Számítógép architektúrák alapjai

Készítette: Simon Péter [1]

2021. december 25.

[1] Hallgatói jegyzet Durczy Levente előadásai alapján

Tartalomjegyzék

1. fejezet

Alapfogalmak

1.1. Architektúra fogalma

A számítógép architektúra fogalmat először Amdahl, az IBM mérnőke használta először a 360-as család bejelentésekor. Definíciója szerint ez az a struktúra, amit a gépi kódú programozónak értenie kell, hogy helyes programot tudjon írni az adott gépre. Tehát a regiszterek, memória, utasításkészlet, címzési módok és utasításkódok összessége, mind logikai, mind hardveres szinten.

1.2. Számítási modellek

A számítási modell a számításra vonatkozó alapelvek egy absztrakciója. A számítási modelleket a következő absztrakciós jellemzőkkel írhatjuk le:

- min hajtjuk végre a számítást (általában adatokon - adat alapú)
- hogyan képezzük le a számítási feladatot
- milyen módon vezéreljük a végrehajtási sorrendet

1.2.1. A számítási modell, az architekrúra és a programnyelv kapcsolata

Egy számítógép tervezését a számítási modellel kell kezdeni, ami meghatározza, hogy mit szeretnénk csinálni. Ehhez szükség van egy specifikációs eszközre, amit a programnyelv képvisel (pl. Neumann modell megvalósítási eszköze a BASIC, Fortran). Ezután jön az architektúra, ami a számítási modell implementációs eszköze, a "vas". Ez hajtja végre az adott programnyelven definiált feladatokat.

1.2.2. Számítási modellek csoportosítása

Számítási modelljük szerint

- szekvenciális
- párhuzamos

Vezérlés meghajtása szerint

- vezérlés meghajtott
- adat meghajtott
- igény meghajtott

Probléma leírása szerint

- procedurális
- deklaratív

Első sorban aszerint különböztetjük meg őket, hogy min hajtjuk végre a számítást. Az adatalapú modellek:

- Neumann modell
- adatfolyam modell
- applikatív modell (igénymeghajtott)

Az adatalapú modelleken kívül léteznek még objektum alapú, predikátum logika alapú, tudás alapú és hibrid modellek. A mai processzorokban a Neumann és az adatfolyam modellek keverednek.

1.2.3. Adatalapú modellek közös tulajdonságai

- az adatok általában típussal rendelkeznek (pl. 16 bit int) - vannak elemi és összetett adattípusok
- a típus meghatározza az adat értelmezési tartományát, értékkészletét és az elvégezhető műveleteket

1.2.4. Neumann modell

A Neumann-elvű számítógépek a számításokat adatokon hajtják végre, amiket egy változó értékű változókészlet képvisel. A végrehajtási sorrend vezérlés meghajtott, tehát van egy statikus utasításszekvencia, amit egy speciális regiszter biztosít (program counter). A program counter egy inkrementálódó változó, mindig a végrehajtandó utasításra mutat. A végrehajtási sorrendtől vezérlési feladatokat ellátó utasításokkal lehet eltérni (pl. jump, if).

A Neumann elv követelményrendszere előírja változók létrehozását, adatmanipulációs és vezérlés átadási utasítások deklarálását. Az ilyen nyelveket hívjuk imperatív (parancs) programnyelveknek (pl. C, Pascal, Assembly).

Ezeket a követelményeket az architektúra kielégíti, pl. lehetővé teszi, hogy a memóriában elhelyezkedő változók korlátlan számban módosíthatók legyenek a program futása során. Ezen kívül biztosítja a megfelelő regisztereket az adatoknak és speciális regisztereket mint pl. program counter.

Az adatok és az utasítások a memóriában helyezkednek el. A számítási feladat műveletek elemi műveletek sorozataként értelmezhető. Egy számítási feladat leképezhető adat manipuláló utasítások sorozatával. Az adat manipuláló utasítások az utasítások sorrendjében vannak végrehajtva, ezért ez egy vezérlés meghajtott modell. A vezérlést a program counter biztosítja, a sorrendet a programozó határozza meg. Az explicit vezérlés átadó utasításokkal lehet eltérni az implicit szekvenciától.

Következmények:

- előzmény érzékenység: mivel az adatok változhatnak bármikor a végrehajtás során, a végrehajtás sorrendje nem mindegy
- alapvetően szekvenciális végrehajtást biztosít
- egyszerűen implementálható
- az adatmanipuláló utasítások nem szándékos állapotmódosulást okozhatnak (pl. overflow) - ezeket mellékhatásoknak hívjuk, kezelni kell őket

1.2.5. Adatfolyam modell

A számítást itt is adatokon hajtjuk végre, de:

- az adatokat bemenő adathalmaz képviseli
- egyszeres értékadás lehetséges
- a megoldandó feladatot adatfolyam gráffal és input adatok halmazával képezzük le (a gráfban a csomópontok a szakosodott végrehajtó egységek)
- szakosodott végrehajtó egységeket használ
- a végrehajtást az adat vezérli - adatvezérelt, azaz a szükséges adatok rendelkezésre állásakor azonnal működésbe lép a végrehajtó egység
- az adat meghajtott program utasításai semmilyen szempontból nem rendezettek
- az adatokat utasításon belül tároljuk és nem az operatív tárban
- magas a kommunikációs és szinkronizációs igénye

1.2.6. Applikatív modell

A számítási feladatot egy komplex függvény formájában adjuk meg. Ez is adatalapú modell, de deklaratív jellegű, tehát valamennyi, az adott probléma megoldásához szükséges tényt és relációt deklarálunk. Mindezt egy végrehajtó mechanizmus (a függvény) feldolgozza. A vezérlés igény meghajtott (lazy, lusta modell).

1.3. Az architektúráról bővebben

A 70-es években Bell és Newell kibővítette az architektúra definícióját és négy szintet határoztak meg:

- PMS - processor, memory, switches: a számítógépek globális leírása
- programozási szint:
  - magas szint
  - alacsony szint
- logikai tervezési szint
- áramköri szint

Az architektúra másik megfogalmazásban a külső jellemzők, a belső felépítés és a működés együttesét jelenti. Megkülönböztetünk logikai és fizikai architektúrát, valamint ezeken belül processzor és számítógép szinteket.

1.3.1. ISA

A processzor szintű logikai architektúra az ISA - Instruction Set Architecture. Ez írja le az utasításkészletet, pl. x86. Az ISA komponensei:

- adattér
- adatmanipulációs fa
- állapottér
- állapot műveletek

1.3.2. Fizikai architektúra

A számítógép szintű fizikai architektúra elemei:

- processzor
- memória
- buszrendszer

A processzor szintű fizikai architektúra négy részre bontható:

- műveletvégző egység (ALU)
- vezérlő
- I/O
- megszakításrendszer

Az I/O és a megszakításrendszer a más rendszerekkel összekapcsoló illesztő eszközök.

2. fejezet

Adattér

2.1. Az adattér fogalma

Az adattér egy olyan tér, mely biztosítja az adatok tárolását oly módon, hogy azok a CPU által közvetlenül manipulálhatók legyenek. Az adattér közvetlenül címezhető a processzor által.

2.2. Típusai

Az adattér két típusát különböztetjük meg:

- memóriatér
- regisztertér

2.3. Memóriatér

A memóriateret leginkább a mérete jellemzi. A címzéséhez címbuszra van szükség, ennek szélessége meghatározza a memóriatér maximális méretét. A címtérnél megkülönböztetjük a modell címterét és a valós címteret, mivel az adott installáció nem feltétlen éri el az elméleti modell méretét.

2.3.1. Virtuális memória

A 60-as években a kis memóriák és az elméleti és valós memóriatér eltérő mérete miatt megjelent a virtuális memória. Alap koncepciói:

- két különböző memóriatér létezik: amit a programozó lát (virtuális memória) és a CPU által látott fizikai memória
- létezik olyan, a felhasználó számára transzparens folyamat, amely a program futása közben az éppen nem használt adatokat a valós memóriából a virtuális memóriába mozgatja, majd szükség esetén visszateszi
- létezik olyan (egyirányú) folyamat, amely a virtuális memória címeket dinamikusan, tehát futási időben valós címekké alakítja

2.4. Regisztertér

A regisztertér az adattér nagy teljesítményű, általában viszonylag kis része. Általában nem része a címtérnek.

2.4.1. Típusai

- egyszerű regiszterkészlet
- adattípusonként különböző regiszterek
- többszörös regiszterkészlet

2.4.2. Egyszerű regiszterkészlet

Az egyszerű regiszterkészlet típusai:

- egyetlen regiszter (akkumulátor), hátránya, hogy nagyon lassú
- több, dedikált adatregiszter
- univerzális regiszterkészlet, jelentős teljesítmény növekedést eredményezett, a programozó szabadon felhasználhatja a regisztereket (pl. a gyakran használt változók folyamatosan a regiszterben maradhattak)
- stack regiszterek

Stack regiszterek

A stack regisztereknél egy stack pointer (SP) mutat a "zsák" tetejére (mindig az utoljára betöltött adat). Előnye, hogy nem kell címezni, így egyszerű, rövid utasításokkal kezelhető és gyors. Hátránya viszont, hogy mindig csak a tetejéhez férünk hozzá, így az operandus kiolvasás csak szekvenciálisan történhet. A szekvenciális kiolvasás lassú, szűk keresztmetszetet jelent sok adatnál.

2.4.3. Adattípusonként különböző regiszterek

Itt különféle adattípusokhoz különféle regiszterek állank rendelkezésre, elsősorban lebegőpontos adatoknál. A lebegőpontos regisztereknél külön van bontva a mantissza és a karakterisztika, mivel mindkettőn műveletet kell végezni, így lehetőséget ad a párhuzamosításra a külön tárolás. Az Intel 1998-ban bevezette még a SIMD adattípust, amit multimédiás alkalmazásokhoz használtak.

2.4.4. Többszörös regiszterkészlet

Ez a legfejlettebb megoldás, egymásba ágyazott eljárások gyorsítására szolgál. Ehhez szükséges a kontextus fogalmának bevezetése. A kontextus a regisztertér állapota az állapottérrel együtt.

Az eljárások közötti váltásoknál szükséges a kontextusok közötti váltás, amit a kontextuskapcsoló végez. Ha a kontextusok közötti váltásnál a kontextust a memóriatérből kell betölteni, nagyon lassú lesz, ha viszont regiszterek között kell csak váltani, akkor gyors. Ezért vezettek be több regiszterkészletet, a cél minden kontextus számára különálló regiszterkészlet biztosítása. A programozó ezek közül csak egyet lát, a kontextus váltásokat a processzor kezeli. A megvalósításhoz szükség van még egy általános regiszterkészletre, ami a regiszterek közti paraméter átadást biztosítja.

Típusai

- több, egymástól független regiszterkészlet, hátránya, hogy a paraméter átadás csak az operatív táron keresztül történhet, ami lassítja az eljárást
- átfedő regiszterkészlet, egymásba ágyazott eljárásokhoz dolgozták ki, lényege, hogy egy regisztert három részre bontottak: ins, locals, outs. Úgy alakították ki, hogy az egyik regiszter kimenő területe ugyanazon a címen helyezkedik el, mint a másik bemenője, így nagyon könnyű az operátor átadás. Hátránya, hogy merev a struktúra és hogy a regiszterkészletek száma korlátozza a regisztertérben tartható kontextusokat.
- stack cache: 1982-ben vezették be, a mai processzorokban is hasonló struktúrákat alkalmaznak. A stack és a közvetlen elérésű cache kombinálása. Kezelése a compiler feladata, ami minden eljáráshoz hozzárendel egy regiszterkészletet. A hozzárendelt regiszterkészlet az aktiválási rekord, aminek az első elemére a stack pointer mutat. A regiszterek nem csak a stack pointeren kersztül érhetők el, hanem közvetlenül is, a displacement pointerrel. Bizonyos korlátok között az aktiválási rekord bármilyen hosszú lehet, tehát a kiosztás rugalmas. Előnye, hogy nincsenek üres helyek, így nincsenek fölöslegesen lefoglalt regiszterek és nincs túlcsordulás se.

3. fejezet

Adatmanipulációs fa

3.1. Az adatmanipulációs fa fogalma

Az adatmanipulációs fa megmutatja a potenciális adatmanipulációs lehetőségeket. Bizonyos részfái megmutatják egy konkrét implementáció adatmanipulációs lehetőségeit.

3.2. Részei

- 1. szint: adattípusok, azaz miket értelmezünk az adott architektúrában (pl. 1 byte FX, 2 byte FX, FP, stb.)
- 2. szint: műveletek szintje, azaz az adattípusokkal milyen műveletek végezhetők (pl. összeadás, kivonás, logikai műveletek)
- 3. szint: operandusok típusai (pl. két operandusos, három operandusos). Megkülönböztetünk memória, regiszter és akkumulátor operandus típusokat.
- 4. szint: címzési módok (pl. regiszter+displacement, pc+displacement, index regiszter+displacement, direkt, indirekt)
- 5. szint: gépi kód

3.3. Adattípusok

Megkülönböztetünk elemi és összetett adattípusokat. Elsősorban az elemi adattípusokkal foglalkozunk. Az összetett adattípusok elemiekből épülnek fel, ha különböző típusokból áll össze, akkor rekordnak hívjuk, ha azonos típusokból, akkor megkülönböztetünk vektor (1D tömb), tömb (többdimenziós), szöveg, verem, sor, lista, fa, halmaz adattípusokat.

3.3.1. Elemi addattípusok

Megkülönböztetünk numerikus, karakteres, logikai, pixel és még több adattípust.

Numerikus adattípusok

- FX
- FP
- BCD (binárisan kódolt decimális)
  - pakolt (1 byte két helyiérték, 4 bit egy decimális szám)
  - pakolatlan (zónázott)

FX adattípusok

Kódolás szerint megkülönböztetünk:

- egyes komplemens
- kettes komplemens
  - előjeles (1, 2, 4, 8, 16 byte)
  - előjel nélküli
- többletes kódolás

FP adattípusok

Megkülönböztetünk:

- normalizált
  - hexára normalizált
  - binárisra normalizált
    - VAX
    - IEEE
      - 1x pontosságú (32 bites)
      - 2x pontosságú (64 bites)
      - kiterjesztett pontosságú (128 bites)
- nem normalizált

Általában a normalizáltat használják.

Karakteres adattípusok

Megkülönböztetünk:

- EBDIC (8 bit, 60-as évek)
- ASCII
  - 7 bites (szabványos)
  - 8 bites (kiterjesztett)
- Unicode (2 byte)

Logikai adattípusok

Megkülönböztetünk:

- 1 byte
- 2 byte
- 4 byte
- változó hosszú

Példák: AND, OR eredményei. Általában 1 bit értékes (általában a legmagasabb helyiérték).

3.4. Műveletek

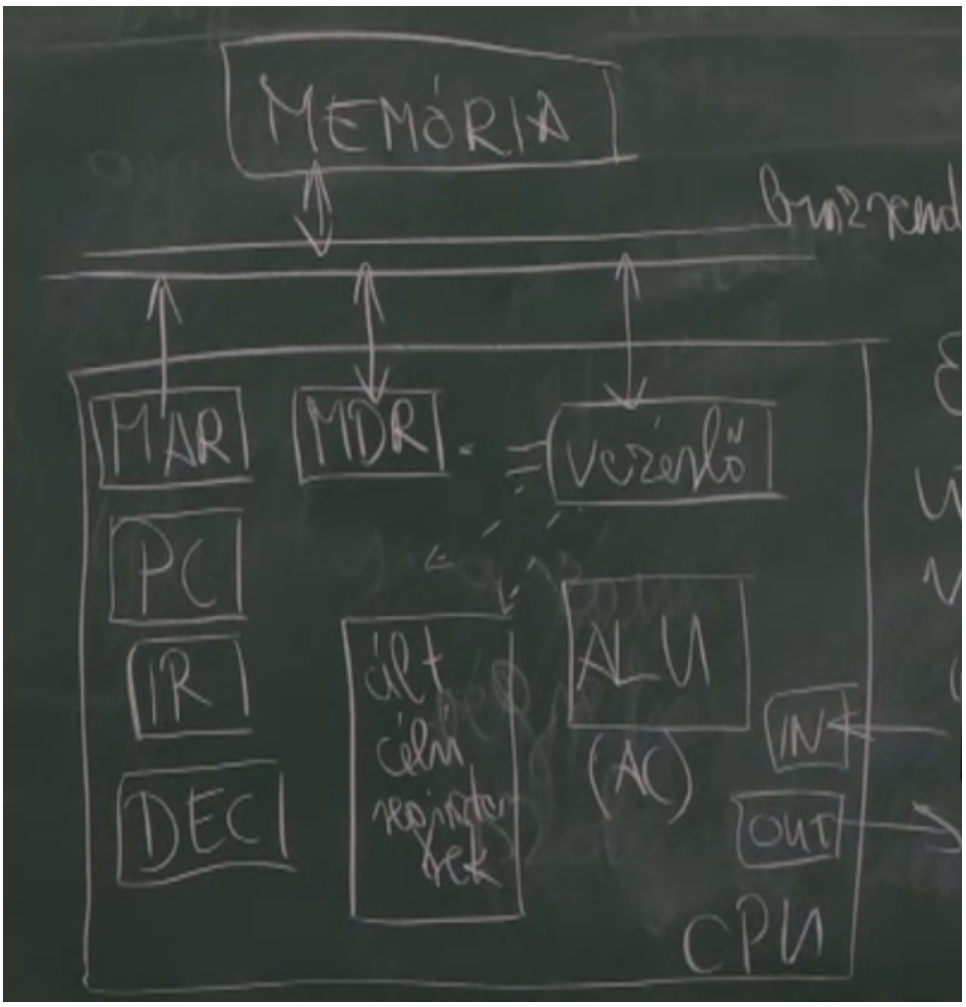
Az adatmanipulációs fa minden művelet esetén megállapítja, hogy milyen utasítás típusok vannak megengedve és milyen operandus típus választható. Az utasítás a számítógép által végrehajtható alapvető feladatok ellátására szolgáló elemi művelet leírása.

3.4.1. Utasítás végrehajtás menete

Egy gépi kódú utasítás általában két részből áll: MK, azaz műveleti kód és címrész. Az MK tartalmazza, hogy mit kell csinálni, a címrész pedig, hogy melyik címen lévő adattal. Pl.: ADD r3,r1,r2. Általánosan az utasítás végrehajtás lépései:

1. A processzor megnézi, hogy van-e megszakítás kérés, ha van, kiszolgálja azt
2. Ha nem történt megszakítás kérés, lehívja az utasítást
3. Végrehajtja az utasítást

A processzor főbb regiszterei láthatók a következő ábrán.



3.1. ábra. Egy CPU főbb regiszterei

Egy gépi kódú utasítás elemi műveletek sorozataként írható fel. Példa: ADD r1, r2 utasítás végrehajtása:

1. FETCH - az utasítást le kell hívni:
   (a) A processzor a program counter (PC) értékét betölti a memória címregiszterbe (MAR).
   (b) A címregiszterben lévő címen lévő értéket betölti a memória adatregiszterbe (MDR).
   (c) A memória adatregiszter tartalmát áttölti az utasításregiszterbe (IR)
   (d) A program counter értékét egy egységgel inkrementálja
2. Dekódolás és operandus betöltés
   (a) Az utasításregiszter tartalmát betölti a processzor a dekóderbe (DEC)
   (b) Az utasítás címrész tartalmát betölti a memória címregiszterbe
   (c) A memória címregiszter értékének címén található adatot betölti a memória adatregiszterbe
   (d) A memória adatregiszter tartalmát betölti az akkumulátorba
3. Művelet végrehajtás
   (a) A dekóder megfelelő (másik) címrésze bekerül a MAR-ba
   (b) A MAR értékének címén lévő adat bekerül az MDR-be
   (c) Az AC-be betölti az AC+MDR-t (elvégzi az összeadást)

4. Az eremény tárolása (STORE)
   (a) A dekóder címrésze (ugyanaz mint a dekódolásnál) bekerül a memória címregiszterbe
   (b) Az akkumulátor tartalmát áttölti az MDR-be
   (c) Az MDR tartalmát betölti az MAR által mutatott címre

Példa: JMP utasítás

1. IR-ből betölti a dekóderbe az utasítást
2. A dekóder címrészét betölti MAR-ba
3. A MAR által mutatott értékkel felülírja PC-t

3.4.2. Utasítások részei

- műveleti kód
- operandus
  - cél (dest op)
  - forrás (source op)

3.4.3. Utasítások típusai címek száma alapján

- 4 címes: cél, forrás 1, forrás 2, következő utasítás címe. Hátránya, hogy nehézkes és merev.
- 3 címes: cél, forrás 1, forrás 2. A következő utasítás címét helyettesítették az auto inkrementálódó PC-vel. RISC architektúrák használják. Előnye a szabadság és a párhuzamosítási lehetőség, hátránya, hogy bonyolultabbak és hosszabbak az utasítások.
- 2 címes: nincs cél operandus, csak forrás 1 és 2. Az eredmény felülírja a forrás 1-et. CISC processzorok használják (pl. x86). Előnye az egyszerűbb utasítás, hátránya, hogy felülírja az egyik forrás operandust.
- 1 címes: be kell tölteni az egyik operandust az akkumulátorba, majd a második operandussal módosítjuk AC tartalmát. Pl. ADD utasítás: LOAD[100], ADD[101]. Hátránya, hogy az utasítások száma nő, viszont az utasítások kisebbek és gyorsabban végrehajthatóak. Többszörös összeadásnál hasznos például.
- 0 címes: pl. NOP, CLEAR D (flag), PUSH, POP. A stack utasítások gyorsaságát is ez adja, nem kell külön megcímezni, hanem a stack pointer értékét használja. Előnye, hogy gyors, hátránya, hogy növelik az utasításkészletet.

A három címes utasítások mindhárom operandusa regiszter típusú, a két címeseknél viszont általában a második operandus lehet memória típusú is.

3.5. Operandus típusok

- AC - akkumulátor: gyors, de csak egy van belőle
- memória: nagy, hosszú címe van és viszonylag lassú
- regiszter: gyors, de korlátozott számú
- verem: nagyon gyors, de csak a tetejét látjuk, így sok adatot nem lehet benne tárolni
- immediate: nem egy címet adunk meg, hanem közvetlenül a programba írjuk be az operandus értékét. Nagyon gyors, de a módosításához módosítani kell a programot.

3.5.1. Architektúrák osztályozása operandus típusok szerint

- szabályos: csak egy fajta operandus típus engedélyezett (kivéve akkumulátor, mert abból csak egy van)
  - akkumulátor (akkumulátor-regiszter és akkumulátor-memória)
  - memória (memória-memória, memória-memória-memória)
  - regiszter (regiszter-regiszter, regiszter-regiszter-regiszter)
  - stack (stack-stack, stack-stack-stack)
- kombinált: a különböző operandus típusok megengedettek egy utasításon belül (pl. regiszter + memória) - nem homogén.

A szabályos architektúrák kezelése és tervezése könnyebb. Ilyenek pl. a RISC architektúrák (mint pl. ARM), amik 3 címes regiszter típusú operandusokkal dolgoznak. A memória eléréséhez két kivételes utasítás használható: LOAD és STORE.

Kombinált architektúra pl. a CISC architektúrák (mint pl. x86).

3.6. Címzési módok

A címzési mód maga a címszámítási algoritmus. Ezt 3, egymástól független elem kombinációja adja:

- címszámítás: jelzi, hogy abszolút, vagy relatív címzést használunk. Az abszolút címzés a teljes címet tartalmazza, a relatívnál pedig egy bázishoz képest számoljuk. A relatív gyorsabb, rövidebbek a címek, de deklarálni kell a bázis címet és a címszámítási algoritmust. Elsősorban a relatív címzés van használatban.
- cím módosítás (opcionális komponens): indexelés, auto inkrementálás, auto dekrementálás. Segítségével könnyebben meghatározható a következő operandus címe.
- deklarált (tényleges) cím meghatározása: azt jelenti, hogy a címet direkt vagy indirekt, illetve valós vagy virtuális címként interpretáljuk.

3.6.1. Relatív címszámítás

A CPU címtere nagyon nagy (4-64 TB), így abszolút címzéssel nagyon nagy címeket kéne kezelni. Ezért inkább a relatív címzést használják. Bázis címnek választható pl. a PC, a stack teteje, valamilyen index regiszter, stb.

3.6.2. Az indexelés és az index regiszter

Megkülönböztetünk egyedi és blokkos címzést, jellemzően blokkokat címzünk és töltünk be a gyorsítótárba. Ehhez szükség van egy index regiszterre, amiben az eltolás tárolódik. Több dimenziós blokkoknál több index regiszter van használatban.

3.7. Utasítás kód

Az adatmanipulációs fa legalsó szintje, gépi reprezentációnként különböző.

3.8. Állapottér

Az állapottér olyan, programból látható és nem látható (program transzparens) tárolókból áll, amelyek az adott programra vonatkozó állapotinformációkat hordozzák. A program transzparens információk a rendszerfunkciókhoz szükségesek, mint pl. virtuális memória kezelés és a megszakításkezelés. Az állapottér tehát feloszthető:

- transzparens
  - virtuális memória kezelés
  - megszakításkezelés
  - veremkezelés
- látható
  - PC
  - státusz indikátorok (flagek)
    - CC (Condition Code, IBM gépeknél): két bit, különböző állapotinfókat tartalmaz
    - univerzális állapotjelzők pl. carry, zero
    - adattípusonként különböző állapotjelzők pl. denormalizált szám vagy érvénytelen művelet (minden regiszterkészlethez definiáltak)
  - indexelés
  - címzési módok
  - debug

3.8.1. Flagek

Olyan kivételes események figyelésére és vezérlésére szolgálnak, melyek a program futása közben általánosságban jelenhetnek meg. Ilyen pl. a túlcsordulás vagy a nullával való osztás.

3.8.2. Állapot műveletek

Az állapotjelzőket speciális utasításokkal lehet manipulálni. Állapotműveletek PC esetén:

- inkrementálás
- dekrementálás
- felülírás (pl. egy utasításból vett címmel, ugróutasítással)

Flagek esetén:

- mentés
- beállítás
- reset
- load
- clear

4. fejezet

Processzor szintű fizikai architektúra

4.1. Részei

- műveletvégző
- vezérlő
- I/O rendszer
- megszakításrendszer

A legfontosabbak a műveletvégző és a vezérlő részek, mivel ezek végzik a CPU két fő funkcióját (utasítás lehívás és végrehajtás).

4.2. Szinkron és aszinkron CPU-k

Kétféle CPU-t különböztetünk meg:

- aszinkron: nincs órajel, hanem az utasítás vége jelzés a következő utasítás megkezdésére. Előnye, hogy nincs holtidő, hátránya hogy az utasítás végének érzékeléséhez speciális áramkörök kellenek, ami viszonylag drága és az érzékelés is időt vesz igénybe.
- szinkron: a végrehajtást órajel vezérli

4.3. Műveletvégző egység

A műveletvégző egység tartalmazza a:

- regisztereket
- adatutakat
- kapcsolópontokat
- szűkebb értelemben vett ALU-t

4.3.1. Regiszterek

A műveletvégző egység tartalmaz látható és transzparens regisztereket. Láthatóból megkülönböztetünk univerzális és dedikált (pl. stack) regisztereket. A transzparens (rejtett) regiszterek általában az adatfeldolgozáshoz szükséges puffer regiszterek. A rejtett regiszterekre nem lehet hivatkozni, de számításba kell venni őket alacsony szintű programozásnál.

4.3.2. Adatutak

Ez nem adatbusz! Az adatbuszon értelmezett a címzés, adatutak esetén viszont nem beszélhetünk címzésről. Az adatutak a műveletvégző egység részeit kapcsolja össze, gyakorlatilag egy vezetékrendszer.

4.3.3. Kapcsolópontok

A regiszterkhez kapcsolópontokon keresztül csatlakoznak a vezetékek. A kapcsolók tranzisztorok, a regiszterek részei. A kimeneti kapcsoló három állású: zárt, nulla és egy. A bemeneti kapcsoló kétállású: nyitott és zárt. Az adatutakon egyszerre csak egy adat lehet, ezért a kapcsolópontok felelnek azért, hogy csak a megfelelő regiszter legyen nyitva. A vezérlő nyitja és zárja a kapcsolókat.

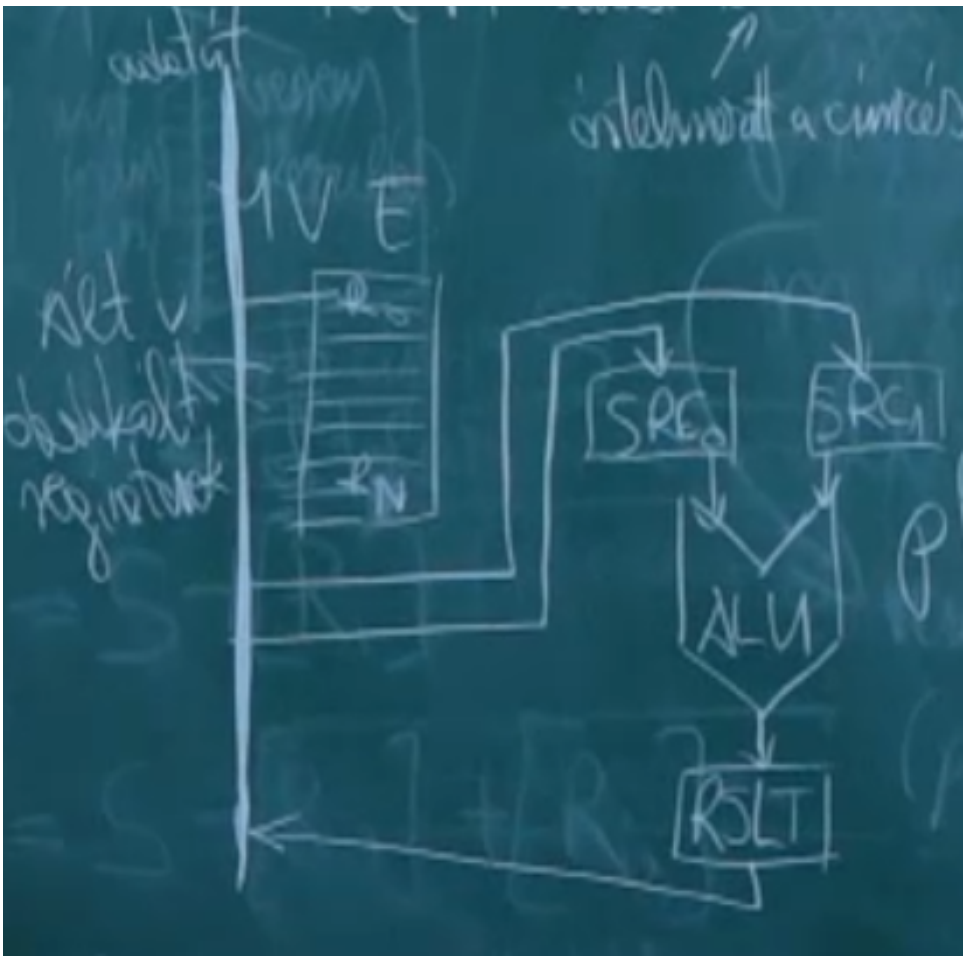
4.3.4. Csatolási módok

Az adatutakat csoportosíthatjuk csatolási mód szerint:

- egyutas
- kétutas
- háromutas

Egyutas csatolás

Előnye, hogy egyszerű és olcsó, hátránya, hogy lassú.



4.1. ábra. Egyutas adatút

Példa egyutas adatút működésére ADD r0,r1 művelet esetén:

1. Az R0 tartalmát be kell tölteni az egyik forrásregiszterbe, ezért a vezérlő megnyitja R0 és SRC0 kapcsolóit, hogy az adatúton keresztül a jel eljuthasson.
2. Ezután jön R1, itt R1 és SRC1 kapcsolóit nyitja a vezérlő.
3. Szinkronizáltan, órajelre megnyílnak SRC0 és SRC1 kimenő kapcsolói, a forrás operandusok eljutnak az ALU-ba, ahol megtörténik az összeadás.
4. Az ALU-ból bekerül az adat az eredményregiszterbe.
5. Végül az eredmény visszajut R0-ba.

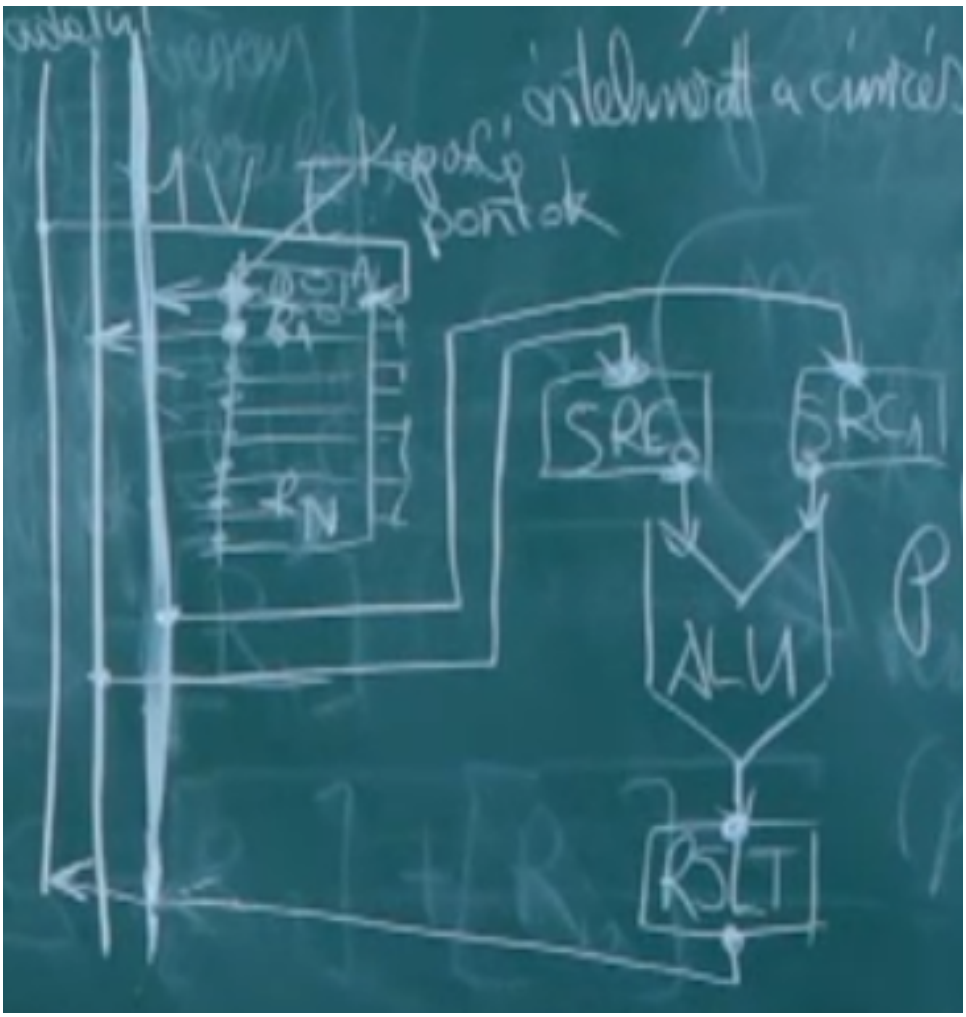
Kétutas csatolás

A kétutas csatolás használatával egyszerre tölthető be a két operandus, így a betöltési idő a felére csökken.

4.2. ábra. Kétutas adatút

Háromutas csatolás

Itt a harmadik adatút a kimenetre van rákötve. Ezzel párhuzamos működés érhető el: a visszaírással együtt megtörténhet a következő utasítás forrás operandusainak betöltése.



4.3. ábra. Háromutas adatút

4.3.5. Műveletvégző (ALU)

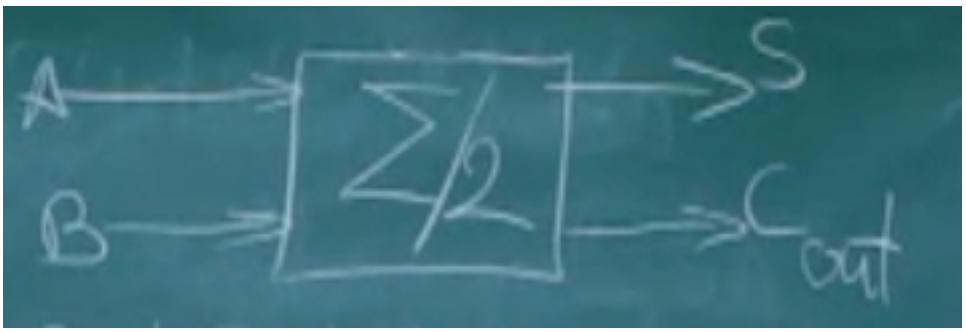
Az ALU (Aritmetikai Logikai Egység) végzi el a műveleteket. A leggyakoribb, legelemibb művelet az összeadás.

Az ALU által végzett műveletek

- FX: + - * /
- FP: + - * /
- BCD: + - * /
- Egyéb: eltolás, negálás, léptetés, logikai műveletek

Összeadó

Egy félösszeadónak két bemenete és két kimenete van, a második kimenet az átvitelre van (carry).

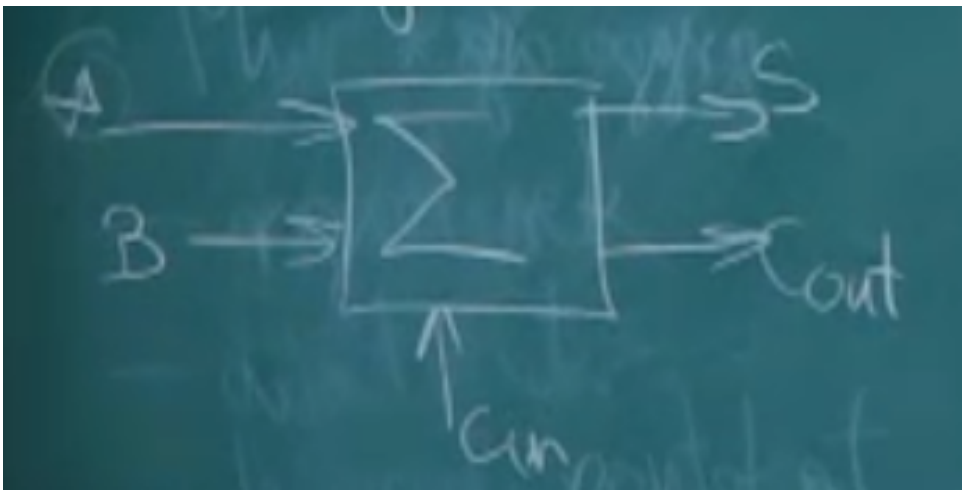


4.4. ábra. Félösszeadó

A carry bit meghatározásához egy AND kaput használ a félösszeadó (akkor van átvitel, ha mindkét bement 1), az ereményhez pedig egy XOR kaput.

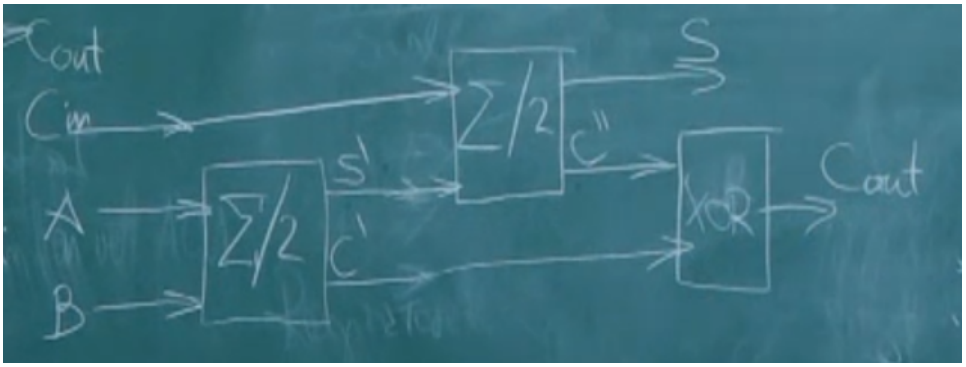
4.5. ábra. Félösszeadó kapujainak felépítése

Teljes összeadónál három bemenet van, hogy az előző összeadás carry kimenetét is figyelembe tudja venni.



4.6. ábra. Teljes összeadó

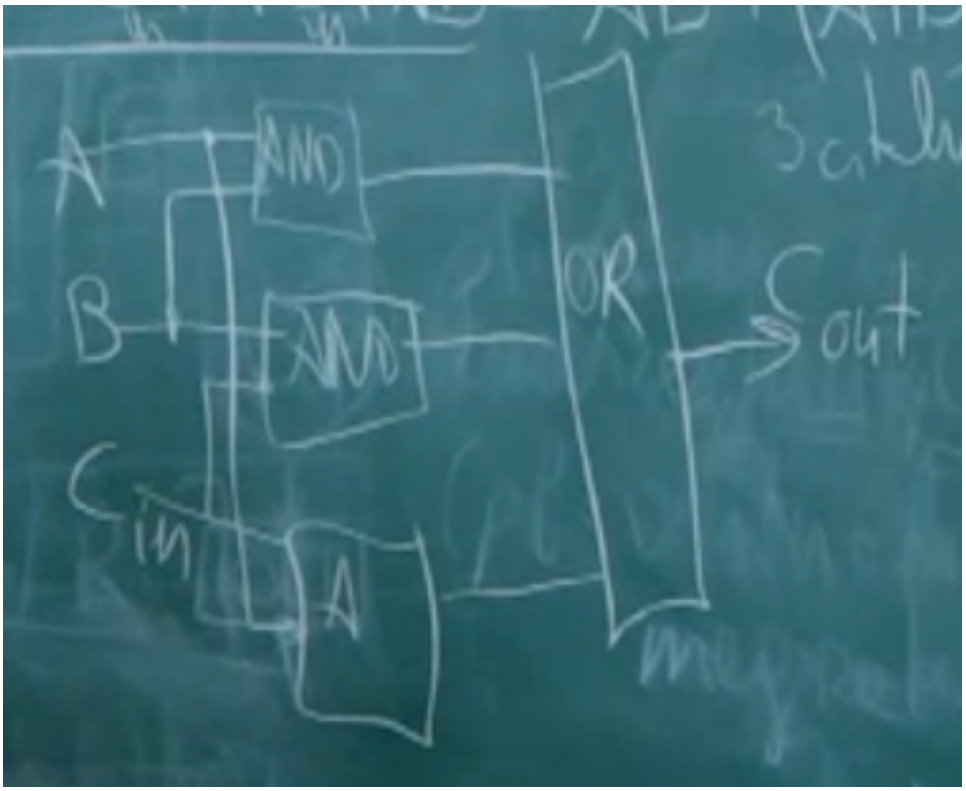
A teljes összeadó felépíthető félösszeadókból:



4.7. ábra. Teljes összeadó félösszeadókból

Ez 3 ciklusba kerül, a cél a folyamat gyorsítása. Az igazságtáblát felírva és a logikai függvényeket egyszerűsítve a következő kapukból építhető fel a teljes összeadó:

4.8. ábra. Teljes összeadó egyszerűsítése (eredmény kiszámítása)



4.9. ábra. Teljes összeadó egyszerűsítése (carry kiszámítása)

Ezzel a művelet már két óraciklus alatt is elvégezhető, azaz a teljesítmény 33%-kal növekszik.

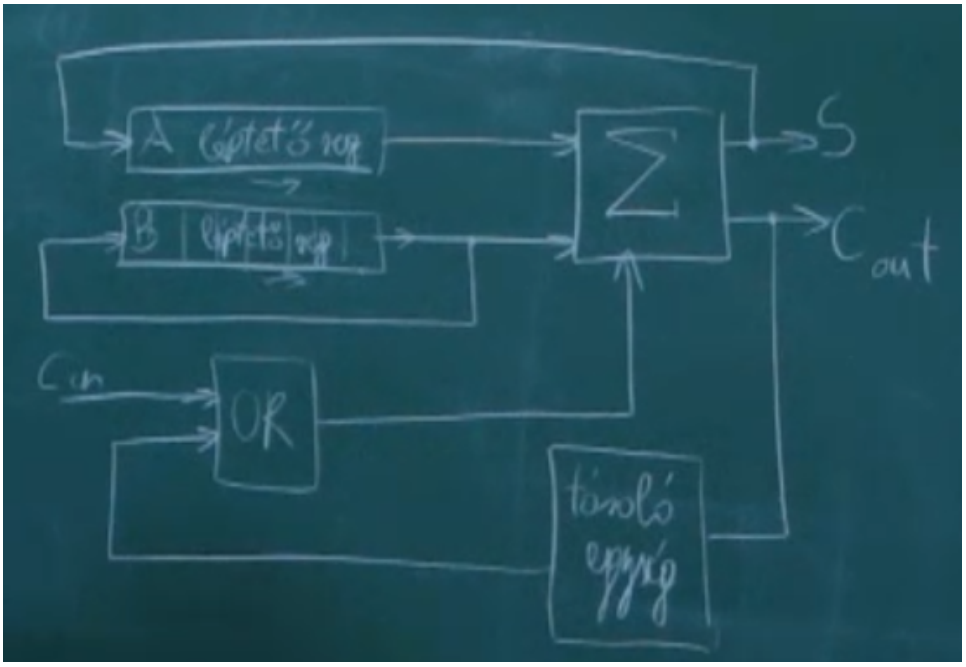
n-bites összeadó

A gyakorlatban viszont általában nem biteket, hanem bitsorozatokat kell összeadni. Ezeknek a bitsorozatoknak a tárolása regiszterekben történik (byte, szó, duplaszó). A feladat tehát 2 db n-bites regiszter

összeadása.

Az első ilyen megoldás az n-bites soros összeadó volt. Ez a különböző helyiértékeken lévő biteket egymás után, külön-külön adja össze. A carry-t is figyelembe veszi, ezt a flip-flopok tárolják. Képes két különböző hosszú szám összeadására, ilyenkor a rövidebb számot automatikusan kiegészíti 0 helyiértékekkel. A megvalósításhoz egy darab teljes összeadót használ, valamint bevezették a léptető regisztert.

A B léptető regiszter kimenete rá van vezetve a bemenetére. A teljes összeadó bemenete a két léptető regiszter kimenetére csatlakozik. Így a léptető regiszter kimenete minden alkalommal bekerül a teljes összeadóba és a B léptető regiszter bemenetére is. Ekkor minden helyiérték egyel jobbra lép, a B regiszter tartalma változatlan marad, az A regiszterbe pedig bekerül az összeadás eredménye az összeadó kimenetéről.

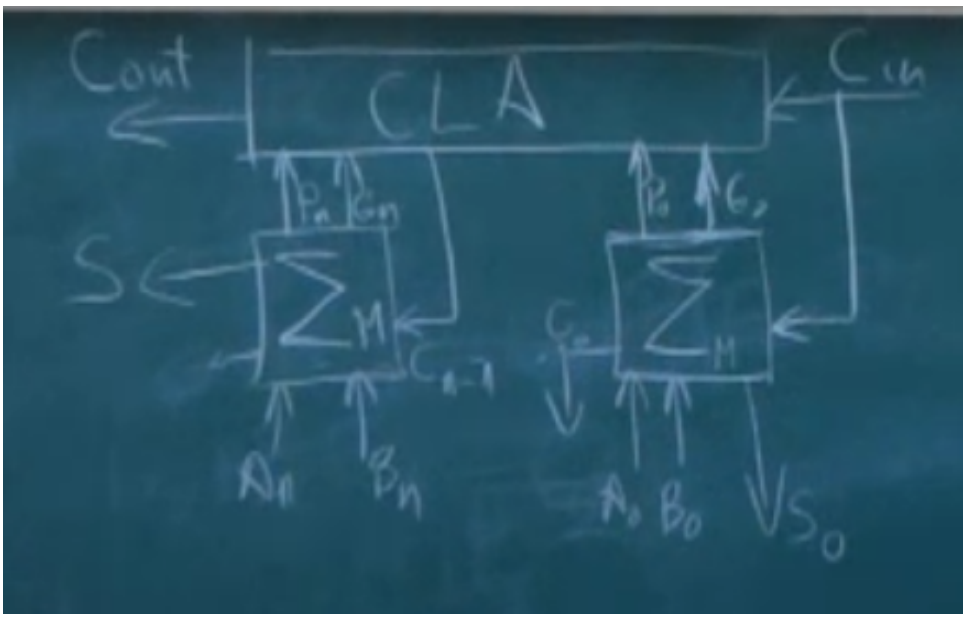


4.10. ábra. n-bites soros összeadó és a léptető regiszterek

A carry kezeléséhez a carry bementet először egy OR kapun kell átvezetni, így az előző összeadás carry-je és a bitenkénti összeadás carry-je is figyelembe van véve. A tároló egység, a flip-flop feladata, hogy a carry bemenetet csak az első összeadásnál vegye figyelembe.

Ezzel a módszerrel az összeadás megtörtént, de a soros végrehajtás miatt viszonylag lassú. Gyorsítási lehetőség az összeadás párhuzamosítása. Ehhez n darab 1 bites összeadóra van szükség, amik bemeneteire a két bemeneti regiszter megfelelő bitjei vannak rákötve. A teljes párhuzamos végrehajtást a carry bitek akadályozzák, mivel az n-edik bit előállításához szükség van az n-1-edik carry bit előállítására. A végrehajtási idő tehát nem sokat javult, viszont amennyiben nincs carry, úgy nagyon gyorsan előáll az eredmény. Tehát a végrehajtási idő hullámzó, a carry-től függ (ripple carry adder).

A további gyorsítás szimultán átvitelképzéssel lehetséges (carry lookahead - carry előrejelzés, más néven rekurzív módszer). A carry kimenetet adó logikai függvény vizsgálatával kiderül, hogy a végeredmény nem függ a bitenkénti carrytől. Az AB-t nevezzük generate-nek (G), az A+B-t propagate-nek (P). Ezt felhasználva 3 kapu segítségével előállítható az összes carry. Az ezt kiszámoló áramkör neve a CLA, azaz carry lookahead. A CLA bemenete az A és B és a bemeneti carry. Az összeadót úgy módosítjuk, hogy előállítsa P-t és G-t. A teljes összeadó carry kimenetét nem használjuk, hanem azt a CLA állítja elő.



4.11. ábra. A CLA-t használó összeadó felépítése

Ezzel az összeadás 3 ciklus segítségével megvalósítható. Korlátja, hogy egy OR kapu általában max 8 bemenetet kezel, tehát egy 32 bites összeadóhoz 4 db CLA-ra van szükség. Ezt segíthetjük egy plusz CLA-val, ami a CLA-k bemenő carry-jeit állítja elő.

Az összes mai összeadó ilyen rekurzív módszerek szerint működik.

Szorzás megvalósítása

A szorzás is összeadások sorozatára vezethető vissza, így az előző módszerekkel megvalósítható. Sok szorzásnál ez lassú, így itt is gyorsításra, egyszerűsítésre van szükség.

Az egyszerűsítéshez felhasználható az összeadás, invertálás és léptetés. Régen ez gépi kódból történt, de manapság szakosodott műveletvégző egységek segítik ezeket a műveleteket.

Egyik egyszerűsítési lehetőség a gyűjtő regiszter és a léptetés használata. A gyűjtőt a művelet előtt nullázzuk.

A szorzás eredménye általában több bit helyet foglal, tehát nem valószínű, hogy belefér a forrásregiszterbe. Kettes számrendszerben ha A szám n bit hosszú, B pedig m bit hosszú, akkor elmondható, hogy $A * B <= m + n$. Két 8 bites szám esetén pl. az eredmény 16 bit hosszú lehet.

Gyorsítási lehetőségek:

- bitcsoporttal történő szorzás: pl. $7 * 9 = 63$, azaz $0111 * 1001$ szorzásánál először 10-al, majd 01-el szorzunk. Ha a bitcsoport 00, a szorzandót nem kell a gyűjtőhöz adni, csak 2-t léptetünk balra. Ha 01, a gyűjtőhöz a szorzandó egyszeresét adjuk hozzá és kettőt léptetünk balra. 10-nál a kétszeresét adjuk hozzá, azaz balra léptetünk egyet, hozzáadjuk, majd balra léptetünk kettőt (ha folytatódik a szorzás). 11-nél a 3-szorosát kell hozzáadni, majd kettőt léptetni balra (ehhez általában a 4-szeresét adjuk hozzá és kivonjuk az egyszeresét).
- Booth-féle algoritmus: probléma, hogy ha a szorzóban sok 1-es van, akkor lassú a szorzás. Ennek a gyorsításához a szorzóhoz közeli számmal szorzunk, majd a különbséget kivonjuk. Pl. 62-vel szorzásnál 64-el szorzunk (6 léptetés balra), majd kivonjuk a szorzandó kétszeresét.

Osztás

Az osztás igényli a legtöbb időt, mivel bonyolult művelet. Különbség, hogy itt két kimenet van, az eredmény és a maradék, valamint kivételek is felléphetnek.

Lebegőpontos számok

A lebegőpontos számok szükségesek:

- a fixpontos számok értelmezési tartománya viszonylag kicsi
- fixpontos számoknál a pontosság is viszonylag kicsi

A lebegőpontos számokat 1985-ben szabványosították (IEE754). Formájuk: $M * r^k$, ahol M a mantissza, r a radix és k a karakterisztika. Fontos, hogy r megegyezzen az M számrendszerének alapjával. Az ábrázolásuk normalizált formátumban történik.