

A számítógépek fejlődése

Halmi Csongor
2006. október 3.

A számítógépek logikai képességei – vagyis feltételek kiértékelése és összekapcsolása – a Boole-algebrán¹ alapul.

Egy algebrát az (A, M) párral jelölünk, ahol A az algebra véges vagy végtelen alaphalmaza, M pedig a műveletek véges halmaza. Egy n -változós művelet az alaphalmazból vett $a_1, \dots, a_n \in A$ elemekhez rendel hozzá egy $a \in A$ elemet. Az a_1, \dots, a_n elemeket a művelet operandusainak, a hozzájuk rendelt a elemet pedig a művelet eredményének nevezzük.

Például a természetes számok alaphalmazán (A) az összeadás, a szorzás és a négyzetre emelés műveletekből álló (M) művelethalmaz egy algebrát alkot. A műveletek halmazát nem bővíthetjük a kivonással, mert az kivezetne a természetes számok köréből.

Véges alaphalmazú algebra lehet például a $(\{H, I\}, \{AND, OR, NOT, EXOR\})$ pár, ahol a H a Hamis, az I pedig az Igaz logikai értéket jelenti, és az AND, OR, NOT, EXOR műveleteket az alábbi művelet táblákkal definiáljuk:

| AND | H | I |
|------------|---|----|
| H | H | H* |
| I | H | I |

1. tábl.: Az ÉS művelet

| OR | H | I |
|-----------|---|---|
| H | H | I |
| I | I | I |

2. tábl.: A VAGY művelet

| EXOR | H | I |
|-------------|---|---|
| H | H | I |
| I | I | H |

3. tábl.: A KIZÁRÓ VAGY művelet

| NOT | H | I |
|------------|---|---|
| H | H | I |
| I | I | H |

4. tábl.: A NEM művelet

Az alaphalmaz a_1 és a_2 elemei között végzett m művelet eredménye úgy tudható meg, hogy kiolvassuk a megfelelő művelet tábla a_1 által jelölt sorának és a_2 által jelölt oszlopának találkozásánál található értéket. Például „H AND I” művelettel kapcsolatban az AND táblának a * jellel megjelölt cellájából olvasható ki, hogy az eredmény H.

Az AND, OR, EXOR, NOT műveletek magyar neve rendre ÉS, (MEGENGEDŐ) VAGY, KIZÁRÓ VAGY, NEM. Mint a táblázatokból is látszik, a NOT művelet egyváltozós (egyoperandusú), a többi pedig kétváltozós (kétooperandusú).

Az összes szóba jöhető algebra közül a Boole-algebra a legegyszerűbb, mert 2-nél kevesebb elemszámú alaphalmazzal nincs értelme dolgozni (1 elemű halmazban minden művelet eredménye ugyanaz az egyetlen elem lehet, üres halmaz esetében pedig még a művelet fogalmának sincs értelme). A számítógépek esetében részben ezért alkalmazzák a Boole-algebrát, részben pedig azért, mert a kettes számrendszer 0 és 1 számjegyei rendre megfeleltethetők a Hamis és az Igaz értékeknek.

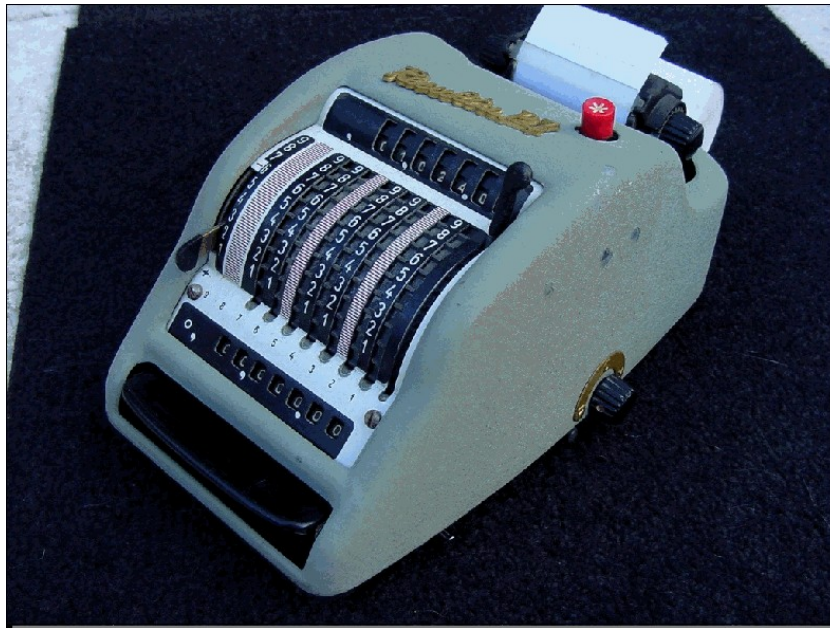
A számítógépek döntési képessége a Boole-algebrán nyugszik. A gép felépítéséhez olyan alkatrészeket kell megfelelő módon összekapcsolni, amelyek egy-egy Boole-művelet megvalósítására képesek. Az Boole-műveleteket megvalósító elemeket kapuknak nevezzük: ÉS-

¹ George Boole (ejts: búl) XIX. századi filozófus és matematikus, bővebben: <http://en.wikipedia.org/wiki/Boole>

kapu, VAGY-kapu, stb.. A számítástechnika fejlődése során különböző elemekből építették fel a szakemberek a gép hardverét. A fejlődés során a következő fejezetekben leírt mérföldköveket különböztetjük meg.

1 Mechanikus számoló- és számítógépek

Az első mechanikus összeadó gépet 1492-ben tervezte Leonardo da Vinci², és még a XX. század végén is sok magyar élelmiszerüzletben ilyenekkel számolták ki a pénztárosnők, hogy a vásárlónak összesen mennyit kell fizetnie. Az összeadást helyiértékeként különálló keskeny hengerek összekapcsolt rendszere végezte. A billentyűzeten helyiértékeként meg kellett adni, hogy milyen számjegy áll, majd a függőleges kar meghúzásával ezt a számot a gép hozzáadta a korábbi összeghez.

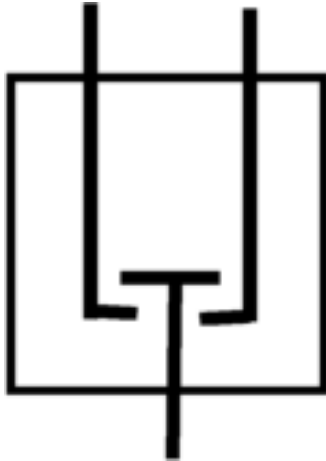


1. ábra: Mechanikus összeadó gép a XX. század második feléből. Forrás: <http://www.calculi.nl/>

Ezek a gépek informatikai értelemben véve nem tudtak számításokat végezni, csak összeadni (esetleg kivonni és szorozni) tudtak.

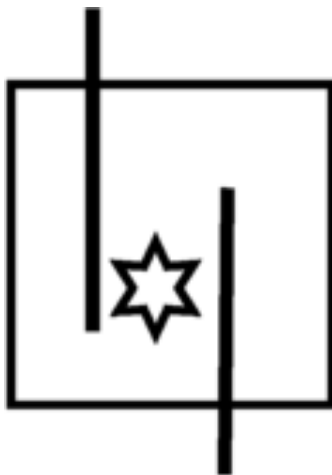
Számoló helyett *számító* gépeket is készítettek mechanikus alapon. „Állítólag” egy dél-amerikai ásatás során nagy számban kerültek elő olyan sok száz éves leletek, amelyek elefántcsontokból és növényi eredetű szálakból összeállított, Boole-műveletek elvégzésére alkalmas alkatrészeknek tűntek.

2 Forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_computing_2400_BC-1949



2. ábra: Mechanikus VAGY-kapu

A mechanikus VAGY-kapu felső részén akár az egyik, akár a másik, akár mindkét L alakú kallantyút megemelve az alsó T alakú kallantyú is megemelkedik, különben lent marad. Ez éppen megfelel a VAGY (OR) művelet műveleti táblájának, ha a „fent”-et tekintjük Igaznak, és a „lent”-et Hamisnak.



3. ábra: A mechanikus NEM-kapu

A mechanikus NEM-kapu lelke egy fogaskerék, amely a fenti rúd lenyomásakor a lenti rudat felhúzza és fordítja. Ez a viselkedés éppen megfelel a NEM művelet műveleti táblájának.

A következő összefüggések alapján az ÉS és a KIZÁRÓ VAGY művelet előállítható a NEM és a VAGY műveletből.

$$A \wedge B = \neg(\neg A \vee \neg B)$$

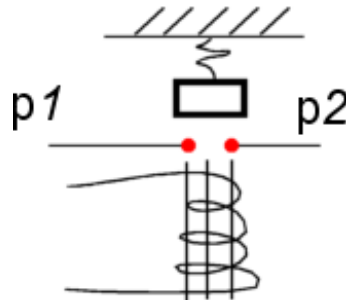
$$A \circ B = (A \wedge \neg B) \vee (\neg A \wedge B)$$

Az előbbi azonosság egy közismert De-Morgan azonosság, az utóbbi pedig azt fejezi ki, hogy a KIZÁRÓ VAGY művelet pontosan igaz, ha az A állítás teljesül és a B nem, vagy fordítva.

A Boole-algebra összes többi műveletének megvalósításához elég tehát a NEM és a VAGY műveletet elvégző elemeket megépíteni, minden más ezekből összeállítható.

2 Az elektromechanikus számítógépek

Az elektromechanikus számítógépek fő építőeleme a jelfogó, másik elterjedt néven a relé³. A relé egy kicsi elektromágnes, amely tekercsére váltakozó áramot vezetve, váltakozó mágneses tér indukálódik körülötte. A mágneses tér magához vonz egy kis vasdarabot, amely rugóra van felfüggesztve. Az elmozdult vasdarab az ábrán pirossal jelölt pontokon megtámaszkodik, és ezáltal létrejön a p1 és p2 pontok közötti elektromos vezeték. Röviden: a tekercsre áramot kapcsolva p1 és p2 között is folyhat áram.

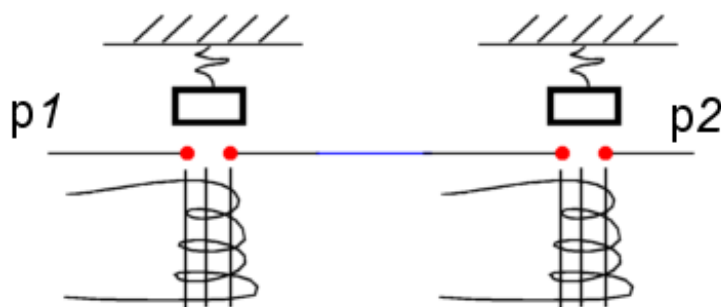


4. ábra: Relé

A relére úgy érdemes tekintenünk, mint egy olyan eszköz, amelynek egyik áramkörére (a tekercsre) kapcsolt árammal egy másik áramkört tudunk vezérelni, hogy azon folyjon-e áram. Ez a szemlélet könnyebbé teszi a későbbi eszközök megértését.

Ha nem a vasdarab alatt, hanem fölött helyezkedik el a p1 és p2 pontok közötti megszakított vezető, akkor éppen fordított működést kapunk: a relé tekercsére kapcsolt áram magához vonzza a vasdarabot, ami így megszakítja a p1 és p2 közötti vezetést, a relé kikapcsolása pedig zárja a p1-p2 közötti áramkört. A fordított relé tehát éppen a NEM kapunk felel meg.

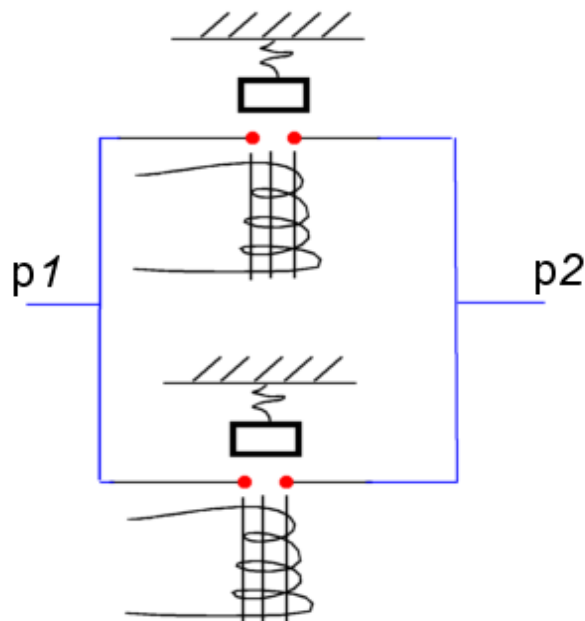
Két (nem fordított) relét sorba kötve ha csak az egyik vagy csak a másik relé zárja a saját áramkörét, akkor még nem lesz zárt az áramkör, hanem csak akkor, ha mindkettő zár. Ez éppen az ÉS kapunk felel meg.



5. ábra: A sorba kötött relék ÉS-kaput alkotnak

A két relét párhuzamosan kötve elég, ha az egyik zár (vagy ha mindkettő), akkor is záródik az áramkör – csak akkor nem, ha mindkét relé kikapcsolt állapotban van.

3 Bővebben: <http://en.wikipedia.org/wiki/Relay>



6. ábra: A párhuzamosan kapcsolt relék VAGY-kaput alkotnak

Természetesen a többi Boole-művelet előállítása a meglévőekből relék esetén is megvalósítható.

Minden egyes relé ki/be kapcsolásakor az elmozduló vasdarab kattató hangot ad, így a sok ezer reléből felépített számítógép nagyon hangosan zakatolt. Mérete szobányi volt, és a sok relé működtetése rengeteg energiát igényelt. A sok mozgó alkatrész miatt ma már nagyon lassúnak tekinthető, bár a maga korában a logarléces és egyéb számolási technikákhoz képest forradalminak számított. Az első relés számítógépet 1944-ben építette meg az IBM, 3.304 darab reléből. A monstrum 16 méter hosszú, kb. 2.5 méter széles volt és 5 tonnát nyomott.⁴

Ennek a számítógépnek az idejéből származik a ma is sokat használt „debug” kifejezés, amely programhibák keresését jelenti. 1947-ben történt a gép programozónőjével (!), hogy egy programja nem akart működni. A szokásos hibakeresés metodikája szerint ha egy program egy inputra nem az elvárt outputot adja, akkor megnézzük, hogy „félúton” jó-e a részeredmény. Ha igen, akkor ez után van a hiba, ha pedig már itt is rossz, akkor az ezt megelőző programrészben. Ennek megfelelően a programozó és kollégái le is szűkítették a hibát a program egyetlen utasítására, amely nem azt csinálta, amit kellett volna, például a 2+2 számításra 5-öt adott eredményül. Innentől kezdve a hibát nem a saját programjukban kellett keresni, hanem a hardverben, amit a művelet elvégzéséért felelős relé belsejében meg is találtak: a relébe beszorult egy bogár, így nem tudott nyitni/zárni. A bogár eltávolítása után a relé újra helyesen működött, a 2+2 eredménye már 4 volt, és a program végeredménye is helyes lett.

Bár a mai számítógépekben a ventilátorokon kívül nincs olyan mozgó alkatrész, amelybe bogár juthatna és ezáltal okozna hibát, a történet⁵ a tiszteletére a programokban való hibakeresést máig debug-olásnak, vagyis bogártalanításnak hívják.

3 Az elektronikus számítógépek

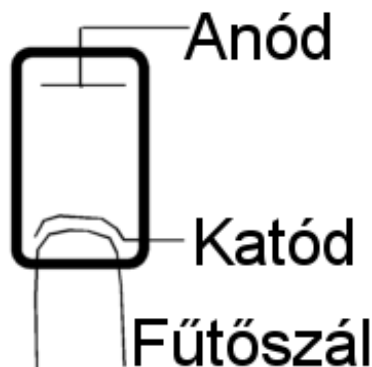
A műszaki fejlődés következő állomását az elektroncsöves számítógépek jelentik. Az elektroncső alapötletét Thomas Edison szabadalmaztatta 1880-ban, de az első teljesen elektroncső-alapú

4 Bővebben: http://en.wikipedia.org/wiki/Harvard_Mark_I

5 <http://en.wikipedia.org/wiki/Debug>

számítógép, az ENIAC csak 1946-ban készült el. Az ENIAC 18 ezer elektroncsövet tartalmazott, tömege 30 tonna volt, 160kW-ot fogyasztott óránként, és egy másodperc alatt 50 ezer műveletet tudott elvégezni.

Az elektroncső a villanykörtéhez hasonló légmentes üvegburában van. A sematikus rajzzal ellentétben a valós felépítése héj-szerkezetű: középen helyezkedik el a fűtőszál, amit körbevesz a többi fém alkatrész.



7. ábra: A dióda

A legegyszerűbb elektroncső kételektrodás: a neve dióda⁶. Működésének lényege, hogy a vákuumban a fűtőszál hevíti a katód fémét, ezáltal a kristályszerkezetéből a delokalizált elektronok kilépnek a fém felszínén kívülre. A katódra negatív töltést kapcsolva az elektronok eltávolodnak tőle (az elektronok is negatív töltésűek, az azonos töltések pedig taszítják egymást). Az eltávolodott elektronokat az anódra kapcsolt pozitív feszültség elektrosztatikusan szippantja magához. Összességében a katódtól az anódon keresztül folyik áram. Ellenkező irányba elektronáramlás nem lehetséges, ezért a dióda alkalmas váltakozó irányú áram egyenirányítására. Számítógép építésére azonban még nem.

A háromelektrodás elektroncső neve trióda⁷, amely a katód és az anód közé épített rácson tér el a diódától.



8. ábra: A trióda

A rácstra kicsi pozitív töltést vezetve segít megindulni az elektronoknak a katódtól. Amint azok a rácshoz közel érnek, fokozottan érvényesül az anód sokkal nagyobb pozitív töltése, így a rácson keresztül tovább vándorolnak az anód felé. Ha viszont a rácstra negatív töltést vezetünk, akkor az taszítani fogja a katódból kilépő elektronokat, így meg sem indulnak az anód felé. Röviden: a rácstra

6 Bővebben: <http://en.wikipedia.org/wiki/Diode>

7 Bővebben: <http://en.wikipedia.org/wiki/Triode>

kapcsolt pozitív illetve negatív feszültség segíti illetve blokkolja az elektronok anód felé haladását.

Más szavakkal a rács áramkörével tudjuk szabályozni az anód áramkörét. A relé esetében is ez a felállítás (a tekercs áramkörével szabályoztuk a másik áramkört) tette lehetővé azt, hogy a relét logikai kapukká kapcsoljuk össze. A relék esetében megismert összekapcsolási rendszer a triódákra is alkalmazható, így ezekből is építhető számítógép.

Az elektroncsövek kisebb teljesítménnyel is beérik, mint a relék, és mivel nincsen bennük mozgó alkatrész, ezért csendesek, nem kopnak el, és sokkal (!) gyorsabbak, mint a relé. Méretük azonban nem kisebb számottevően, így az elektroncsöves számítógépek is szobányi méretűek voltak.

A mai számítógépekben nem használnak elektroncsöveket, de a hifi technikában például igen. Egy elektroncsövekből felépített erősítő sokkal szebben szól, mint egy félvezető-alapú digitális high-tech „csodacucc”. Nem véletlen, hogy a komoly rock zenekarok Marshall erősítőiben is elektroncsövek izzanak.



9. ábra: csöves Marshall erősítő balra a háttérben (forrás: www.moby-dick.hu)