

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 21 (1993/1994)

Številka 3

Strani 148-153

Veselko Guštin:

ENIAC – PRVI ELEKTRONSKI RAČUNALNIK

Ključne besede: računalništvo.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/21/1174-Gustin.pdf>

© 1993 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

RAČUNALNIŠTVO

ENIAC - PRVI ELEKTRONSKI RAČUNALNIK

1. Uvod

Dolgo sem razmišljal, ali je tovrstni prispevek primeren za današnji čas. Ker se zelo radi vračamo k takšnim in drugačnim dogodkom iz preteklosti, menim, da je potreben pogled tudi v ta del zgodovine. Letos mineva 36 let od smrti madžarskega matematika Janosa Neumanna (1903 - 1957), bolj poznanega kot Johna von Neumanna, ki je veliko pripomogel k uspešni realizaciji matematičnih operacij v ENIACu. Kar zadeva samo delovanje računalnika, priznajmo, da bi nam tovrstni pristop tudi danes delal precejšnje težave. Načrtovalci vezij so se odločili za vzporedni način prenašanja impulzov in računanja z njimi. Le-to jim je omogočilo preslikavo "mehanskega števnika", kakršnega si je že pred več kot 150 leti zamislil Anglež Charles Babbage (1792 - 1871), v elektronski pomikalni števeni register. Sicer pa moramo vedeti, da je bil ENIAC plod tako teoretičnega kot strokovnega dela. Načrtovalci pa tudi znanstveniki so želeli svoja obširna znanja potrditi in preizkusiti. ENIAC ni bil samo model, ki bi doživel žalosten konec v kotu kakega laboratorija, pač pa stroj, ki so ga uporabljali še dobrih 5 let, čeprav bi ga danes uspešno nadomestil že nekoliko boljši žepni računalnik.

ENIAC danes uživa zasluženi počitek. Njegove dele lahko občudujemo po raznih muzejih, med drugim tudi v British Science Museum v Londonu.

Opisali bomo, kakšen je bil leta 1946 namen načrtovalcev prvega elektronskega računalnika ENIAC (elektronski numerični integrator in računalnik) in kakšne vrste problemov je znal reševati. Z gradnjo računalnika so začeli na Univerzi v Pensilvaniji v ZDA pod vodstvom Johna Presperja Eckerta in svetovanjem Johna Mauchlyja.

Odgovor je naslednji: ENIAC je reševal probleme, ki se jih je dalo spremeniti v niz preprostih računskih operacij - to je v končna zaporedja seštevanj, odštevanj, množenj, deljenj, kvadriranje in korenjenje. Tako je znal računati difference in integrirati. Znal je numerično reševati sisteme algebraičnih in transcendentnih enačb ter sisteme parcialnih diferencialnih enačb. Hitrost računanja je bila pri tem zelo pomembna, kajti veliko je problemov, ki jih je bilo možno hitro in preprosto formulirati, a se jih je dalo rešiti le z veliko truda. Diferencialne enačbe balistike projektila so že tak primer, saj je bil ENIAC prvotno načrtovan za reševanje prav tovrstnih enačb.

Žal nekaterih funkcij, ki rešijo te enačbe, ni moč preprosto matematično izraziti. Za uporabo jih lahko podamo le v obliki tabel, ki jih dobimo z eksper-

mentalnimi meritvami (na primer izstreljenih projektilov) ali pa z numeričnim reševanjem pripadajočih enačb.



Slika 1. Elektronski računalnik ENIAC

Numerična rešitev diferencialne enačbe je dala podatke o poti izstrelka v obliki tabele. Vsaka taka pot se je imenovala trajektorija. Izdelava ene željene poti izstrelka je zahtevala izračun nekaj sto trajektorij za različne začetne parametre (na primer hitrost in kot izstrelitve).

Tako je na primer specialni balistični elektro-mehanski računalnik, ki so ga imeli takrat na razpolago, izračunal 60- sekundno trajektorijo v dvajsetih urah. Če so uporabili diferencialni analizator (nekakšen elektronski analogni računalnik), so jo lahko izračunali v petnajstih minutah, ENIAC pa je to naredil v nekaj sekundah. Torej je znal izračunati trajektorijo hitreje, kot je projektil letel. Še več! ENIAC je bil veliko bolj natančen kot diferencialni analizator, saj je vrnil rezultat v obliki deset ali dvajsetmestnih števil. Bil pa je tudi 1000-krat hitrejši kot katerakoli takratna naprava, ki je računala z enako natančnostjo.

2. Navodila načrtovalcem vezij

Druga svetovna vojna je zahtevala gradnjo ENIACa s kar največ običajnimi elektronskimi vezji (komponentami) in s čim manj novostmi. Te zahteve skupaj z željami po veliki hitrosti, zmogljivosti in zanesljivosti računanja so imele za posledico izjemno obsežno elektronsko napravo. ENIAC je uporabljal 18000 elektronk, 70000 uporov, 10000 kondenzatorjev in 6000 relejev. Naprava je v dolžino merila 30,5 m, visoka je bila 3 m in široka 0,9 m. Potrebovala je 80 kW moči, od tega je bilo samo za hlajenje potrebnih 20 kW moči.

Za uspešno delovanje "izuma" z 18000 elektronkami so bile potrebne izredno zanesljive komponente. To je še kako veljalo za digitalni računalnik, saj bi okvara ene same elektronke povzročila napako ene števk in s tem tudi napačen rezultat. Načrtovalci ENIACa so se držali dveh načel, ki sta zagotavljali zanesljivost delovanja:

- Vezja so bila izdelana iz komponent, ki so bile izbrane ročno in izredno pazljivo. Bila so tudi skrbno testirana v območjih delovanja, ki so bila (običajno) pod predpisanimi vrednostmi. Tako je na primer naprava, ki je sicer delovala pri napetosti 6,3 V, bila priključena na 5,7 V. Največkrat se ni izklapljala, saj se je tako povečala njena življenjska doba. Napajalne (anodne) napetosti in zasloni so delovali le s četrtno prvotno predpisane moči.

- Uporabili so take metode, pri katerih na predpisano natančnost računanja ni vplivala raznolikost izbranih komponent. Tako, na primer, je bila izbira elektronk še posebno pestra. Notranje upornosti so se spreminjale tudi do $\pm 40\%$, zato so vse elektronke delale le kot stikala: ali so prevajale ali pa ne.

ENIAC je deloval kot sinhron sistem, ki ga je vodila centralna ura. Dopusčal je manjše časovne zamike, ki so bili posledica kasnitev različno dolgih povezav.

3. Vrste računalniških vezij

Pred seboj res nimamo načrtov vezij, ki so bila v ENIACu. Teh tudi ne potrebujemo za razumevanje osnov delovanja elektronskega računalnika. Sicer pa ENIACova vezja niso bila sestavljena po že znanih načrtih.

Na **prvem** mestu so bila vezja za pomnjenje. Tako digitalni podatki kot programski ukazi so morali biti shranjeni. Računalnik si je zapomnil številke, s katerimi je računal, in (številске) kode ukazov za operacijo, ki jo je bilo potrebno opraviti. V ENIACu so bile tri vrste pomnilniških vezij, ki so se med seboj razlikovala po hitrosti pisanja informacije vanje in branja le-te iz njih:

a) Najprej omenimo bistabilno pomnilno celico ali flip-flop. Informacija se je vanjo lahko vpisala in iz nje prebrala elektronsko, in to z veliko hitrostjo. Ta vezja pa so bila draga, saj so zahtevala tri elektroneke za bit.

b) Tabele funkcijskih vrednosti so bile shranjene z matrikami uporov, ki so bili povezani tako, da so hranili informacijo. To je bila veliko bolj ekonomična vrsta pomnilniškega vezja kot flip-flop. Ker je bilo potrebno ročno prevezovanje uporov, je bil zapis informacije počasen, medtem ko je bilo elektronsko čitanje relativno hitro. Funkcijske tabele so v ENIACu uporabljali za shranjevanje tabel množenja in vrednosti pomožnih funkcij.

c) Posebno obliko pomnilniškega vezja so predstavljala stikala in povezave. Enote ENIACa so bile povezane tako, da so izvajale razne operacije. Kako so se operacije seštevanje, odštevanje, množenje, deljenje, korenjenje in iskanje funkcijskih vrednosti v tabeli izvajale in v kakšnem vrstnem redu, je bilo odvisno predvsem od tega, kako so bile enote povezane in kako so bila postavljena razna stikala. Nastavljanje stikal je bilo ročno in zato počasno. ENIAC je bil najuspešnejši pri reševanju problemov, pri katerih so se operacije, potem ko smo s stikali nastavili njihov vrstni red, ponavljale. ENIAC so namreč programirali tako, da so z ustreznimi stikali nastavili zaporedje programskih ukazov.

Na **drugem** mestu so bila tista vezja v elektronskem računalniku, ki so bila sposobna seštevati desetiške številke. Seštevanje je bilo izvedeno z elektronskimi števniki - krožnimi pomikalnimi registri. Ti so vsebovali flip-flope, ki so bili povezani tako, da so šteli (pomikali) skupine impulzov, kjer je vsaka skupina pomenila desetiško številko.

Trdimo lahko, da so bila elektronska vezja za pomnjenje in seštevanje osnovni del računalnika. Ostala vezja so jih le krmilila, tako da smo z večkratnim seštevanjem dobili še odštevanje, deljenje in korenjenje. Krmiljenje so opravljala preprosta vezja, kot so "in", "ali" ter "ne". Logični operaciji "in" in "ne" so naredili z eno stikalno elektrono, operacijo "ali" pa z dvema.

4. Sestavni deli ENIACa

ENIAC je sestavljalo trideset posameznih enot, pri čemer je vsaka vsebovala od 500 do 1500 elektronk. Devet elektronskih enot je bilo takih, da so samostojno izvajale nekatere operacije, ostale enote pa so služile za krmiljenje. Predstavitev (programiranje) problema je seveda vplivala na izvajanje in število posameznih operacij. Enote so bile postavljene v obliki črke U. Povezane so bile s koaksialnimi kablji, ki so bili speljani pred enotami. Enajst

takih linij je od ene enote k drugi posredovalo "vlak" impulzov, ki je pomenil predznačeno desetiško števko. To so bile "podatkovne linije". Dodatna "programska linija" pa je povezovala prvo enoto z drugo, drugo s tretjo itd.

Enote, kot so hitri množilnik, delilnik in vezja za izračun kvadratnega korena, so izvajale aritmetične operacije s podatki, ki so jih dobile iz dvajsetih akumulatorjev. Vsak akumulator je bil sposoben hraniti desetmestno desetiško predznačeno število, sprejeti prav tolikšno število impulzov ter jih dodati k hranjeni vrednosti, ali pa oddati hranjeno število v obliki zaporednih impulzov. Seštevanje dveh števil je zahtevalo hkratno delovanje dveh akumulatorjev: prvi je pretvoril hranjeno desetiško število v zaporedni niz impulzov, ki jih je drugi sprejel po liniji ter jih dodal (prištel) k obstoječi vsebini. Seštevanje je trajalo samo $1/5000$ s. Perioda enega seštevanja, $200 \mu\text{s}$, se je imenovala "čas enega seštevanja" ali "seštevalni čas".

Akumulatorji so imeli vlogo tako seštevalnikov kot pomnilnih registrov, zato jih je tudi bilo toliko. Uporabljali so jih tudi množilniki, ki so v njih hranili vrednost množenca in množitelja ter vanje shranjevali (akumulirali) delne produkte. Delilniki in vezja za računanje korenov so v njih hranili imenovalce, števce, korene in kvociente. Operacija tabeliranja je pošiljala iz akumulatorja argument, vanj pa je sprejela funkcijsko vrednost. Tiskalnik je v akumulatorjih hranil število, ki ga je s pomočjo relejev zluknjal na trak.

Akumulator se je uporabljal tudi kot odštevalnik. Ker so njegova števna vezja delovala samo v eni smeri (niso mogla šteti, pomikati nazaj), se je odštevanje izvajalo tako, da so vezja štela le naprej, mimo ničle, do vrednosti, kamor naj bi števniki prišli, če bi šteli nazaj. Pri tem so si pomagali z zapisom števila v komplementu. Negativna števila so bila predstavljena kot komplement glede na število 10^{10} . Tako je bilo $-x$ zapisano kot $10^{10}-x$ s predznakom, ki je povedal, da je gre za komplement. Pri dvajsetmestnih številih se je komplement jemal od števila 10^{20} . Če je bil akumulator programiran tako, da je odšteval števila, je namesto števila pošiljal njegov komplement. Vse enote v ENIACu so bile programirane tako, da so lahko hranile pozitivna števila ali njihove komplemente.

Hitro množilno vezje je bilo sposobno zmnožiti dvojce 10-mestnih števil (pri čemer je bil zmnožek 20-mestno število) v 13 seštevalnih časih ali v 2.6 ms. Vezji za deljenje in korenjenje sta prav tako uporabljali akumulatorje. Do rezultatov sta prišli z večkratnim ponavljanjem odštevanja in seštevanja. Tako računanje je trajalo kar nekaj časa in je bilo odvisno od vrednosti števil. V povprečju je bilo potrebnih 125 seštevalnih časov oziroma 25 ms za deljenje dveh 10-mestnih števil.

Opisane enote so vsebovale še vezja za krmiljenje. Le-ta so imela določeno število programskih linij, ki so bile povezane s stikali za izbiro željene operacije. Tako je bilo, na primer, krmiljenje akumulatorja nastavljeno na "seštej in zbriši" ali pa na "sprejmi". Ko je po programski liniji prišel impulz, je zahteval, da enota operacijo (nastavljeno na stikalih) izvede ter ob koncu pošlje signal naprej. Izhodni impulz je potoval do krmilne enote, ki je poslala nov ukaz. Problem so ENIACu posredovali tako, da so povezali vhode z izhodi ter nastavili ustrezna stikala.

Enote ENIACa so delovale časovno usklajeno. Vsaka enota je bila krmiljena z nizom časovnih impulzov, ki jih je pošiljala centralna urina enota. Glavni razlog za tako krmiljenje je bila zanesljivost izvedbe operacije. Med prenašanjem impulzov od ene enote k drugi so se električni impulzi popačili po velikosti in zakasnili. Če bi taki impulzi potovali od enote do enote naprej, bi popačenje lahko resno ogrozilo zanesljivo delovanje.

Pri običajnem delovanju ENIACa je centralna ura stalno pošiljala impulze enotam računalnika, vrstni red izvajanja ukazov pa je krmilila programska enota. Zaradi zanesljivosti, iskanja okvar in preverjanja delovanja enote je bila ENIACova centralna ura sposobna oddati tudi en posamezen impulz ali pa niz impulzov za (eno) seštevanje.

4. Zaključek

Od začetka delovanja 15. februarja 1946 je ENIAC izračunal tabele neprecenljive vrednosti, tako na teoretičnem kot na uporabnem nivoju. Nedvomno je potrdil primernost uporabljene elektronike za računanje. Če odmislimo začetno poskusno obratovanje, je bila pogostost okvar le 2 do 3 ure na teden. Največ težav je povzročalo pregrevanje elektronk. Čeprav je bil ENIAC obsežen, so okvare zelo hitro odkrivali izurjeni operaterji.

ENIAC je združeval hitrost in zanesljivost računanja in je bil zmožen reševanja problemov v znanosti. Z njim se je začelo novo obdobje, obdobje elektronskih računalnikov.

Veselko Guštin