

# 1. Įvadas

Šiame kurse supažindinama su kompiuterių struktūra ir funkcionavimu. Kuo aiškiau ir išsamiau išdėstyti modernių kompiuterių sistemų esmę, būdingus bruožus siekiama dėl kelių priežasčių.

Pirma, pasaulyje plačiausia skaičiavimo technikos įvairovė: nuo vienalusčių dviem pirštais apčiuopiamų mikrokompiuterių iki superkompiuterių, kuriems būtinos patalpos. Visi jie vadinami kompiuteriais, nors skiriasi ne tik matmenimis, bet ir pajėgumu, skirtingos jų taikymo sritys ir kainos.

Antra, nemažėja kompiuterių technologijų tobulinimo tempas. Plėtra aprėpia visus kompiuterių technologijų aspektus – nuo kompiuteriuose taikomų integrinių schemų projektavimo iki jų jungimo į sudėtingiausias struktūras.

Nepaisant įvairovės ir sparčių pokyčių, kompiuterijoje yra tam tikrų fundamentinių koncepcijų, kurios laikui bėgant nesikeičia ir yra nuolat diegiamos. Natūralu, kad šių koncepcijų pritaikymui įtakos turi gamybos technologijų lygis ir siekiamas kompiuterio pajėgumo bei kainos santykis.

Istoriškai susiklostė, kad kompiuterijos mokslas kūrėsi ir sparčiausiai plėtojosi JAV bei Vakarų šalyse, ypač Didžiojoje Britanijoje. Natūralu, kad literatūroje yra aibė specifinių terminų anglų kalba. Sklandžiai ir tiksliai išversti juos ne visada pavyksta, anglų kalboje žodžiai daugiareikšmiai, neįsigilinus į konkretų kontekstą beveik kiekvieną galima iškreipti. Todėl, kur tik įmanoma, taikysime nusistovėjusius lietuviškus terminus, o kai kada tuo atveju, jei vykusio atitikmens nėra, greta vartosime originalų anglišką terminą jį išskirdami *arial šriftu* ir atitinkamose vietose apskliausdami figūriniais skliaustais { }.

## 1.1. Kompiuterio sandaros ir architektūros sąvokos

Nagrinėjant kompiuterizuotas sistemas dažnai akcentuojamas skirtumas tarp kompiuterio *architektūros* ir kompiuterio *sandaros* {organization}. Nors kiekvieną iš šių terminų apibūdinti atskirai labai sunku, egzistuoja tam tikras neoficialus susitarimas, kokias konkrečias sritis aprėpia kiekvienas iš jų.

Kompiuterių architektūra apima programuotojui labai aktualius sistemos atributus, arba, kitaip tariant, tuos aspektus, kurie turi tiesioginės įtakos logiškajam programos vykdymui. Kompiuterio sandara – tai sistemos funkciniai blokai ir jų tarpusavio sąveika, kuriais realizuojami tam tikros architektūros specifiniai bruožai. Architektūros atributų pavyzdžiais gali būti:

- instrukcijų (komandų) sistema,
- bitų skaičius įvairiems duomenų tipams (pvz., skaičiams, simboliams) pateikti,
- įvesties/išvesties mechanizmas,
- atminties adresavimo būdai.

Sandaros atributai – tai tokios kompiuterio techninės įrangos {hardware} detalės, kurios programuotojui lyg ir nematomos –

- valdymo signalai,
- interfeisai tarp kompiuterio ir periferinių įrenginių,
- taikomos atminties technologija.

Pvz., architektūrinis kompiuterio projektavimo būdas – būsimasis kompiuteris turi vykdyti aritmetinę daugybos instrukciją. Sandaros būdas – ar ši instrukcija bus vykdoma specialaus daugybos schemotechninio bloko, ar specialaus programinio mechanizmo, kuris kelis kartus naudos esamos sistemos sudėties bloką. Sandaros sprendinys šiuo atveju turi būti pagrįstas nuovoka, kaip dažnai bus taikoma daugybos instrukcija, santykinė vieno ir kito varianto sparta bei specialaus daugybos bloko kaina ir fiziniais matmenimis.

Nemažai kompiuterių gamintojų siūlo kompiuterių modelių šeimas, kurių architektūra panaši, tačiau skiriasi sandara.

Suprantama, skirtingi kompiuterių šeimos modeliai skirtingai kainuoja ir nevienodos jų galimybės. Be to, kompiuterių architektūra daug metų gali nekisti, gi jų sandara keičiasi tobulėjant technologijai. Būdingas pavyzdys – IBM System/370 kompiuterių šeimos architektūra. Pirmą kartą ji buvo pristatyta 1970 m. ir pritaikyta aibe modelių. Pirkėjai, kurių reikalavimai kuklesni, gali rinktis pigesnę ir, suprantama, lėtesnio veikimo modelį, tačiau poreikiams kintant, jis modernizuojamas {*upgrade*} į pajėgesnį ir brangesnį, sukurtos programinės įrangos nekeičiant. Per daug metų IBM firma, tobulėjant technologijoms, sukūrė daug naujų spartesnių ir pigesnių modelių. Naujesnių modelių architektūra ta pati ir tai apsaugo pirkėjo investicijas į programinę įrangą. Pažymėtina, kad šiek tiek patobulinta System/370 architektūra išliko iki šiol ir yra IBM gaminių lyderė.

Kompiuterizuotų sistemų, vadinamų mikrokompiuteriais, klasėje riba tarp architektūros ir sandaros sąvokų labai neryški. Gamybos technologijos tobulėjimas turi įtakos ne tik sandarai, palaipsniui ir architektūra tampa vis išmoningesnė ir vis labiau lemia kompiuterio pajėgumą. Apskritai mažiems kompiuteriams keliama suderinamumo tarp jaunesniosios ir vyresniosios kartos reikalavimai ne itin griežti. Tad projektuojant kompiuterį akivaizdi architektūros ir sandaros sprendinių sąveika. Kaip įdomų pavyzdį galima paminėti *pamažintos instrukcijų sistemos kompiuterius* {*RISC - Reduced Instruction Set Computer*}.

## 1.2. Kompiuterio struktūra ir funkcijos

Kompiuteris labai sudėtinga sistema; modernius kompiuterius sudaro milijonai elementarių elektroninių komponentų. Šią sudėtingą sistemą aiškiai aprašyti problemiška. Suvokti sudėtingas sistemas, taip pat ir kompiuterį, galima tik nustačius jų *hierarchinį* pobūdį. Hierarchinę sistemą sudaro sąveikaujantys posistemiai, kurie savo ruožtu taip pat yra hierarchiniai ir t. t., kol pasiekiamas elementarių posistemių lygis.

Sudėtingų sistemų hierarchinis pobūdis labai svarbu jas projektuojant ir nagrinėjant. Projektuotojas tam tikru momentu nagrinėja tik vieną sistemos lygį. Kiekviename lygyje sistemą sudaro komponentų rinkinys ir jų tarpusavio sąveika. Kiekvieno lygio veikimas priklauso tik nuo supaprastinto, abstrahuoto sistemos hierarchijos žemesnio lygio aprašymo. Kiekviename lygyje projektuotojas operuoja struktūros ir funkcijos sąvokomis:

- Struktūra – būdas, kuriuo sąveikauja komponentės.
- Funkcija – tam tikros komponentės, kaip sistemos dalies, veikimas (funkcionavimas).

Sistemą nagrinėti galima dviem būdais:

- nuo žemiausio hierarchijos lygio į aukštesnius, kol sistema bus visiškai išnagrinėta,
- pradėjus nuo aukščiausio hierarchijos lygio sistemą skaidant į struktūrinius dėmenis.

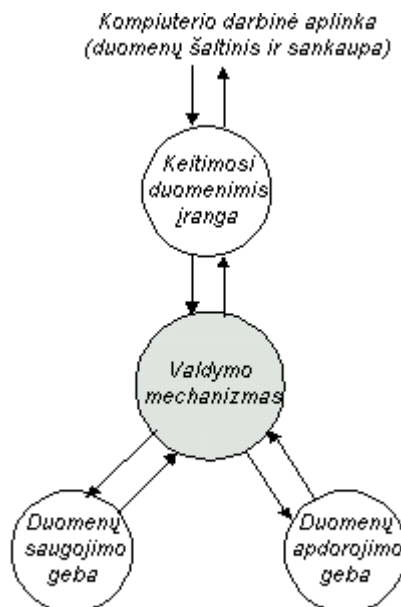
Daugelis tyrinėtojų teigia, kad analizavimas „nuo viršaus“ yra aiškesnis ir efektyvesnis.

Taip kompiuterio sistemą nagrinėsime ir mes. Pradėję nuo pagrindinių komponentių, gilinsimės į jų struktūras ir funkcijas ir nuosekliai pereisime prie žemiausiųjų hierarchijos lygių.

### 1.2.1. Funkcijos

Ir kompiuterio struktūra, ir kompiuterio funkcionavimas iš esmės labai paprasti. 1.1 pav. parodyta, kokias funkcijas gali atlikti kompiuteris. Apibendrinus jų yra tik keturios:

- Duomenų apdorojimas.
- Duomenų saugojimas.
- Keitimasis duomenimis.
- Valdymas.



**1.1 pav.** Kompiuteris funkcijų požiūriu

Be abejo, kompiuteris turi gebėti *apdoroti duomenis* {process data}. Duomenų pateikimo formų gali būti labai daug. Duomenų apdorojimo būdai labai įvairūs, tačiau, kaip vėliau pamatysime, tėra tik keli apdorojimo metodai arba tipai.

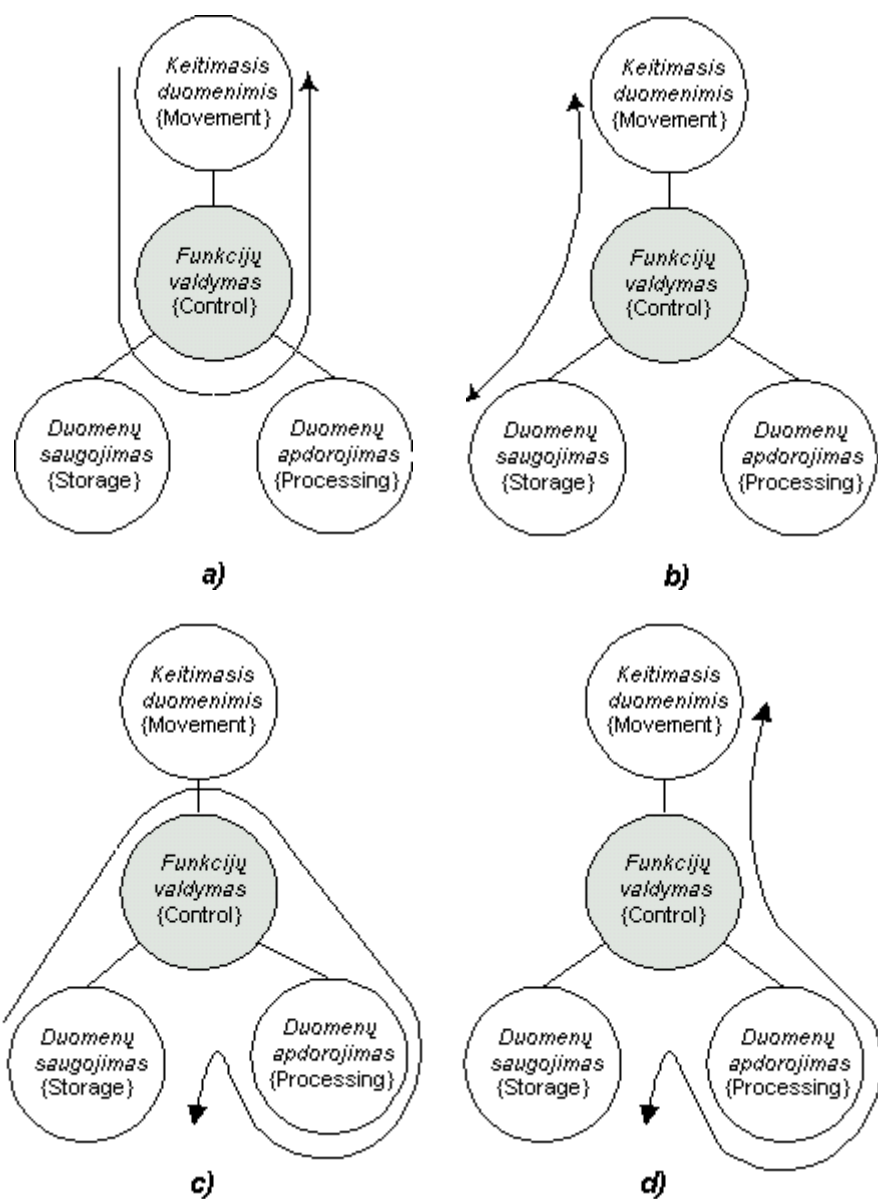
Taip pat labai svarbu, kad kompiuteris *duomenis saugo* {store data}. Net jei duomenys apdorojami tučtuojau (t. y. duomenys įeina, apdorojami ir rezultatai iš karto išvedami), turi laikinai išlikti bent ta duomenų dalis, su kuria šiuo metu dirbama. Tai trumpalaikis duomenų saugojimas. Tačiau kompiuteris atlieka ir ilgalaikio duomenų saugojimo funkciją. Duomenų failai kompiuteryje saugomi, kad vėliau galėtų būti peržiūrėti ir atnaujinami.

Kompiuteris turi gebėti atlikti *keitimąsi duomenimis* {move data} – vidinį ir su išoriniu pasauliu. Kompiuterio darbo aplinka – įrenginiai, kurie yra arba duomenų šaltiniai, arba jų sandaupos {destinations of data}. Duomenų priėmimo iš įrenginio, kuris tiesiogiai prijungtas prie kompiuterio, arba siuntimo į jį procesas vadinamas *įvestimi/išvestimi* (I/O) {Input-Output – I/O}, o atitinkami įrenginiai – *periferiniais*, keitimosi duomenimis per didelį atstumą procesas – *skaitmeniniu ryšiu* {data communication}.

Šios trys funkcijos *valdomos* (kontroliuojamos) {control}. Kontrolę faktiškai atlieka asmenys, teikiantys kompiuteriui instrukcijas. Kompiuterio sistemoje kontrolės įrenginys pagal šias instrukcijas valdo kompiuterio išteklius ir „diriguoja“ jo funkcinių dalių galimybes.

Galimų aptarto lygmens operacijų nėra daug. 1.2 pav. pateikti keturi jų tipai. Kompiuteris gali veikti kaip keitimosi duomenimis įrenginys (1.2 pav. a), paprastai duomenis siunčiant iš vieno periferinio įrenginio arba komunikacijos linijos į kitą. Jis taip pat gali veikti kaip duomenų saugojimo įrenginys (1.2 pav. b), kuris duomenis siunčia iš išorinės kompiuterio aplinkos į kaupiklį (skaitymo operacija {read}) arba priešinga kryptimi (rašymo operacija {write}). Kituose dviejuose paveiksluose parodytos operacijos duomenis apdorojant. Atliekant vieną iš jų (1.2 pav. c) apdoroti duomenys sugrąžinami į kaupiklį, o kitą (1.2 pav. d) – siunčiami į išorinį įrenginį.

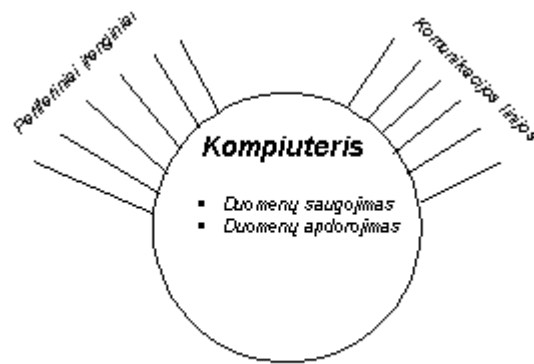
Šis visiškai supaprastintas aptarimas iš tikrųjų įmanomas net ir aukščiausiam kompiuterio hierarchijos struktūros lygmeniui paaiškinti, nustatyti funkcijų įvairovę. Tačiau iš kompiuterio struktūros labai sunku spręsti, kokias konkrečias funkcijas jis gali atlikti. Būtent tai susiję su kompiuterio *bendrosios paskirties* pobūdžiu – visos funkcinės specializacijos atsiranda kompiuterį programuojant, o ne jį projektuojant.



**1.2 pav.** Galimos kompiuterio operacijos

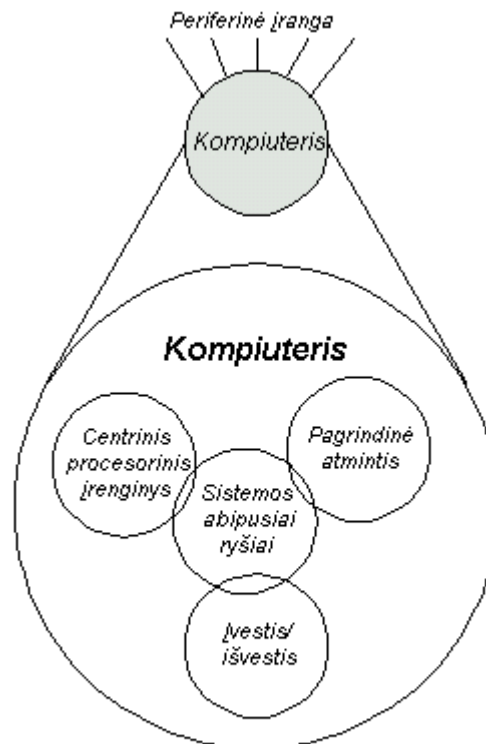
### 1.2.2. Kompiuterio struktūra

1.3 pav. parodyta pati paprasčiausia iš įmanomų kompiuterio schemų. Pagal 1.3 pav., kompiuteris – prietaisas, tam tikru būdu sąveikaujantis su išorine aplinka. Apskritai visus jo ryšius su išorine aplinka lemia periferiniai įrenginiai ir komunikacijos linijos. Vėliau trumpai apsisistosime ties kiekvienu ryšio tipu.



**1.3 pav.** Paprasčiausia kompiuterio schema

Tačiau studijuojant „Kompiuterių architektūros“ dalyką dėmesys turi būti sukoncentruotas į paties kompiuterio struktūrą, kuri supaprastintai (aukščiausio hierarchijos lygmens) parodyta 1.4 pav. Yra keturios pagrindinės kompiuterio struktūros komponentės:

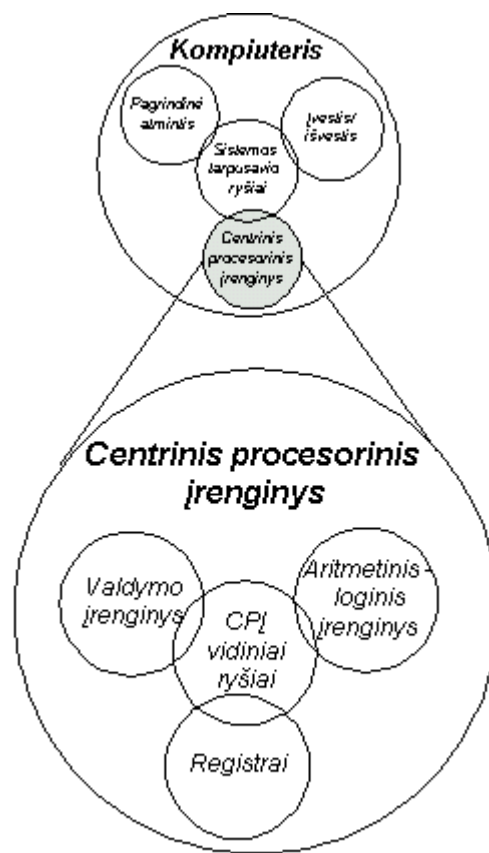


**1.4 pav.** Kompiuterio aukščiausio hierarchijos lygmens struktūra

- *Centrinis procesorinis įrenginys (CPI) {Central Processing Unit – CPU}*, kontroliuojantis visą kompiuterį ir atliekantis jo duomenų apdorojimo funkcijas. Dažnai tiesiog vadinamas *procesoriumi*.
- *Pagrindinė atmintis {Main Memory}* – sauganti duomenis.
- *Ivestis/išvestis {Input/Output – I/O}*, atliekanti keitimąsi duomenimis tarp kompiuterio ir jo išorinės aplinkos.
- *Abipusiai sisteminiai ryšiai {System Interconnection}* – tam tikras „mechanizmas“, užtikrinantis sąveiką tarp CPI, pagrindinės atminties ir I/O.

Konkrečiu atveju kompiuteryje gali būti tik viena arba kelios anksčiau išvardytosios komponentės. CPI paprastai būna tik vienas. Tačiau pastaraisiais metais atsiranda vis daugiau sistemų su keliais procesoriais (daugiaprocesorės sistemos).

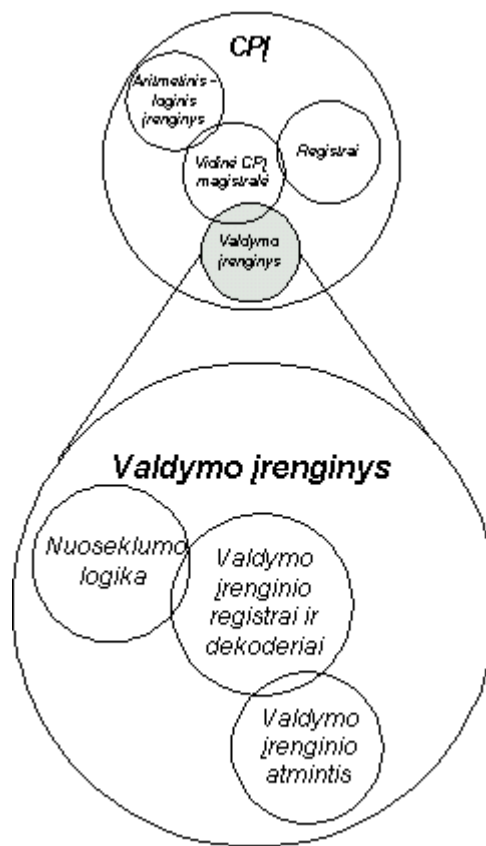
Vėliau nagrinėsime visas išvardytas komponentes, tačiau mūsų atvejus įdomiausia ir sudėtingiausia komponentė yra CPI. Centrinio procesorinio įrenginio struktūrinės komponentės pateiktos 1.5 pav.:



**1.5 pav.** CPJ apibendrinta struktūra

- *Valdymo įrenginys* {Control Unit}, kontroliuojantis CPJ, taigi nusakantis viso kompiuterio veikimą.
- *Aritmetinis ir loginis įrenginys (ALJ)* {Arithmetic and Logic Unit – ALU}, atliekantis kompiuterio duomenų apdorojimo funkcijas.
- *Registrai* – CPJ vidinė atmintis.
- *CPJ abipusiai ryšiai* {CPU Interconnection} – tam tikras mechanizmas, užtikrinantis abipusius ryšius tarp valdymo įrenginio, ALJ ir registru.

Visas šias komponentes apžvelgsime daugiau dėmesio sutelkdami į valdymo įrenginį. Valdymo įrenginys gali būti realizuotas keliais būdais, bet iki šiol dažniausiai tai daroma taikant vadinamąjį *mikroprogramavimo* principą. Valdymo įrenginio struktūra pagal šį principą parodyta 1.6 pav.



**1.6 pav.** Valdymo įrenginio struktūrinė schema

### 1.3. Trumpa kompiuterių atsiradimo istorija

Studijas apie kompiuterius pradėsime trumpai apžvelgdami jų istoriją. Ši istorija įdomi, o be to, padeda vaizdžiau apžvelgti kompiuterio struktūrą ir funkcijas.

#### 1.3.1. Pirmoji karta. Vakuuminės lempos. ENIAC kompiuteris

Kompiuteris ENIAC – *elektronis skaitmeninis integratorius ir skaičiuotuvas* {*Electronics Numerical Integrator And Computer*} buvo sukurtas vadovaujant Džonui Makliui (John Mauchly) ir Džonui Ekertui (John Presper Eckert) Pensilvanijos universitete (JAV) ir yra pirmasis pasaulyje bendrosios paskirties elektroninis skaitmeninis kompiuteris.

Šis projektas – atsakas į JAV poreikius antrojo pasaulinio karo metu. JAV karinių pajėgų *Balistikos tyrimų laboratorijai* (BTL), atsakingai už trajektorijų lentelių naujesiems ginklams rengimą, buvo labai sunku tiksliai ir per trumpą laiką jas parengti. Be jų naujieji ginklai kariškiams buvo beverčiai. BTL samdydavo daugiau kaip 200 žmonių, daugiausia moterų, šie staliniais mechaniniais kalkuliatoriais sprendavo įvairias balistikos lygtis. Tam tikro ginklo lentelei parengti vienas žmogus dirbdavo daug valandų ir net dienų.

Pensilvanijos universiteto elektrotechnikos profesorius Dž. Maklis ir vienas iš jo doktorantų Dž. Ekertas pasiūlė BTL tikslams iš elektroninių lempų sukurti bendrosios paskirties kompiuterį. 1943 m. šis pasiūlymas JAV kariuomenės buvo priimtas, ir prasidėjo ENIAC kūrimo darbai. Sukurtoji mašina priminė monstrą – svėrė 30 tonų, užėmė 1600 m<sup>2</sup> patalpos, joje buvo per 18 000 vakuuminių elektroninių lempų. Ji išėikvodavo apie 140 KW elektros galios, tačiau veikė žymiai sparčiau už bet kurį elektromechaninį kompiuterį – galėjo atlikti 5000 sudėties operacijų per sekundę.

ENIAC – dešimtainė, o ne dvejetainė mašina. Skaičiai joje buvo pateikiami dešimtaine forma ir taikoma dešimtainė aritmetika. Jos atmintį sudarė 20 vadinamųjų *kaupiklių* {*accumulator*}, kiekvienas jų galėjo

saugoti iki 10 dešimtinių skaičių. Kiekvienam skaičiui atvaizduoti naudotas žiedas iš 10 vakuuminių lempų. Tam tikru momentu tik viena iš lempų būdavo įjungta ir būdavo atvaizduojamas vienas iš 10 skaitmenų. Pagrindinis trūkumas tai, kad ENIAC kompiuterį programuodavo rankiniu būdu jungdami arba išjungdami jungiklius ir perjungdami kontaktus laidžiais trumpikliais.

ENIAC pagamintas 1946-aisiais metais – per vėlai, kad būtų panaudotas kare. Tad pirmasis jo uždavinys – sudėtingų skaičiavimų serija, kuri padėjo nustatyti principinę vandenilinės bombos pagaminimo galimybę. ENIAC kompiuterio taikymas kitiems, nei buvo numatyta, tikslams įrodė jo bendrosios paskirties pobūdį. 1946-ieji – tai įžengimas į naują – elektroninių kompiuterių erą. ENIAC, veikęs BTL iki 1955-ųjų, buvo išmontuotas.

### 1.3.2. Noimano (skaičiavimo) mašina

Programų įvedimas arba jų modifikavimas ENIAC kompiuteryje buvo nuobodus ir varginantis procesas. Programavimą galima buvo palengvinti tik pačią programą pateikiant patogiu atmintyje kartu su duomenimis saugoti pavidalu, instrukcijas kompiuteriui teikiant juo pačiu – jam skaitant iš atminties, o programas įvedant arba keičiant atminties fragmentuose nustatant tam tikras reikšmes.

Ši idėja, žinoma kaip *įsimenamos programos koncepcija* {stored-program concept}, dažniausiai siejama su ENIAC kompiuterio kūrėjais, ypač su matematiku Džonu von Noimanu (John von Neumann), ENIAC projekto konsultantu. Ją maždaug tuo pačiu laiku plėtojo ir Tiūringas (Turing). Žinią apie šios idėjos pritaikymą (Electronic Discrete Variable Computer – EDVAC kompiuteryje) pirmą kartą viešai paskelbė Noimanas 1945 m.

1946 m. Noimanas kartu su savo kolegomis *Prinstono pažangiųjų studijų institute* (Princeton Institute for Advanced Studies) ėmėsi kurti naują kompiuterį IAS pavadinimu. Šis kompiuteris buvo baigtas tik 1952 m. ir yra visų vėlesnių bendrosios paskirties kompiuterių prototipas.

1.7 pav. pateikta IAS kompiuterio apibendrinta struktūra. Pagrindinės komponentės:

- Pagrindinė atmintis, sauganti ir duomenis, ir instrukcijas;
- Aritmetinis ir loginis įrenginys (AL), galintis operuoti dvejetainiais skaičiais.
- Valdymo įrenginys, interpretuojantis atmintyje esančias instrukcijas ir kontroliuojantis jų vykdymą.
- Įvesties ir išvesties (I/O) įrenginys, kurio veikimą taip pat kontroliuoja valdymo įrenginys.

Ši struktūra Noimano pasiūlyta anksčiau ir jos apibūdinimą čia verta pacituoti [1]:

**Pirma:** Kadangi įrenginys (kompiuteris) visų pirmą yra skaičiuotuvas {computer}, jis turi gebėti atlikti dažniausiai pasitaikančias elementarias aritmetines operacijas, t. y. sudėties, atimties, daugybos ir dalybos: +, –, ·, :. Todėl labai naudinga, kad jame būtų specializuoti šias operacijas atliekantys organai.

Nepaisant to, kad kol kas šis principas tėra tik tuščias garsas, specifiniam būdui, kuriuo jis bus įgyvendintas, reikia skirti daugiau dėmesio... Bet kuriuo atveju *centrinė aritmetinė* {Central Arithmetic – CA} dalis įrenginyje turėtų būti. Taigi deklaruotina jo (kompiuterio) *pirmoji specifinė dalis* – CA.

**Antra:** Įrenginio (kompiuterio) veikimo logiką, t. y. tikslų jo operacijų nuoseklumą, efektyviausiai gali valdyti centrinis valdymo organas. Jeigu įrenginio (kompiuterio) veikimas pasižymės *lankstumu*, t. y. kompiuteris atitiks visas įmanomas paskirtis, tuomet reikės atskirti specifiskas instrukcijas, numatytas specialioms užduotims spręsti, nuo bendrųjų valdymo organų, kurie šias instrukcijas gauna ir vykdo nesigilindami, kas jos iš esmės yra. Minėtos instrukcijos turi būti tam tikru būdu įsimenamos, o valdymo organai yra įrenginio (kompiuterio) tam tikros veikiančios dalys. Taigi *centrinis valdymas* {Central Control – CC} vadinsime tik šias pastarąsias funkcijas atliekančius organus, ir jie sudaro *antrąją specifinę dalį* – *centrinį valdymą* – CV.

**Trečia:** Kiekvienas įrenginys, atliekantis ilgas ir sudėtingas operacijų sekas (ypač skaičiavimus), turi turėti pakankamai atminties...



a) Instrukcijoms, kurios valdo sudėtingą uždavinį, būtina daug informacinės medžiagos, ypač tada, kai kodas yra labai išsamus (detalus, o taip dažniausiai ir būna daugelyje uždavinių). Ši medžiaga turi būti įsimenama...

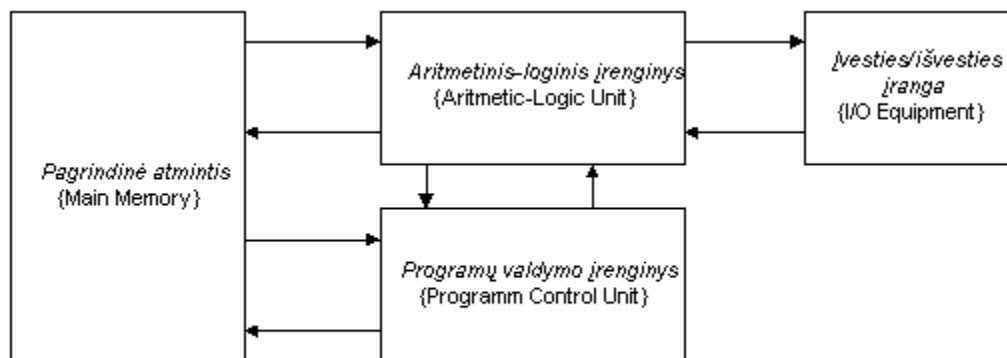
Bet kuriuo atveju *atminties* būtinumas lemia *trečiąją įrenginio specifinę dalį – atmintį – A* {Memory – M}.

Trys specifinės dalys – CA, CV ir A atitinka *asociatyvųji* žmogaus nervų sistemos *neuroną*. Dar liko neaptarti *sensorinių* arba *jautriųjų* ir *motorinių*, arba *varomųjų neuronų* ekvivalentai. T. y. įrenginio (kompiuterio) *įvesties* ir *išvesties* organai...

Turi būti užtikrinti įrenginio įvesties ir išvesties (sensoriniai ir motoriniai) kontaktai su tam tikra specifine išorine aplinka. Ši aplinka gali būti vadinama *įrenginio išorine įrašymo terpe – R* {Recording medium – R}...

**Ketvirta:** Įrenginys turi turėti organus, transformuojančius informaciją iš R terpės į jo specifines CA, CV ir A dalis. Šie organai formuoja jo *įvestį* {input}, *ketvirtąją specifinę dalį – I* {input – I}. Atrodo natūralu, kad geriausia visas transformacijas daryti iš R (taikant I) į A ir niekada tiesiogiai į CA ar CV ...

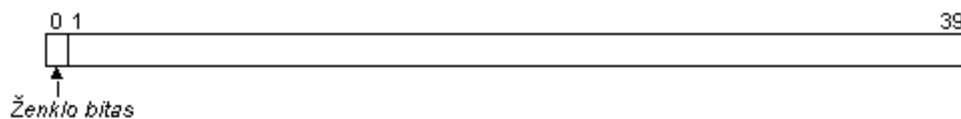
**Penkta.** Įrenginys turi turėti organus, transformuojančius informaciją iš jo specifinių CA, CV ir A dalių į R. Šie organai formuoja jo *išvestį*. Tai *penktoji specifinė dalis – I* {Output – O}. Ir vėl turėtų būti natūralu, kad geriausia visas transformacijas daryti iš A (taikant I) į R, ir niekada tiesiogiai iš CA ar CV.



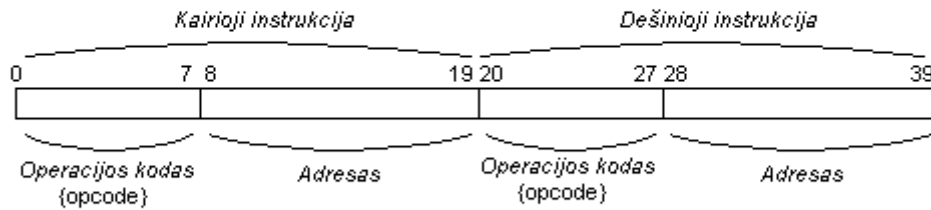
1.7 pav. IAS kompiuterio struktūra

Su labai reta išimtimi visų šiuolaikiškų kompiuterių apibendrinta struktūra ir funkcionavimas yra tokie patys (jie ir vadinami Noimano mašinomis), tad labai naudinga išnagrinėti IAS kompiuterio veikimą [2]. Kad būtų aiškiau nūdienos vartotojams, Noimano terminologija pakeista.

IAS kompiuterio atmintį sudaro 1000 saugojimo ląstelių, vadinamų *žodžiais* {words}, kiekvienas – po 40 dvejetainių skaitmenų (bitų). Atmintyje kartu saugomi ir duomenys, ir instrukcijos. Taigi ir skaičiai, ir instrukcijos turi būti pateikti dvejetainine forma. 1.8 pav. pavaizduoti abudu šie formatai. Kiekvienas skaičius pateikiamas ženklo bitu ir 39-iais reikšmės bitais. Žodis taip pat gali būti sudarytas iš dviejų 20-ies bitų instrukcijų. Kiekviena instrukcija sudaryta iš 8 bitų operacijos kodo {opcode}, kuris apibūdina vykdomą operaciją, ir 12 bitų adreso, kuriuo galima nurodyti tam tikrą žodį atmintyje (nuo 0 iki 999, nors  $2^{12} = 4096$ ).



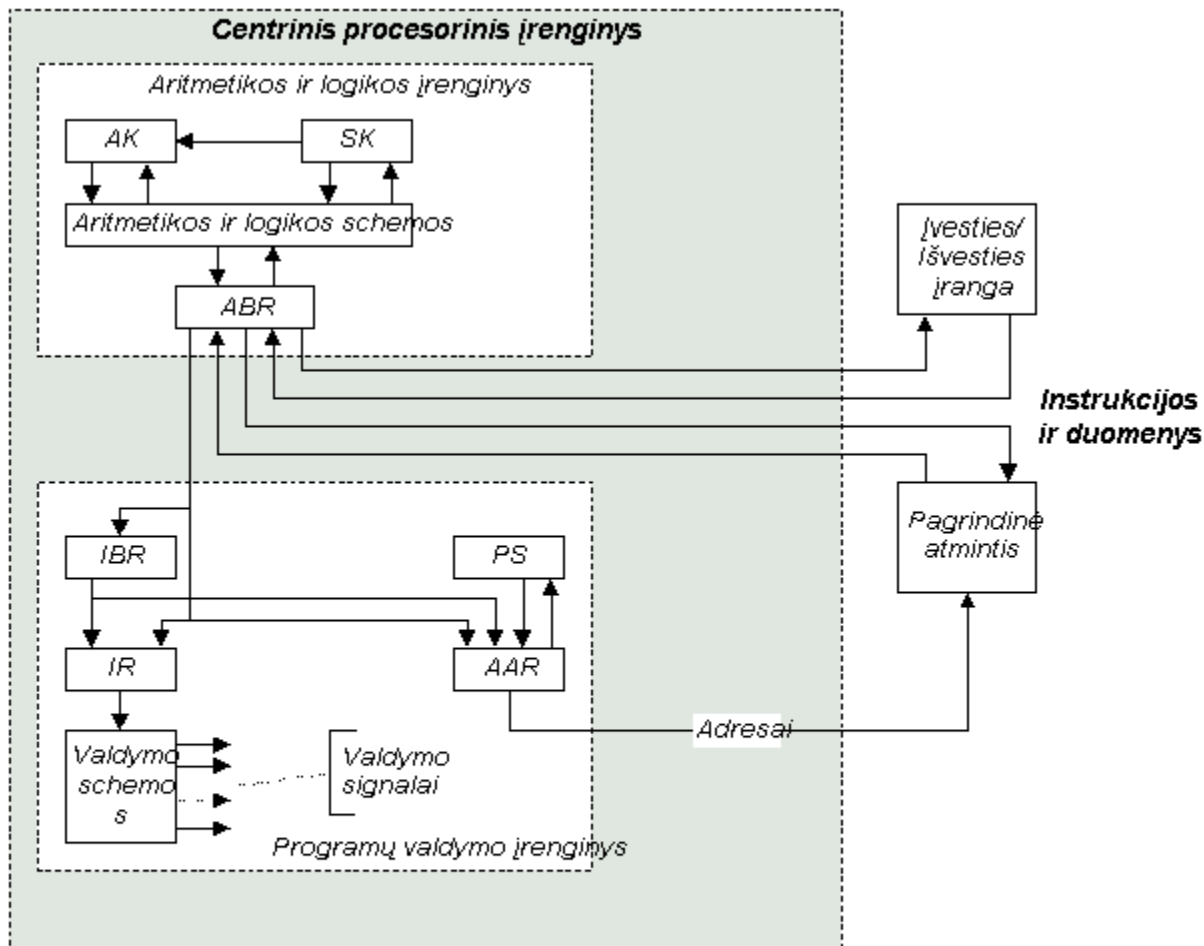
**a) Duomenų (skaitmens) žodis**



**b) Instrukcijų žodis**

**1.8 pav. IAS kompiuterio atminties formatai**

Valdymo įrenginys kontroliuoja IAS kompiuterį išrenkant instrukcijas iš atminties ir jas vykdant tuo pačiu metu be delsos. Tai paaiškinti reikalinga detalesnė struktūrinė schema (1.9 pav.). Ir valdymo įrenginys, ir ALJ turi saugojimo įtaisus, vadinamuosius *registrus* (žr. pav.), kurie, apibūdinami taip:



**1.9 pav. IAS kompiuterio išplėstoji struktūra.** Čia AK – akumulatorius; SK – sandaugos koeficientas; ABR – atminties buferinis registras; IBR – instrukcijų buferinis registras; PS – programos skaittuvas; IR – instrukcijų registras; AAR – atminties adreso registras

- *Atminties buferinis registras (ABR)* – jame esti žodis, kuris turi būti išsaugomas atmintyje (įrašytas į atmintį) arba nuskaitytas iš atminties;

- *Atminties adreso registras (AAR)* nurodo adresą atmintyje, kur žodis turi būti įrašytas iš ABR arba į jį nuskaitytas.
- *Instrukcijų registras (IR)* saugo vykdomos instrukcijos 8 bitų operacijos kodą.
- *Instrukcijų buferinis registras (IBR)* laikinai saugo dešiniąją instrukciją iš atminties žodžio.
- *Programinis skaitiklis (PS)* saugo kitos instrukcijų poros, kuri turi būti išrinkta iš atminties, adresą.
- *Akumuliatorius (AK) ir sandaugos koeficientas (SK)* laikinai saugo operandus ir ALU veiksmų rezultatus. Pavyzdžiui, dviejų 40 bitų skaičių sandauga bus 80 bitų; aukštesnieji 40 bitai saugomi AK, o žemesnieji – SK.

IAS kompiuteris veikia pagal begalinį algoritmą, vykdant *instrukcijos ciklą* {instruction cycle} (1.10 pav.). Kiekvieną instrukcijos ciklą sudaro du subciklai. Per *išrankos ciklą* {fetch cycle} kitos instrukcijos operacijos kodas įkeliamas į IR, o atitinkamas adresas talpinamas į AAR. Ši instrukcija gali būti imama iš IBR arba iš atminties, žodį šiuo atveju talpinant į ABR ir toliau siunčiant jį į IBR, IR ir AAR.

Kodėl ne tiesiogiai? Taip yra todėl, kad visos šios operacijos kontroliuojamos elektroninių schemų, todėl naudojami elektriniai duomenų keliai. Elektroninei daliai supaprastinti, skaitymui ir rašymui į atmintį bei duomenims siųsti arba priimti naudojama tik po vieną adresų registrą.

Kai operacijos kodas jau yra IR, prasideda *vykdymo ciklas*. Valdymo schemos interpretuoja operacijos kodą ir, generuodamos atitinkamus valdymo signalus, nurodinėja, kad būtų siunčiami duomenys arba kad būtų atliktos ALU operacijos, vykdo pasirinktą instrukciją.

IAS kompiuteryje buvo numatyta 21 instrukcija. Jas galima sugrupuoti taip:

- *Duomenų siuntimas*. Vykdoma duomenų kaita tarp atminties ir ALU registru arba tarp dviejų ALU registru {LOAD #, STOR #}.
- *Besąlyginis šakojimasis*. Valdymo įrenginys paprastai operacijas vykdo nuosekliai iš atminties. Tačiau šį nuoseklumą gali pakeisti šakojimosi instrukcijos. Tuomet galima vykdyti ciklines operacijas {JUMP #}.
- *Sąlyginis šakojimasis*. Šakojimasis gali būti daromas pagal tam tikrą sąlygą. Tokiu būdu į programas įvedami šakojimosi (perėjos) taškai {JUMP #}.
- *Aritmetinės operacijos*. Vykdomos ALU {ADD #, SUB #, MUL #...}.
- *Adresų modifikacija*. Suteikia galimybę adresus skaičiuoti ALU ir juos įterpti į atmintyje saugomas instrukcijas. Programos įgyja adresavimo lankstumo.

1.10 pav. parodyti keli valdymo įrenginio instrukcijų vykdymo pavyzdžiai. Pažymėtina, kad kiekvienai operacijai atlikti reikia kelių žingsnių. Kai kurios iš jų gana sudėtingos. Daugybės operacijai būtina 39 suboperacijos – kiekvienai bito pozicijai po vieną, išskyrus ženklo bito.

### 1.3.3. Antroji kompiuterių karta. Tranzistoriai

Pirmasis esminis elektroninių kompiuterių keitimasis įvyko, kai vakuumines lempas pakeitė tranzistoriai. Tranzistoriai mažesni, pigesni ir išskiria mažiau už vakuumines lempas šilumos, tuo pat metu kompiuteriuose gali vykdyti tas pačias funkcijas.

Tranzistorius sukurtas „Bell Labs“ kompanijoje 1947 m., tačiau tik 6-ojo dešimtmečio pabaigoje pagaminti pirmieji tranzistoriniai kompiuteriai. Pirmuosius komercinius tranzistorinius kompiuterius pristatė NCR bei RCA kompanijos ir šiek tiek vėliau IBM – 7000-ąją kompiuterių šeimą.

Tranzistorių taikymas būdingas antrosios kompiuterių kartos bruožas. Kompiuterius priimta klasifikuoti į kartas pagal fundamentines technines įrangos {hardware} technologijas (1.1 lentelė). Kiekvienai naujai kartai būdinga didesnė sparta, talpesnė atmintis ir mažesni matmenys.

## 1.1 lentelė. Kompiuterių kartos

| Karta | Apytikrės datos | Technologija                                 | Sparta (operacijų per sekundę) |
|-------|-----------------|--|--------------------------------|
| 1-oji | 1946–1957       | vakuuminės lempos                            | 40 000                         |
| 2-oji | 1958–1964       | tranzistoriai                                | 200 000                        |
| 3-oji | 1965–1971       | mažos ir vidutinės integracijos mikroschemos | 1 000 000                      |
| 4-oji | 1972–1977       | didelės integracijos mikroschemos            | 10 000 000                     |
| 5-oji | 1978–           | labai didelės integracijos mikroschemos      | 100 000 000                    |

Be technologijų, yra ir kitų pokyčių. Antroji kompiuterių karta pasižymėjo sudėtingesniais aritmetikos ir logikos bei valdymo įrenginiais, aukšto lygio programavimo kalbų taikymu ir tuo, kad su kompiuteriais buvo teikiama programinė įranga.

Antroji kompiuterių karta taip pat siejama su „Digital Equipment Corporation“ (DEC) įkūrimu 1957 m. Tais metais DEC pristatė PDP-1 kompiuterį, kuris iš esmės buvo pirmas minikompiuteris ir trečiosios kompiuterių kartos pirmtakas.

### IBM 7094 kompiuteris

Pradedant 700-osios serijos (1952 m.) ir baigiant paskutiniu ju 7000-osios serijos (1964 m.) modelių IBM kompanijos kompiuteriais akivaizdi būdinga kompiuterių evoliucija. Šių kompiuterių raida apibūdinama kompiuterių pajėgumo didėjimu, galimybių plėtra arba kainos mažėjimu.

Kaip matyti iš 1.2 lentelės, pagrindinės atminties (organizuotos iš 36 bitų žodžių) talpa padidėjo nuo 2K ( $1K = 2^{10}$ ) iki 32K žodžių, o kreipties į vieną žodį atmintyje trukmė (*atminties ciklo trukmė*) sumažėjo nuo 30 ms iki 1,4 ms. Operacijų kodų padaugėjo nuo 24 iki 185. Paskutiniame 1.2 lentelės stulpelyje pateikta santykinė CPl sparta. Ji padidėjo patobulinus elementinę bazę (tranzistoriai spartesni už lempas) ir pagerinus (tapo sudėtingesnė) schemotechniką. Pavyzdžiui, IBM 7094 kompiuteryje pritaikytas *atsarginės instrukcijos registras* {Instruction Backup Register – IBR}, kuris atlieka kitos išrenkamos instrukcijos buferio funkciją. Per išrankos ciklą valdymo įrenginys iš atminties nuskaito du greta esančius žodžius. Tai reiškia, kad, išskyrus šakojimosi {branch} instrukcijas, kurios pasitaiko ganėtinai retai, valdymo įrenginys vienai instrukcijai pasirinkti eikvoja tik pusę instrukcijos ciklo. Dėl šios išankstinės išrankos žymiai mažėja vidutinis instrukcijos ciklas.

1.11 pav. pateikta IBM 7094 kompiuterio su labai išvystyta periferija konfigūracija (būdinga antrajai kartai). Joje pastebimi keli esminiai skirtumai, palyginti su IAS kompiuteriu, svarbiausias – *duomenų kanalų* {data channels} taikymas. Duomenų kanalas – nepriklausomas I/I modulis su savu procesoriumi ir instrukcijomis. Kompiuterizuotoje sistemoje su tokiais įrenginiais CPl nevykdo detaliųjų I/I pobūdžio instrukcijų. Šios instrukcijos saugomos pagrindinėje atmintyje ir vykdomos specialios paskirties procesoriaus pačiame duomenų kanale. CPl inicijuoja I/I mechanizmą siųsdamas valdymo signalą į duomenų kanalą, jam (kanalui) nurodant, kad būtina atlikti instrukciją, esančią atmintyje, seką. Duomenų kanalas šią užduotį atlieka nepriklausomai nuo CPl ir „informuoja“ pastarąjį apie operacijos įvykdymą. Taigi žymiai sumažėja CPl apkrova.

## 1.2 lentelė. IBM 700/7000 serijų kompiuterių kreipties parametrai

| Modelis | Sukūrimo metai | CPl technologija  | Atminties technologija | Ciklo trukmė (ms) | Atminties talpa (K žodžių) | Operacijų kodų skaičius | Indeksuojamų registrų skaičius | Slankiojo kablelio aparatinė realizacija | I/I kanalai | Išankstinė instrukcijų išranka | Sparta (apytikriai) |
|---------|----------------|-------------------|------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------|--|-------------|--------------------------------|---------------------|
| 701     | 1952           | vakuuminės lempos | elektrostatinės lempos | 30                | 2-4                        | 24                      | 0                              | nėra                                     | nėra        | nėra                           | 1                   |
| 704     | 1955           | vakuuminės lempos | „korinė“               | 12                | 4-32                       | 80                      | 3                              | yra                                      | nėra        | nėra                           | 25                  |
| 709     | 1958           | vakuuminės lempos | „korinė“               | 12                | 32                         | 140                     | 3                              | yra                                      | yra         | nėra                           | 4                   |
| 7090    | 1960           | tranzistoriai     | „korinė“               | 2,18              | 32                         | 169                     | 3                              | yra (dvigubasis tikslumas)               | yra         | nėra                           | 25                  |
| 7094 I  | 1962           | tranzistoriai     | „korinė“               | 2                 | 32                         | 185                     | 7                              | yra (dvigubasis)                         | yra         | yra                            | 30                  |

|         |      |               |          |     |    |     |   |                                  |     |     |    |
|---------|------|---------------|----------|-----|----|-----|---|----------------------------------|-----|-----|----|
|         |      |               |          |     |    |     |   | tikslumas)                       |     |     |    |
| 7094 II | 1964 | tranzistoriai | „korinė“ | 1,4 | 32 | 185 | 7 | yra<br>(dvigubasis<br>tikslumas) | yra | yra | 50 |

Kita naujovė – *multiplekseris*, kuris atlieka *centrinio skirstytuvo* tarp duomenų kanalų, CPĮ ir atminties funkciją. Multiplekseris tvarko kreiptis į atmintį iš CPĮ ir duomenų kanalų, suteikdamas galimybę šiems įrenginiams veikti nepriklausomai.

#### 1.3.4. Trečioji kompiuterių karta. Integrinės schemos

Pavienius tranzistorius vadina *diskrečiaisiais elementais*. XX a. 5-ajame dešimtmetyje ir 6-ojo pirmoje pusėje elektroninė aparatūra buvo montuojama iš diskrečiųjų elementų – tranzistorių, rezistorių, kondensatorių ir pan. Visas gamybos procesas nuo tranzistoriaus pagaminimo iki spausdintos plokštės surinkimo buvo labai brangus ir ilgai trukdavo.

Dėl to kompiuterių industrijoje kilo problema. Pirmuosiuose antrosios kartos kompiuteriuose buvo apie 1000 tranzistorių. Vėliau jų padaugėjo iki šimtų tūkstančių ir kėlė dar daugiau problemų gaminant naujausius ir pajėgiausius kompiuterius.

1958 m. išrasta integrinė mikroschema padarė revoliucinį perversmą visoje elektronikoje. Ji apibūdina trečiosios kartos kompiuterius. Šiame poskyryje aptarsime du labai svarbius trečiosios kartos modelius: IBM kompanijos System/360 ir DEC kompanijos PDP-8 kompiuterius.

##### IBM System/ 360 kompiuteris

Iki 1964 m. IBM kompanija gamino ir pardavinėjo 7000-osios serijos kompiuterius. Tais metais IBM pristatė System/360 – naują kompiuterių šeimą. Paskelbimas nebuvo didelė staigmena, tik trikdė kelios anų laikų IBM produktų vartotojams nemalonios „naujienos“: System/360 linijos produktai nesuderinami su ankstesniais IBM kompiuteriais. Tai buvo nepopuliarus IBM kompanijos žingsnis, tačiau norint atsikratyti kai kurių 7000-osios serijos architektūros trūkumų jį reikėjo vieną kartą žengti ir pereiti prie naujos integrinių schemų technologijos. System/360 kompiuterių konstrukcija pasirodė labai tobula ir IBM perėmė apie 70% visos kompiuterijos rinkos. Atlikus tam tikras modifikacijas ir išplėtus System/360 architektūra dideliuose IBM kompiuteriuose išliko iki šiol.

System/360 – pirmoji suplanuotoji kompiuterių šeima, kurioje buvo labai įvairaus našumo ir kainų modelių. 1.3 lentelėje pateikti 1965 m. kompiuterių modelių parametrai. Visi modeliai suderinami programiškai, t. y. programa sudaryta vieno modelio kompiuteriui, veikia ir kito modelio kompiuteryje, skiriasi tik jos vykdymo trukmė. Pagrindiniai kompiuterių šeimos bruožai:

*Panašios arba identiškios instrukcijos.* Tam tikrą griežtai apibrėžtą kompiuterinių (mašininių) instrukcijų rinkinį turi visi šeimos modeliai. Taigi programa, sukurta vienam kompiuteriui, veiks ir bet kuriame kitame. Tam tikrais atvejais žemesniojo lygio šeimos modeliams tenka nepilnas instrukcijų rinkinys, o aukštesniojo lygio – pilnas. Taigi programinis suderinamumas esti „iš viršaus“ „žemyn“, bet ne atvirkščiai.

*Panašios arba identiškios operacinės sistemos.* Visuose šeimos modeliuose taikomos tos pačios operacinės sistemos arba aukštesnio lygio modeliuose – išplėstų galimybių operacinės sistemos.

*Didėjanti sparta.* Instrukcijų atlikimo sparta pereinant nuo žemesniojo prie aukštesniojo modelių lygio didėja.

*/I prievadų {ports} skaičiaus didėjimas* pereinant nuo žemesniojo prie aukštesniojo modelių lygio.

*Atminties talpos didėjimas* pereinant nuo žemesniojo prie aukštesniojo modelių lygio.

**1.3 lentelė.** IBM System/360 kompiuterių šeimos pagrindiniai parametrai

| Parametras  | Model 30 | Model 40 | Model 50 | Model 65 | Model 75 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Didžiausioji atminties talpa (baitais)            | 64 K     | 256 K    | 256 K    | 512 K    | 512 K    |
| Duomenų iš atminties siuntimo sparta (Mbaitais/s) | 0,5      | 0,8      | 2,0      | 8,0      | 16,0     |

|  |     |       |     |      |      |
|--|-----|-------|-----|------|------|
| Procesoriaus ciklo trukmė (ms)                           | 1,0 | 0,625 | 0,5 | 0,25 | 0,2  |
| Santykinė sparta   | 1   | 3,5   | 10  | 21   | 50   |
| Duomenų kanalų didžiausias skaičius                      | 3   | 3     | 4   | 6    | 6    |
| Didžiausioji duomenų siuntimo sparta kanale (Kbaitais/s) | 250 | 400   | 800 | 1250 | 1250 |

Šeimos koncepcija įgyvendinama įvairiais būdais. Pavyzdžiui, instrukcijų vykdymą galima spartinti taikant sudėtingesnę ALJ schemotechniką, suteikiančią galimybę kelias smulkias operacijas vykdyti vienu metu. Kitas būdas – išplėsti duomenų magistralę tarp CPJ ir atminties, pvz., IBM System/360 Model 30 kompiuteryje iš atminties tam tikru momentu galima buvo gauti tik 1 baitą duomenų, o Model 70 kompiuteryje – 8 baitus.

System/360 kompiuterių šeima turėjo įtakos ne tik IBM kompiuterių raidai, bet ir visai kompiuterių industrijai. Nemažai šios šeimos elementų tapo standartiniais kituose dideliuose {mainframe} kompiuteriuose.

#### DEC PDP-8 kompiuteris

Tais pačiais metais, kai IBM pradėjo prekiauti System/360 kompiuteriais, kita kompanija – DEC pasiūlė rinkai PDP-8 kompiuterio modelį. Vidutiniams kompiuteriams reikėjo specialių kondicionuojamų patalpų, o PDP-8 kompiuteris (pagal industrinę klasifikaciją – supaprastintas minikompiuteris) galėjo būti išdėstomas ant laboratorinio stalo arba įmontuotas į tam tikrą kitą techninę įrangą. Jis neatliko tiek daug įvairių uždavinių kaip didelis {mainframe} kompiuteris, tačiau palyginti nedidelė jo kaina – 1600\$ buvo prieinama net techninėms laboratorijoms (IBM System/360 kompiuteris tuomet kainavo šimtus tūkstančių dolerių).

PDP-8 kompiuterio kaina ir nedideli matmenys suteikė galimybę kitiems gamintojams integruoti PDP-8 į kompleksines sistemas ir jas perpardavinėti. Šiuos gamintojus vadina *originalios įrangos gamintojais* {Original Equipment Manufacturers – OEM}.

PDP-8 kompiuterių šeima (1.4 lentelė) užėmė rinkos sektorių, anksčiau priklausiusį IBM kompiuteriams, ir suteikė DEC kompanijai galimybę būti antroje vietoje tarp kompiuterių gamintojų greta IBM.

**1.4 lentelė.** PDP-8 kompiuterių evoliucija

| Modelis | Pristatymo data | Sisteminio bloko (procesorius ir 4K 12 bitų žodžių atmintis) kaina (JAV dol.) | Didžiausias duomenų srautas iš atminties (žodžių/ms) | Tūris (m <sup>3</sup> ) | Naujovės   |
|---------|-----------------|---|--|-------------------------|--|
| PDP-8   | 1965 04         | 16200   | 1,26   | 0,227                   | automatinis apvyniojimo laidininkais gamybos procesas      |
| PDP-8/5 | 1966 09         | 8790  | 0,08   | 0,091                   | nuoseklusis instrukcijų vykdymas                           |
| PDP-8/1 | 1968 04         | 11600   | 1.34   | 0,227                   | vidutinio sudėtingumo integrinės schemos                   |
| PDP-8/L | 1968 11         | 7000  | 1.26   | 0,057                   | pamažintas korpusas  |
| PDP-8/E | 1971 03         | 4990  | 1,52   | 0,062                   | struktūra su sistetine magistrale                          |
| PDP-8/M | 1972 06         | 3690  | 1,52   | 0,051                   | dar mažesnis korpusas, kelios papildomos išplėtimo jungtys |
| PDP-8/A | 1975 01         | 2600  | 1,34   | 0,034                   | puslaidininkinė atmintis; slankiojo kablelio procesorius   |

Priešingai nei IBM 700/7000 ir System/360 architektūroje su centriniu skirstytuvu (1.11 pav.) vėlesniuose PDP-8 modeliuose pradėta taikyti struktūra, kuri dabar tapo standartine mini- ir mikrokompriuose – struktūra su sistetine magistrale (1.12 pav.). PDP-8 sisteminę magistralę (tiesiogiai išvertus PDP-8 kūrėjų pavadinta *autobusu* – {Omnibus}) sudaro 96 laidininkai, kuriais siunčiami valdymo, adresų ir duomenų signalai. Visos kompiuterio sistemos komponentės kolektyviai {share} „naudojasi“

bendra signalinių laidininkų visuma, taigi jų taikymas turi būti valdomas CPL. Tokia architektūra labai lanksti ir suteikia galimybę kurti įvairias kompiuterio konfigūracijas.

### 1.3.5. Vėlesnės kompiuterių kartos

Po trečiosios kompiuterių kartos vis sunkiau prieinama bendro susitarimo dėl kompiuterių klasifikavimo pagal kartas. 1.1 lentelėje matyti, kad yra ir ketvirtoji, ir penktoji kompiuterių kartos, pagrįstos integrinių schemų technologija. Didelės integracijos schemose viename integrinės schemos {Large-Scale-Integration – LSI} luste galima suformuoti per 1 000 elementų. Labai didelės integracijos schemose {Very-Large-Scale-Integration – VLSI} išdėstoma daugiau nei 10 000 elementų, o dabartiniuose VLSI lustuose jų galima suformuoti per milijoną.

Sparčiai besivystant gamybos technologijoms, dažnai atsirandant naujų produktų, didėjant programinės įrangos ir telekomunikacijų svarbai, kompiuterių klasifikavimas pagal kartas tampa netikslus ir mažiau svarbus. Galima teigti, kad naujovės, įdiegtos kompiuterijoje praeito amžiaus 8-ajame dešimtmetyje, turi įtakos iki šiol. Čia paminėsime tik dvi iš šių naujovių.

#### Puslaidininkinė atmintis

XX a. 6-ajame ir 7-ajame dešimtmėčiuose kompiuterių pagrindinė atmintis būdavo konstruojama iš mažų (skersmuo neviršijo 2 mm) feromagnetinių žiedelių (šerdelių). Šerdelės įnerdavo į plonų vielučių tinklą – suformuodavo atminties matricą. Ji buvo talpinama į magnetinį ekraną ir išdėstoma kompiuteryje. Žiedelis {core}, įmagnetintas viena kryptimi, atitikdavo vienetą; įmagnetintas priešinga kryptimi – nulį. Magnetinė atmintis buvo palyginti sparti – bito skaitymas iš atminties trukdavo trumpiau nei 1 ms, tačiau brangi, griezdiška, taikyta destruktivus skaitymo mechanizmas: kreiptis į šerdelę sunaikindavo jame esančius duomenis. Todėl taikyta specialios schemos, atstatančios perskaitytuosius duomenis.

1970 m. „Fairchild“ kompanija pagamino pirmą palyginti talpią atminties mikroschemą. Lustas, kurio matmenys neviršijo vienos šerdelės matmenų, galėjo saugoti 256 bitus. Skaitymas nebuvo destruktivus ir vyko daug sparčiau nei magnetinėje atmintyje. Bito skaitymas trukdavo apie 15 ns. Tačiau vienas bitas atsiėjo daugiau nei atminčiai esant iš šerdelių („korinė“ atmintis).

Puslaidininkinės atminties gamybos technologija nuolat tobulėjo, ir 1974 m. puslaidininkinės atminties vienas bitas tapo pigesnis nei magnetinės atminties.

Nuo 1970 m. puslaidininkinės atminties raidoje pasikeitė aštuonios kartos: 1K, 4K, 16K, 64K, 256K, 1M, 4M, ir dabar esti 16M bitų viename luste. Kiekviena nauja karta keturgubino atminties talpą, mažino vieno bito kainą ir kreipties trukmę.

#### Mikroprocesoriai

Didėjant elementų tankiui atminties mikroschemose, didėjo elementų tankis ir procesoriaus lustuose. Laikui bėgant vis daugiau elementų buvo išdėstoma viename luste ir vis mažiau lustų reikėjo kompiuterio procesoriaus konstrukcijoje.

Lemiamas lūžis įvyko 1971 m., kai „Intel“ kompanija sukūrė i4004 mikroschemą. i4004 – pirmas lustas, kuriame buvo išdėstytos visos CPL komponentės – sukurtas mikroprocesorius.

i4004 mikroprocesorius galėjo sudėti du 4 bitų skaičius, o daugyba buvo atliekama atitinkamai kartojant sudėties operaciją. Pagal dabartinius reikalavimus i4004 mikroprocesorius labai primityvus, tačiau juo prasidėjo mikroprocesorių evoliucija.

Mikroprocesorių evoliucija akivaizdžiausia pagal bitų, kuriuos procesorius gali vienu metu apdoroti, skaičių. Šio skaičiaus tikslaus mato nėra, tačiau galbūt geriausiai tai atspindi procesoriaus išorinės magistralės plotis. Kitu matu gali būti akumulatoriaus arba bendrosios paskirties registrų bitų skaičius. Kartais šie skaičiai sutampa, bet ne visada. Pavyzdžiui mikroprocesorius gali operuoti 16 bitų skaičiais, tačiau vienu metu nuskaityti arba įrašyti tik 8 bitus.

1972 m. „Intel“ sukūrė pirmąjį 8 bitų mikroprocesorių i8008, beveik du kartus sudėtingesnį nei i4004. Ir i4004, ir i8008 buvo specialiosios paskirties mikroprocesoriai (taikomi specialiais atvejais). Bendrosios

paskirties mikroprocesorių i8080 „Intel“ sukūrė 1974 m. Tai irgi 8 bitų procesorius, tačiau spartesnis, su platesniu instrukcijų rinkiniu ir tobulesniu adresavimu (1.5 lentelė).

1.5 lentelė. „Intel“ mikroprocesorių evoliucija

| Charakteristikos                  | Mikroprocesoriaus tipas |           |        |          |         |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------|--------|----------|---------|
|                                   | i8008                   | i8080     | i8086  | i80386   | i80486  |
| Sukūrimo metai                    | 1972                    | 1974      | 1978   | 1985     | 1989    |
| Instrukcijų skaičius              | 66                      | 111       | 133    | 154      | 235     |
| Adresų magistralės plotis         | 8                       | 16        | 20     | 32       | 32      |
| Duomenų magistralės plotis        | 8                       | 8         | 16     | 32       | 32      |
| Vyksmazėnklių {flag} skaičius     | 4                       | 5         | 9      | 14       | 14      |
| Registrų skaičius                 | 8                       | 8         | 16     | 8        | 8       |
| Adresuojamosios atminties talpa   | 16 KB                   | 64 KB     | 1 MB   | 4 GB     | 4 GB    |
| I/O prievadų {I/O ports} skaičius | 24                      | 256       | 64 K   | 64 K     | 64 K    |
| Magistralės pralaidumas           | –                       | 0,75 MB/s | 5 MB/s | 32 MB/s  | 32 MB/s |
| Registrų turinio sumavimo trukmė  | –                       | 1,3 ms    | 0,3 ms | 0,125 ms | 0,06 ms |

### Papildoma literatūra

1. **J. Von Neumann.** First Draft of a Report on the EDVAC. Philadelphia, Moore School of Electrical Engineering, University of Pensilvania, 1945. 100 p.
2. **J.Hayes.** Computer architecture and organization / New York, McGraw-Hilll, 1988. 552 p.
3. **D.Swade, Charles Babbage.** The difference engine: Charles Babbage and the Quest to Build the first computer / Viking Press; ISBN: 0670910201. 2001. 352 p.
4. **T.Hikino, A. Von Nordenflycht, A. D. Chandler.** Inventing the electronic century: The epic story of the consumer electronics and computer science industries / Free Press; ISBN: 0743215672, 2001. 320 p.
5. **M.Davis.** The universal computer: The road from Leibniz to Turing / W.W. Norton & Company; ISBN: 0393047857. 2000, 256 p.
6. **G.Ifrah, E.F.Harding, S.Wood, D.Bellos.** The universal history of computing : From the abacus to the quantum computer / John Wiley & Sons; ISBN: 0471396710. 2000, 356 p.
7. **M.W.Greenia.** History of computing: An encyclopedia of the people and machines that made computer history / Lexikon Services; CD-ROM - 2300 pages Rev Cd-edition ISBN: 0944601782. 2001.
8. **R.Rojas, U.Hashagen.** The first computers – history and architectures (History of computing) / MIT Press; ISBN: 0262181975; 2000. 432 p.