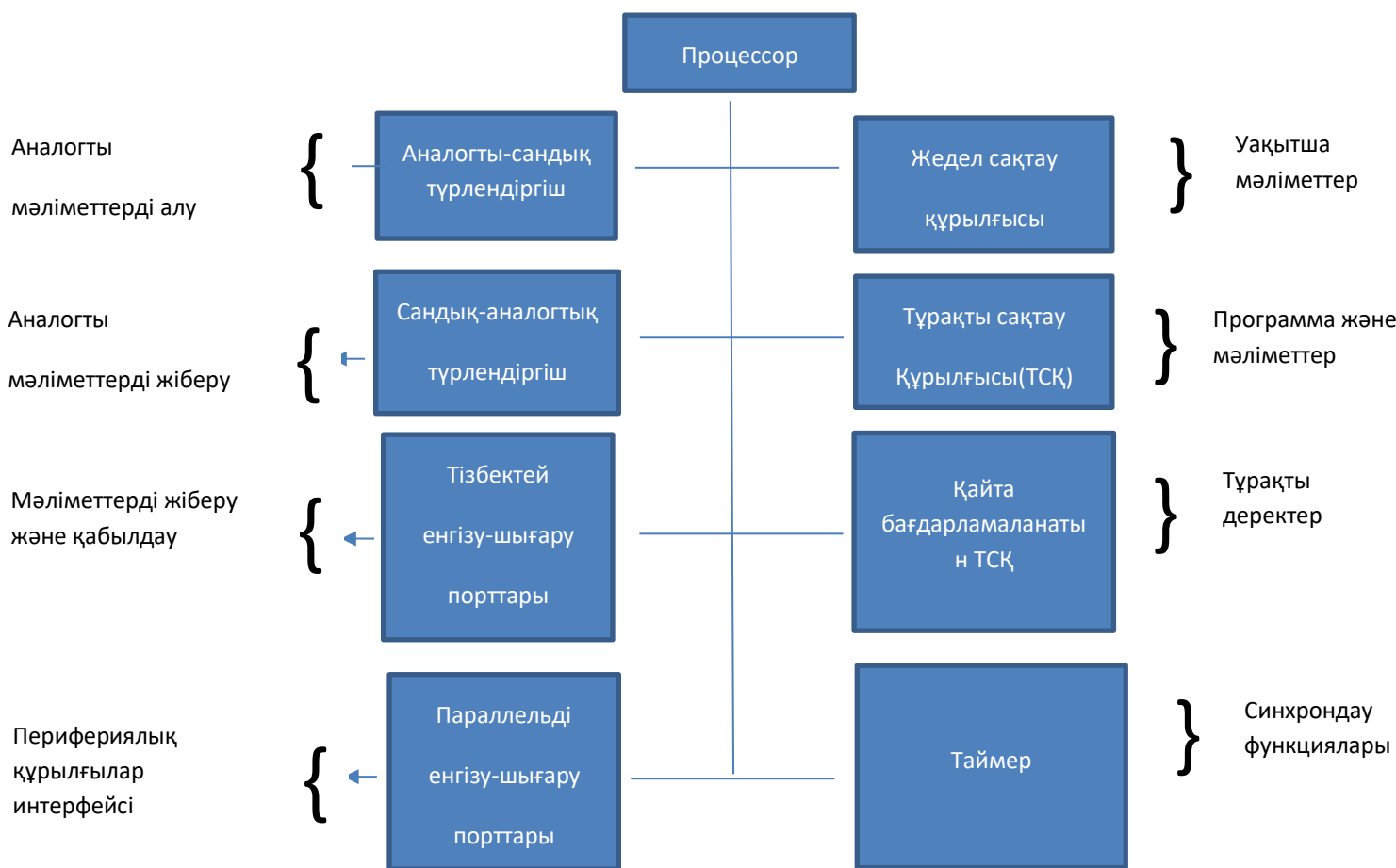
Микроконтроллерлер

Микроконтроллер – бұл процессордан, бағдарламаны сақтауға арналған тұрақты жадтан (ROM немесе флэш-жад), деректерді Енгізу-шығару үшін қысқаша жадтан (жедел жад), сағат сигналының генераторынан және енгізу-шығару басқару блогынан тұратын бір чипті интегралды схема. Кейде оны "бір чипті компьютер"деп атайды.

Микроконтроллер схемалары қол жетімді логикалық кеңістікті басқаша пайдаланады. 12.3 суретте әдетте микроконтроллердің интегралды схемасында болатын элементтерге сілтеме жасау үшін жалпы терминология ұсынылған. Атап айтқанда, микроконтроллердің процессорлық бөлігі басқа микропроцессорларға қарағанда чипте әлдеқайда аз орын алады және энергия тиімділігі әлдеқайда жоғары.

Әдетте, микроконтроллерлер белгілі бір мәселелерді шешуге арналған арнайы процессорлар ретінде қолданылады. Мысалы, микроконтроллерлер өндірістік процестерді автоматтандыруда кеңінен қолданылады. Қарапайым кіріс реакциясын қамтамасыз ете отырып, олар механизмдерді басқаруға, желдеткіштерді қосуға және өшіруге, клапандарды ашуға және жабуға және т.б. олар заманауи өнеркәсіптік технологияның ажырамас бөлігі болып табылады және өте күрделі функцияларды орындай алатын механизмдерді өндірудің ең арзан құралдарының бірі болып табылады. Микроконтроллерлер әртүрлі өлшемдер мен өнімділікпен ерекшеленеді, ал процессорлар архитектурамен ерекшеленеді: 4 – тен 32 биттікке дейін. Микроконтроллерлер әдетте микропроцессорларға қарағанда әлдеқайда баяу жұмыс істейді: біріншісі, әдетте, мегагерц реті бойынша сағат диапазонында, ал екіншісі гигагерц реті бойынша сағат диапазонында. Микроконтроллерлер адаммен өзара әрекеттесуді қамтамасыз етпейтіндігімен де сипатталады. Құрылғыға енгізілген

Микроконтроллер берілген құрылғы орындайтын нақты тапсырманы шешу үшін бағдарламаланады, сондықтан қажеттілік туындаған кезде әрекет етеді.



12.3 сурет. Микроконтроллер АЖ-дегі типтік элементтер

Терең кірістірілген жүйелер

Кірістірілген жүйелердің жалпы санының көп бөлігі терең кірістірілген жүйелер деп аталады. Терең кірістірілген жүйеде процессор бар, оның мінез-құлқын бағдарламашыға да, пайдаланушыға да байқау қиын. Терең кірістірілген жүйеде микропроцессор емес, микроконтроллер қолданылады, ол белгілі бір құрылғының бағдарламалық логикасы ROM-ға "тігілген" кезде ғана бағдарламаланады, яғни. тек оқуға болатын жадқа, сонымен қатар ол пайдаланушымен ешқандай байланыс жасамайды.

Терең кірістірілген жүйелер-бұл қоршаған ортадағы нәрсені анықтайтын, алдымен қарапайым деңгейде өңдеуді, содан кейін алынған нәтижелерді сол немесе басқа жолмен орындайтын мамандандырылған тар мақсаттағы құрылғылар. Терең кірістірілген жүйелер көбінесе сымсыз байланыс мүмкіндіктеріне ие және үлкен аумақта орналасқан сенсорлық желілер сияқты желілік конфигурацияларда болады. Атап айтқанда, заттардың интернеті терең кірістірілген жүйелерге өте тәуелді. Әдетте, терең кірістірілген жүйелер жедел жадты, процессордың өлшемдерін және қуатты тұтынуды қоса алғанда, қол жетімді ресурстарға өте қатаң шектеулер қояды.

12.2. Кірістірілген операциялық жүйелердің сипаттамалары

Қарапайым функционалдығы бар қарапайым кірістірілген жүйені бір мамандандырылған бағдарламадан немесе бірқатар бағдарламалардан басқаруға болады. Неғұрлым күрделі кірістірілген жүйелерге Операциялық жүйе кіреді. Кірістірілген жүйе

үшін әмбебап операциялық жүйені (мысалы, Linux) пайдалануға болады. Бірақ жедел жад пен қуат тұтынуға қойылатын шектеулер, сондай-ақ нақты уақыттағы жұмыс режиміне қойылатын талаптар, әдетте, белгілі бір кірістірілген жүйенің айналасында қолдануға арналған мамандандырылған операциялық жүйені қолдануға нұсқау береді.

Төменде кірістірілген операциялық жүйелердің бірқатар арнайы сипаттамалары мен дизайн талаптары келтірілген.

Нақты уақыттағы жұмыс. Көптеген кірістірілген жүйелерде есептеудің дұрыстығы ішінара оның нәтижесін алу уақытына байланысты. Көбінесе нақты уақыттағы шектеулер сыртқы интерфейс пен басқарудың тұрақтылығына қойылатын талаптарға байланысты болады.

Жауап беру әрекеті. Кірістірілген бағдарламалық жасақтама сыртқы оқиғаларға жауап ретінде орындалуы мүмкін. Егер бұл оқиғалар мезгіл-мезгіл немесе болжамды уақыт аралығында болмаса, кірістірілген бағдарламалық жасақтама ең нашар жағдайларды ескеріп, процедураларды орындауға басымдық беруі керек.

Конфигурация. Кірістірілген жүйелердің алуан түрлілігіне байланысты кірістірілген операциялық жүйенің функционалдығына әр түрлі (сандық және сапалық) талаптар қойылады. Сондықтан әр түрлі кірістірілген жүйелерде қолдануға арналған кірістірілген Операциялық жүйе белгілі бір қосымшаға немесе аппараттық құрал жиынтығына қажет функционалдылықты қамтамасыз ету үшін икемді кон-фигураға мүмкіндік беруі керек.

ІО құрылғыларының икемділігі. Операциялық жүйелердің барлық нұсқаларында қолдау қажет болатын енгізу-шығару құрылғысы іс жүзінде жоқ және мұндай құрылғылардың алуан түрлілігі бар.

Қорғаудың ұтымды механизмдері. Әдетте, кірістірілген жүйелер шектеулі, өте нақты функцияларды орындауға арналған. Сондықтан, орнатудан және тестілеуден кейін бағдарламалық жасақтаманы сенімді деп санауға болады.

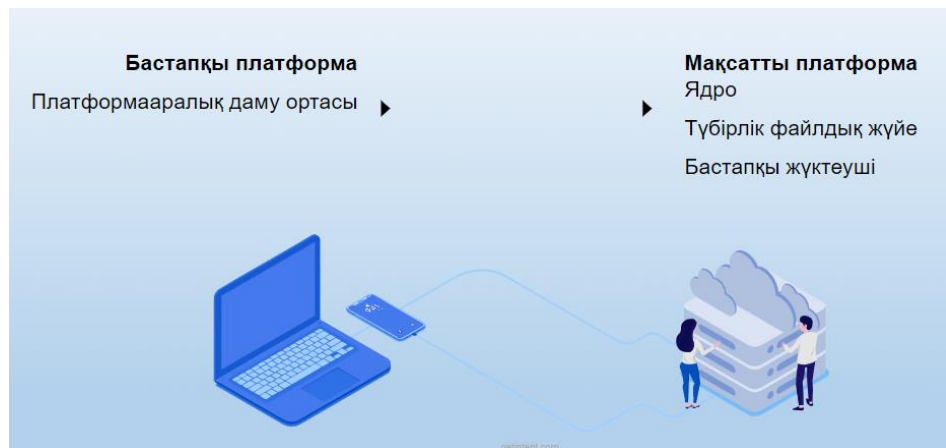
Үзілістерді тікелей қолдану. [164] үзілістердің тапсырмаларды тікелей бастауға және тоқтатуға болатын себептерін тізімдейді: 1) кірістірілген жүйелерді операциялық жүйенің немесе қолданбалы кодтың өте сирек модификацияларымен мұқият тексерілген деп санауға болады; 2) алдыңғы абзацта түсіндірілгендей қорғау міндетті емес; 3) әртүрлі құрылғыларды тиімді басқару қажет.

Бастапқы және мақсатты орта

Linux операциялық жүйесінің жұмыс үстелі мен серверлік дистрибутивтерінің кірістірілгендерден басты айырмашылығы - жұмыс үстелі және серверлік бағдарламалық жасақтама әдетте ол орындалатын платформада құрастырылады немесе конфигурацияланады, ал кірістірілген Linux дистрибутивтері әдетте бастапқы (host) деп аталатын бір платформада құрастырылады немесе конфигурацияланады, ал жұмыс үстелі мен серверлік бағдарламалық жасақтама әдетте құрастырылады немесе конфигурацияланады. мақсатты деп аталатын басқа платформада орындауға арналған (target, 12.4 сурет). Алдымен бастапқы платформада әзірленіп, содан кейін мақсатты жүйеге тасымалданатын негізгі компоненттер бастапқы жүктеуші, ядро және түбірлік файлдық жүйе болып табылады.

Бастапқы жүктеуші

Бұл қуатты қосқаннан кейін операциялық жүйені жедел жадқа жүктейтін шағын бағдарлама. Ол жүйені бастапқы жүктеу процесіне және оның ядросын негізгі жадқа жүктеуге жауап береді.



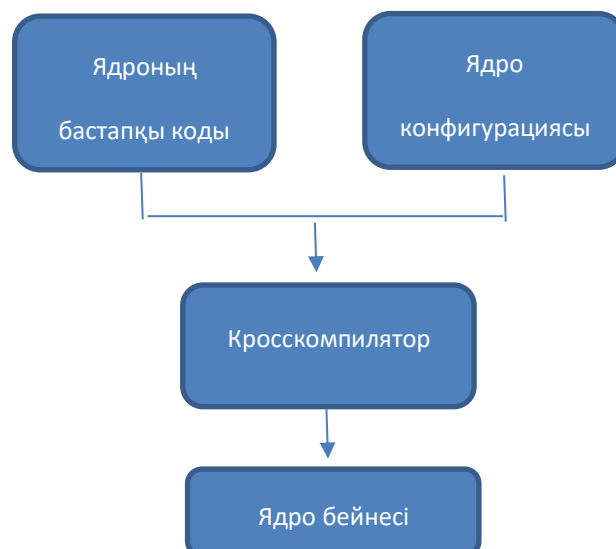
12.4 сурет. Бастапқы және мақсатты платформалар (Көшірілген)

Ядро

Толық ядро басқа функциялармен қатар келесі функцияларды орындайтын бірқатар жеке модульдерді қамтиды.

- Жадты басқару.
- Процестер мен орындалу ағындарын басқару.
- Процессаралық өзара әрекеттесу; таймерлер.
- Драйверлер арқылы енгізу-шығару, желіні, дыбысты, деректерді сақтауды, графиканы және басқаларын қолдау.
- Әр түрлі файлдық жүйелерді ұйымдастыру.
- Желіні ұйымдастыру.
- Қуатты басқару.

Жоғарыда айтылғандай, Linux жұмыс үстелі мен серверлік дистрибутивтерінің кірістірілген Дистрибутивтерден басты айырмашылығы мынада: жұмыс үстелі және серверлік бағдарламалық жасақтама әдетте ол орындалатын платформада құрастырылады, ал кірістірілген Linux дистрибутивтері әдетте бір платформада құрастырылады, ал екіншісінде орындауға арналған. Осы мақсатқа арналған бағдарламалық жасақтама **кросс-компилятор (платформааралық компилятор)** деп аталады. Оның қолданылуы 12.5 суретте айқын көрсетілген.



12.5 Сурет. Ядро компиляциясы

Түбірлік файлдық жүйе

Кірістірілген немесе кез келген басқа операциялық жүйеде жүйедегі барлық файлдарды көрсетуге арналған каталогтар мен файлдардың бірыңғай жаһандық иерархиясы бар. Мұндай иерархияның жоғарғы жағында (оның түбірінде) жүйенің қалыпты жұмыс істеуі үшін қажетті барлық файлдарды қамтитын түбірлік файлдық жүйе орналасқан. Кірістірілген амалдық жүйенің түбірлік файлдық жүйесі жұмыс станциясында немесе серверде қолданылатынға ұқсас, өйткені ол жүйенің жұмыс істеуі үшін қажет қосымшалардың, кітапханалардың және файлдардың минималды жиынтығын ғана қамтиды.

Даму тәсілдері

Кірістірілген операциялық жүйені дамытудың екі жалпы тәсілі бар. Бірінші тәсіл-қолданыстағы амалдық жүйені қабылдау және оны кірістірілген нұсқада қолдану. Тағы бір тәсіл-тек кірістірілген қосымшаларға арналған операциялық жүйені әзірлеу және енгізу.

Қолданыстағы коммерциялық операциялық жүйені бейімдеу

Қолданыстағы коммерциялық операциялық жүйені кірістірілген жүйені жобалау үшін пайдалануға болады; ол үшін оны нақты уақыт режимінде жұмыс істеу мүмкіндіктерімен толықтыру, оның жұмысын ұтымды ету және қажетті функционалды құралдарды қосу қажет. Кірістірілген жүйені дамытудың бұл тәсілімен әдетте Linux ғана емес, сонымен қатар FreeBSD, Windows және басқа да әмбебап операциялық жүйелер қолданылады, дегенмен олар көбінесе мамандандырылған кірістірілген операциялық жүйелерге қарағанда баяу және болжамды түрде жұмыс істейді. Бұл тәсілдің артықшылығы-коммерциялық әмбебап операциялық жүйеден алынған кірістірілген Операциялық жүйе оның тасымалдануын жеңілдететін бірқатар таныс интерфейстерге негізделген.

Кірістірілген операциялық жүйені әзірлеу үшін әмбебап операциялық жүйені қолданудың кемшілігі-бұл нақты уақыт режимінде және кірістірілген нұсқада қолдану үшін оңтайландырылмаған. Сондықтан қажетті өнімділікке жету үшін оны айтарлықтай өзгерту қажет болуы мүмкін. Атап айтқанда, әдеттегі Операциялық жүйе тапсырмаларды жоспарлаудың ең нашар жағдайынан гөрі орташа деңгейге оңтайландырылған, әдетте сұраныс бойынша ресурстарды тағайындайды және Қолданба туралы барлық семантикалық мәліметтердің көпшілігін елемейді.

Арнайы жасалған кірістірілген Операциялық жүйе

Операциялық жүйелердің едәуір бөлігі кірістірілген нұсқада қолдану үшін басынан бастап жасалған. Кірістірілген жүйелерді дамытудың осы тәсілінің екі мысалы - ECOS және tinuous операциялық жүйелері.

Төменде мамандандырылған кірістірілген операциялық жүйенің типтік сипаттамалары келтірілген.

- Жылдам және жеңілдетілген процестерді немесе орындау ағындарын ауыстырып-қосқыштың болуы.
- Бұл жеке компонент емес, жоспарлаушының бөлігі ретінде нақты уақыттағы диспетчерлік модуль ретінде жүзеге асырылатын жоспарлау стратегиясы.
- Шағын өлшемдер.
- Сыртқы үзілістерге жылдам жауап беру. Кірістірілген операциялық жүйеге қойылатын әдеттегі талап-жауап беру Уақыты 10 мс-тан аз.
- Үзілістерге тыйым салынған уақыт аралықтарын азайту.

– Жад тұрақты немесе айнымалы өлшемдегі бөлімдерді жадты басқаруға, сондай-ақ жадтағы код пен деректерді бұғаттауға мүмкіндік береді.

– Деректерді жоғары жылдамдықпен жинақтауға болатын арнайы дәйекті файлдарды ұсыну.

– Уақыт шектеулерін қандай да бір жолмен қанағаттандыру үшін ядро

– қарабайырлардың көпшілігін орындау үшін шектеулі уақыт беріледі;

– нақты уақыт сағаттарын қолдайды;

– уақыт бойынша арнайы ескерту сигналдары мен құлыптар шығарады;

– жарғы кезектерді ұйымдастыру ережелерін (мысалы, ең ерте мерзімі бар сұраныстарға бірінші кезектегі қызмет көрсету), сондай-ақ кезектің басында хабарламаны қысу үшін примитивтерді қолдайды;

– жарғы өңдеуді белгіленген уақытқа кешіктіруге, сондай-ақ орындалу процесін тоқтата тұруға және жалғастыруға арналған примитивтерді ұсынады.

Жоғарыда аталған сипаттамалар нақты уақыт режимінде кірістірілген операциялық жүйелердің жұмыс істеу талаптарына көптеген ұқсастықтарға ие. Дегенмен, күрделі кірістірілген жүйелерге қойылатын талаптарда басты назар жылдам әрекетке емес, болжамды әрекетке аударылуы мүмкін және бұл үшін, әсіресе тапсырмаларды жоспарлау саласында мүлдем басқа жобалық шешімдер қабылдау қажет болады.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Garg, R.; Verma, G. Operating Systems [OP]: An Introduction - Softcover
Publisher: Mercury Learning & Information, 2017. 290 p.
2. <https://gifer.com/ru/7h0m>
3. <https://3dnews.ru/1034959>
4. Darrell Hajek, Cesar Herrera, Flor Narciso Principles of Operating Systems.
Independently Published (24 April 2020) 176 pages.
5. Andrew S. Tanenbaum and Herbert Bos. Modern Operating Systems. 4/E. 1136
pages, Pearson India, 2016.
6. Silberschatz Abraham, Galvin Peter Baer and Gadne Greg. Operating system
concepts.
7. Amdahl GM (1967) Validity of the single-processor approach to achieve large
scale computing capabilities. AFIPS Joint Spring Conference Proceedings 30 (Atlantic City, NJ,
Apr. 18–20), AFIPS Press, Reston VA, pp 483–485.
8. <https://studfile.net/>.
9. <https://habr.com/ru/post/40227/>.
10. [wikimedia.org](https://www.wikimedia.org/)
11. [wordpress.com](https://www.wordpress.com/)
12. blackandwhitecomputer.blog
13. <http://www-inst.eecs.berkeley.edu/~n252/paper/Amdahl.pdf>.
14. encyclopedia2.thefreedictionary.com
15. [linustechtips.com](https://www.linustechtips.com/)
16. [youtube.com/watch?v=w3K1JkIY6D4](https://www.youtube.com/watch?v=w3K1JkIY6D4)