

Programiranje 1

2. predavanje

Saša Singer

`singer@math.hr`

`web.math.pmf.unizg.hr/~singer`

PMF – Matematički odsjek, Zagreb

Sadržaj predavanja

- Uvod u algoritme:
 - Pojam algoritma.
 - Primjeri algoritama.
 - Opis algoritma.
 - Zapis i izvršavanje algoritama.
 - Osnovna svojstva algoritma.
- Principi rada računala:
 - Što je računalo?
 - Instrukcije — operacije i podaci.
 - Osnovni dijelovi računala — ulaz, izlaz, memorija.
 - Izvršni dio računala — procesor.
 - Von Neumannov model računala.

Sadržaj predavanja (nastavak)

- Građa računala:
 - Memorija — bistabil, bit, byte, riječ.
 - Procesor — registri, aritmetičko–logička jedinica, upravljačka jedinica.
 - Ulazna jedinica, izlazna jedinica.

Informacije — odrada, kolokviji

Termini **odrade** dva predavanja: 16. 1. i 23. 1. 2015., su:

- **subota**, 11. 10., od 12–14 u (003),
- **subota**, 18. 10., od 10–12 u (003).

Programiranje 1 je u kolokvijskom razredu **F3**.

Službeni termini svih **kolokvija** su:

- **Prvi** kolokvij: **ponedjeljak**, 24. 11. 2014., u 15 sati.
- **Drugi** kolokvij: **ponedjeljak**, 2. 2. 2015., u 15 sati.
- **Popravni** kolokvij: **ponedjeljak**, 16. 2. 2015., u 15 sati.

Informacije — računi i prijava za zadaće

Ne zaboravite da treba:

- **preuzeti** korisnički račun u Računskom centru.
- Računi se “**preuzimaju**” **svaki dan**, od **12:30** do **14:30** sati.

Promijenite password!

Nadalje, treba:

- **obaviti prijavu** i, zatim, **potvrditi prijavu** u **aplikaciji** za tzv. “domaće zadaće”, na web-adresi

<http://degiorgi.math.hr/prog1/ku/>

Informacije — korektna prijava

Bitno: Prilikom prijave u aplikaciju za “ku”,

- svoje podatke trebate upisati korektno, što, između ostalog, znači i
- korištenje hrvatskih znakova u imenu i prezimenu!

Za početak, pažljivo čitajte upute na stranici za prijavu.

- Za svako od 6 polja koja treba popuniti,
 - dva gore, i još četiri malo niže — kod prve prijave,
- čim kliknete na polje,
 - uredno vam se pokaže uputa što treba upisati.

Zato, čitajte — prije popunjavanja i slanja!

Informacije — potvrda prijave, ispravci

Ako je **taj** dio **uredno** prošao, nakon kraćeg vremena,

- trebate dobiti **e-mail** na vašu adresu na **studentu**,
- u kojem piše **kako potvrditi** prijavu.

Kad to **uspješno** napravite, tek onda je prijava **gotova**.

Studenti koji su upisali “**cszdj**” varijantu imena i prezimena, ili imaju **problema** s **potvrdom** prijave

- neka se jave **e-mailom meni** na adresu

singer@math.hr

i napišu

- svoj **JMBAG** i **ispravno ime i prezime**.

Informacije — dodaci ovom predavanju

Na webu imate dva dodatka ovom predavanju:

- “Matematički” model računala — Turingov stroj,
- Stvarni “izgled” računala, s naglaskom na hijerarhijsku građu memorije u modernim računalima (tzv. “cache”).

Nije obavezno, ali isplati se pogledati — za “opću kulturu”.

Uvod u algoritme

Sadržaj

- Uvod u algoritme:
 - Pojam algoritma.
 - Primjeri algoritama.
 - Opis algoritma.
 - Zapis i izvršavanje algoritama.
 - Osnovna svojstva algoritma.

Pojam algoritma

Što je algoritam? Grubo rečeno:

- Algoritam = metoda, postupak, pravilo za rješenje nekog problema ili dostizanje nekog cilja.

Ovo nije precizna definicija u matematičkom smislu, već samo opis preko drugih, sličnih pojmova, pri čemu je “postupak” najbliži.

- Postupak asocira na konačan niz koraka koje treba napraviti za rješenje nekog problema.
- Metoda se kao izraz često koristi u matematici, ali, obično, uključuje i tzv. beskonačne “postupke” — koji tek na limesu daju rješenje (v. matematička analiza, numerička matematika).

Pojam algoritma (nastavak)

Zašto je bitno znati što je algoritam?!

- Osnovna zadaća: razvoj **efikasnih** i **točnih** algoritama.
- Intuitivno je jasno da **efikasno** znači **brzo**, a **točno** da je rješenje **blizu** “pravom” rješenju. Detaljnije — poslije.

Postoji i **precizna** matematička **definicija** pojma **algoritam**, ali ona nije sasvim jednostavna — potrebna je onima koji će se baviti **svojstvima** algoritama.

Budući da je cilj kolegija

- naučiti **koristiti** algoritme za rješavanje raznih problema, dovoljno je (umjesto definicije)
- **opisati** osnovna **svojstva** algoritama.

Primjer algoritma 1

Sva moderna tehnička pomagala imaju upute za **uporabu**, korištenje, rukovanje, instalaciju, ... ili, kako vam drago.

Primjer. Dojadilo mi je slušanje **zaštićenih** glazbenih CD-ova na računalu, jer:

- prvo se javi neki **odurni** “player”,
- a nakon toga počne **glazba** kôdirana u MP3 formatu **nevjerojatne nekvalitete** od **56 KB** u sekundi.

Prvo rješenje: tehničko i nije za javno predavanje.

Drugo rješenje: kupio sam **priglupu** glazbenu CD liniju! Inače se može dogoditi sličan problem kao i na računalu — da stvar **ne radi**. Recimo, takvi su CD-players za automobile.

Primjer algoritma 1 (nastavak)

I gdje je tu algoritam?

Što dolazi uz glazbenu liniju?

- **Upute** = kako **pospajati** sve razne dijelove, kablove i ostalo u funkcionalno radeću stvar!

Dakle, dotične **upute** su:

- **algoritam** za postizanje cilja = kako iz hrpe dijelova sastaviti **radeću** glazbenu liniju.

One “**druge**” upute — **upute za uporabu**, imaju smisla tek kad završimo s ovima za “**instalaciju**”!

Primjer algoritma 1 (nastavak)

To može izgledati ovako:

- Kabel **A** (slijedi sličica) treba izvaditi iz vrećice,
- utaknuti otraga u CD jedinicu u rupu **B** (vidi sličicu),
- pažljivo stisnuti konektore,
- zavinuti kabel,
- prisloniti ga na stražnju površinu CD-jedinice
- i na kraju ga (ipak) utaknuti u rupu **C** na pojačalu (nova sličica).
- ...

Sad se sličan postupak ponavlja jedno **desetak** puta!

Za **sat-dva**, možda linija i **proradi!**

Još primjera algoritama

Standardni primjeri algoritama:

- kulinarski recepti (pripravljanje jela),
 - pita od jabuka, muffini, ... (v. prilog pod pauzom),
- recepti za pripravu pića i koktela,
 - “bijeli medvjed”:
 - 1/2 ohlađenog pjenušca (šampanjca),
 - 1/2 ohlađene votke (dobre, bez metila),
 - “uštrcak” maraschina,
 - i oprez ... (upozorio sam vas ...),
- uporaba bilo kakvih aparata (izbor operacija, ...),
- rješavanje matematičkih zadataka!

Opis algoritma

Općenito, kako moraju izgledati upute i iz čega se sastoje?

• Opći izgled je nešto poput:

1. korak

2. korak

⋮

zadnji korak

Drugim riječima, algoritam se sastoji iz niza koraka koje treba izvršiti da bi se postigao cilj, odnosno, riješio problem.

Tih koraka, naravno, ima konačno mnogo.

• Svaki pojedini korak algoritma je instrukcija ili naredba (može i akcija) koju treba napraviti (izvršiti).

Zapis i izvršavanje algoritama

Uobičajeno, instrukcije se

- pišu jedna ispod druge i
- izvršavaju tim redom kojim su napisane.

Ova “očita” pravila vrijede i u programiranju!

Ipak, postoje i instrukcije koje

- mijenjaju standardni redoslijed izvršavanja.

Primjeri:

- ako se dogodi “to i to”, onda otiđi na korak “taj i taj”, ili
- ponovi “neke korake” sve dok je ispunjen uvjet “taj i taj”, ili
- ponovi “neke korake” određeni broj puta.

Primjer — zbrajanje prirodnih brojeva

Postupak zbrajanja prirodnih brojeva “na ruke”:

- napisati brojeve jedan **ispod** drugog, tako da znamenke **iste** težine budu u **istom** stupcu, tj. poravnato **desno**;
- sa zbrajanjem se **započinje** s **desne** strane;
- **zbrajaju** se znamenke u **istom** stupcu i zbroju se **pibraja** eventualni **prijenos**; **prijenos** je na **početku** jednak **nuli**;
- **ako** je zbroj znamenki u stupcu ≤ 9 , **onda** ga **zapisujemo** i **prelazimo** na sljedeći stupac;
u **protivnom**, **zapisujemo** znamenku **jedinica**, a **prijenos** postaje znamenka **desetica**;
- postupak se **ponavlja sve dok** ne **zbrojimo** znamenke u **krajnjem lijevom** stupcu i **zapišemo** taj zbroj.

Vrste instrukcija

Grubo govoreći, postoje **dvije** vrste instrukcija za **kontrolu** redoslijeda operacija, tj. izvršavanja ostalih instrukcija:

- **Uvjetne** = izbor jedne od mogućih **alternativa**.
- **Petlje** = **ponavljanje** nekog bloka naredbi pod kontrolom **uvjeta** ili **brojača**.

Ovakve instrukcije su **ključne** u programiranju.

Razlog?

Bez petlji, programiranje **nema smisla**. Poanta:

- Program je “**kratak**”, a izvršavanje “**traje**”, tj. dijelovi programa se **ponavljaju** puno puta.
(Računalo je “glupo, ali brzo”.)

Izgled instrukcije

Sve instrukcije imaju sličan oblik i sastoje se iz 2 dijela:

- što treba napraviti = operacija,
- nad čim to treba izvršiti = objekt nad kojim se obavlja operacija.

Primjer. Izvadi kabel (sličica) iz vrećice.

Isti oblik imaju i instrukcije na računalu:



Primijetite da se ista operacija

- može obavljati na(d) raznim podacima.

Opis algoritma — općenitost

Algoritam bi trebao raditi nad “općenitim” podacima, tj. bitno je samo da se stalno radi o istom postupku.

- Konkretno podatke zadajemo svaki put kad izvršavamo algoritam, tj. možemo ih mijenjati.

Na primjer, puno je bolje napisati algoritam koji nalazi rješenja “opće” kvadratne jednadžbe

$$ax^2 + bx + c = 0,$$

za proizvoljne $a, b, c \in \mathbb{R}$, uz $a \neq 0$, nego onaj koji nalazi rješenja “konkretno” jednadžbe

$$x^2 - 3x + 2 = 0.$$

(Rješenja su, očito, 1 i 2.)

Opis algoritma (nastavak)

U slučaju **kvadratne** jednadžbe, rješenja su dana formulom:

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}.$$

Primijetite da **izračunata** rješenja mogu biti **kompleksna**.

🔴 Što su ovdje **instrukcije**?

Napomene o **točnosti** (bolje rješenje — kasnije)!

Rješivost jednadžbi **višeg** stupnja:

- 🔴 Do stupnja **4** ide “formulama”,
- 🔴 preko **5** — **nema** općih formula, tj. moramo koristiti **približne** numeričke metode.

Svojstva algoritma

Dakle, **algoritam** izvodi neke **operacije** nad nekim **podacima**, u obliku niza **koraka**, i daje neko **rješenje**.

Gruba skica:



Osnovna **svojstva** algoritma su:

- ima (ili nema) **ulazne** podatke,
- ima **izlazne** podatke,
- završava** u **konačnom** vremenu,
- uvijek je **nedvosmisleno definiran**,
- mora biti **efikasan**, tj. završiti u **razumnom** vremenu.

Ulaz/izlaz

Ulaz:

- Svaki algoritam ima 0 ili više, ali konačno mnogo ulaznih podataka (inače ih ne možemo ni pročitati).

Ako ih ima, njih moramo zadati/izabrati iz neke dozvoljene klase ulaznih objekata.

Algoritmi s 0 ulaza nisu jako česti, ali ima ih (obično, baš u matematici). Opisuju fiksni postupak.

- Recimo: provjeri je li 327 prost broj (i, je li?), ili riješi konkretnu kvadratnu jednadžbu.

Ako algoritam ima više dozvoljenih objekata na ulazu, kažemo da je općenit, jer rješava cijelu klasu problema.

- Recimo: kvadratna jednadžba s općim a , b i c .

Ulaz/izlaz (nastavak)

Izlaz:

- Svaki algoritam **mora** imati **bar jedan** izlaz, jer inače nije ostavio trag svog izvršavanja.

To je traženo “**rješenje**” našeg problema.

Napomena. Postoje programi koji se “**stalno vrte**”, **bez izlaza**. Njih zovemo **proces**. Na primjer, operacijski sustav računala.

Ova prva **dva** svojstva pričaju o objektima na **ulazu** i **izlazu**, ali **ništa** ne kažu o tome **kako** se iz **jednog** dolazi do **drugog**.

Ostala svojstva nešto govore o “**crnoj kutiji**” na ranijoj skici



Konačnost

Konačnost:

- Svaki algoritam **mora** završiti u **konačno** mnogo koraka, za **svaki** dozvoljeni ulaz.

U programu uvijek treba **provjeriti** je li ulaz **korektno** zadan.

- Na primjer, u kvadratnoj jednadžbi, koeficijent a može biti 0 . U tom slučaju, jednadžba **nije kvadratna**, a u formuli za rješenje pojavit će se **dijeljenje s 0!**

Savjet. U praksi treba predvidjeti sva moguća korisna **ograničenja** ulaza i **ugraditi** ih u program.

- Na primjer, program koji učitava temperaturu T **vode** u nekoj posudi, trebao bi **provjeriti** je li $0 \leq T \leq 100$.

Brojevi u prirodi imaju **jedinice** — ovdje je T u $^{\circ}\text{C}$.

Definiranost i nedvosmislenost

Kad projektiramo algoritam, **ne znamo** odmah na početku

- od kojih se **koraka** sastoji **čitav postupak** za rješanje problema.

Obično se problem **rastavi** na nekoliko **većih** cjelina, koje rješavamo pazeći na **međuviznost** potproblema.

- Ako su te cjeline **prevelike** za izravno rješavanje, one se mogu **rastavljati** na još **manje** dijelove, ...

Ova metoda zove se **metoda postupnog profinjavanja** (engl. stepwise refinement).

Dokle treba postupno profinjavati?

- Ovisi o **izvršitelju** algoritma — **koje instrukcije** on “prepoznaje”, u smislu da ih **može** ili **zna izvršavati**.

Definiranost i nedvosmislenost (nastavak)

Definiranost i nedvosmislenost:

- Algoritam se sastoji od niza **osnovnih** (elementarnih, primitivnih) instrukcija, koje moraju biti **jednoznačno** i **nedvosmisleno** definirane za izvršitelja algoritma.

Primjer. Ja volim tropetinsku pitu od jabuka ($\frac{3}{5}$ jabuka i $\frac{2}{5}$ tijesta).

Ako je moja “bolja polovica” kod kuće, onda će moja molba “**Napravi mi pitu od jabuka**” biti uslišena.

- Za nju je pravljenje pite od jabuka **elementarna instrukcija**, jer je ona dovoljno moćan izvršitelj.

Dakle, za **moj** algoritam “kako se dočepati pite” to je **elementarna** instrukcija.

Definiranost i nedvosmislenost (nastavak)

Naravno, postoji i **lošije** rješenje (po mene).

Ako ona **nije** u blizini, a ja ipak želim pitu od jabuka, onda je

- 🕒 instrukcija “**ispeci pitu od jabuka**” za mene **presložena**,
- 🕒 pa moram zaviriti u **kuharicu**, gdje su dane “**jednostavne**” instrukcije za pravljenje pite (vidi prilog).

Kad za rješavanje problema koristimo **računalo**, potrebno je znati

- 🕒 što ono “**zna**” i **može** napraviti,
- 🕒 tj. što su **elementarne** instrukcije — **operacije** i **podaci**.

Za zapisivanje tih algoritama postoje **jezici** ključno određeni “snagom” računala (poput **C-a**).

Efikasnost

Efikasnost:

- Algoritam mora završiti u **razumnom** vremenu, što je bitno **jači** zahjev od **konačnosti**.
- Recimo, **500** godina **nije** razumno vrijeme!

A, ima li takvih algoritama? **Ima!**

- Tzv. **NP–potpuni** problemi, za koje se **ne zna** postoje li **efikasni** algoritmi. (Otvoreni problem “**P = NP?**”.)
- **Primjer.** Problem trgovačkog putnika (**TSP**).

Napomena. Postoje problemi za koje **ne postoji** algoritam za njihovo rješenje — tzv. **algoritamski nerješivi** problemi.

Primjer. Popločavanje ravnine (skiciraj).

Principi rada računala (Građa i funkcioniranje)

Sadržaj

- Principi rada računala:
 - Što je računalo?
 - Instrukcije — operacije i podaci.
 - Osnovni dijelovi računala — ulaz, izlaz, memorija.
 - Izvršni dio računala — procesor.
 - Von Neumannov model računala.
- Dodatak:
 - Turingov stroj — matematički model računala.

Što je računalo?

Što je računalo?

- Računalo = stroj za izvršavanje algoritama.

Prisjetimo se općeg oblika instrukcija:

ŠTO	S ČIM
-----	-------

što = operacija, s čim = podatak ili operand.

Operacije koje računalo “zna” izvršiti su

- osnovne strojne instrukcije.

Podaci s kojima “zna” raditi su

- osnovni ili elementarni podaci.

Grada i funkcioniranje računala

Želja: imati računalo koje dozvoljava, tj. zna izvršiti

- “složene” instrukcije na “složenim” podacima.

Problem je čisto tehnološki: kako to brzo realizirati?

- Zbog toga postoje ograničenja koja diktiraju opći izgled današnjih računala.

Prije opisa, jedno prirodno pitanje:

- Zašto matematičar uopće mora nešto znati o principima rada i građi računala?

Odgovor je jednostavan, a izlazi iz svrhe/cilja:

- Zato da bi ih mogao efikasno koristiti, tj. pisati brze i točne algoritme (ograničenja proizlaze iz fizičke građe).

Ulaz, izlaz, memorija

Budući da **algoritam** ima **ulaz** i **izlaz**, mora to imati i **računalo**.

- **Ulazni dio**: **čita** podatke s nekog medija (ulaz algoritma).
- **Izlazni dio**: **piše** podatke na neki medij (izlaz algoritma).

Algoritam izvršava neke **instrukcije** nad **podacima** koje je učitao, tj. iz njih pravi **nove podatke**, koje može više puta koristiti u sljedećim instrukcijama, i tako redom ...

Prema tome, računalo mora moći te **podatke** negdje **spremiti**.
Taj dio računala je

- **memorija** — u koju računalo može **spremiti** neke podatke i iz nje može **čitati** te podatke.

O tehničkoj realizaciji i izgledu memorije — malo kasnije.

Izvršni dio računala

Naravno, računalo mora imati i onaj “ključni” komad, tzv.

- izvršni dio — koji izvršava instrukcije nad podacima.

Pitanje: A kako “zadajemo” instrukcije, odnosno, algoritam?

Tu se, i u teoriji i praktično, javlja bitna dilema:

- treba li nam poseban stroj za svaki algoritam posebno,
- ili stroj opće namjene, koji izvršava razne algoritme?

Poseban stroj izvršava samo jedan fiksni algoritam koji je “tvrdo” ugrađen u arhitekturu stroja (tzv. “firmware”).

- Takav stroj nije besmislen. Ako malo šire gledamo, to su upravljački sklopovi u raznim uređajima.

Računalo opće namjene — spremanje algoritma

Računalo **opće namjene** je bitno **složenije**, jer s **algoritmima** mora postupati **slično** kao s **podacima**:

- svaki algoritam mora **učitati**, **spremiti** i **izvršiti**.

Takvo računalo **stalno** izvršava jedan **meta-algoritam** (jer se stalno vrti — ne završava izvođenje sve dok ne ugasimo stroj).

- To je ono što obično zovemo **operacijski sustav**.

Pitanje: **Gdje** se **spremaju** algoritmi, odnosno, programi?

Mogli bismo imati **posebnu** memoriju za programe. Na pr.,

- matematički model računala — **Turingov stroj**, ima posebni **upravljački** modul koji “sadrži” algoritam, a “obična” memorija je **traka** (v. dodatak).

von Neumannov model računala

Međutim, **nema** potrebe za **odvojenim** memorijama, pa se

- **programi**, odnosno, **algoritmi** spremaju u **istu memoriju** kao i **podaci**,
- a **upravljački** dio računala brine o tome “što je gdje”.

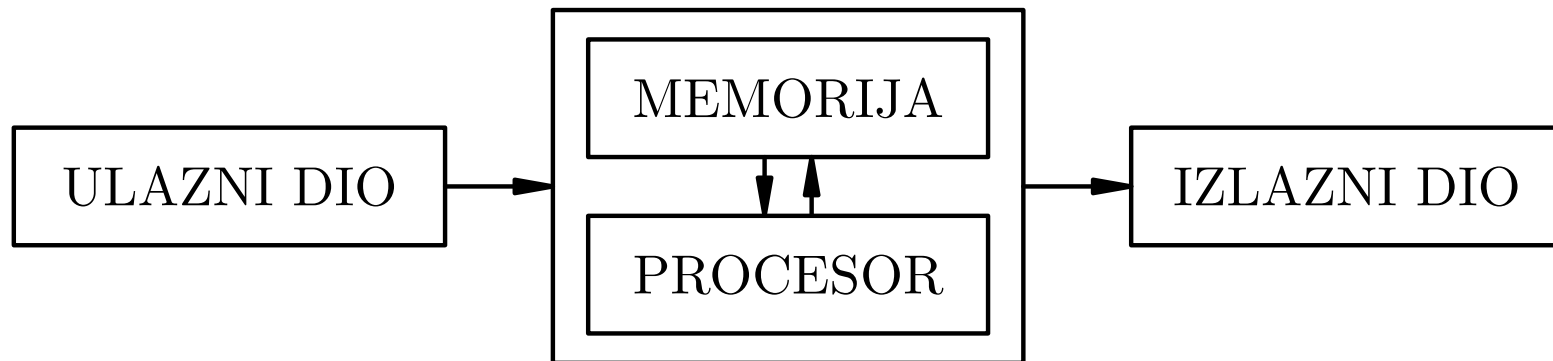
To je **ključna** stvar **von Neumannovog modela** računala.

- **Ideja** je nastala početkom **četrdesetih** godina prošlog stoljeća, a objavljena je tek nakon 2. svjetskog rata.
- Za vrijeme rata poslužila je kao podloga za gradnju **prvih** računala **opće namjene**.
 - Svrha: računanje balističkih tablica (posebno za brodove), i jasno je da je bila strogo čuvana tajna.

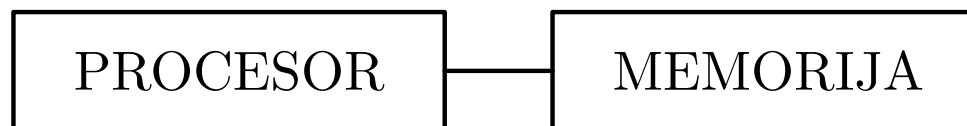
Sva moderna računala **bazirana** su na tom modelu.

von Neumannov model računala (nastavak)

Sasvim općenito, ako **izvršni** dio računala zovemo standardnim imenom **procesor**, onda shematski **model računala** izgleda ovako:



Slika **bitnog** dijela **računala** je:



Kako izgleda i funkcionira taj dio — više u nastavku.

Građa računala

(Osnovi dijelovi računala)

Sadržaj

- Građa računala:
 - Memorija — bistabil, bit, byte, riječ.
 - Procesor — registri, aritmetičko–logička jedinica, upravljačka jedinica.
 - Ulazna jedinica, izlazna jedinica.

Memorija — bistabil i bit

Memorija računala sastoji se od osnovnih elemenata koje zovemo bistabili.

- Bistabil može biti u (jednom od) 2 stabilna stanja ($BI = 2$).

Stabilno stanje? Ako je element u jednom od stanja, on će ostati u tom stanju sve dok ne uložimo energiju da se to stanje promijeni u drugo stanje.

Matematički rečeno, količina informacije koju možemo spremiti (pohraniti) u takvom elementu je

$$1 \text{ bit} = 1 \text{ binarna znamenka.}$$

Zato se ta dva stanja uobičajeno i označavaju binarnim znamenkama 0 i 1.

Memorija — malo povijesti

Nekad, u doba ranih računala (1960-ih) bistabil se realizirao pomoću feritnih jezgrica.

- Feritne jezgrice sastojale su se od sitnih željeznih prstenova kroz koje je prolazila žica.
- Puštanje struje u jednom ili drugom smjeru rezultiralo je magnetizacijom te jezgrice u jednom od 2 smjera.

Danas se memorija izrađuje od sitnih tranzistora koji rade kao elektronički prekidači, po principu

- ima struje — nema struje,
- tj. opet imaju 2 stanja.

Sutra ... Tko zna?

Memorija — bitovi i logičke operacije

Osnovne logičke operacije ne, i, ili na pojedinim bitovima realiziraju se tzv. logičkim sklopovima.

Uočite da logičke operacije “rade” isto kao i aritmetičke operacije na binarnim znamenkama 0, 1:

- ne — komplement, ili $0 \leftrightarrow 1$, ili $1 - \text{operand}$,
- i — množenje,
- ili — zbrajanje.

Kad bitove organiziramo u veće cjeline (na primjer, dogovor prikaza cijelih brojeva binarnim znamenkama),

- pomoću takvih logičkih sklopova mogu se realizirati i osnovne aritmetičke operacije na brojevima.

(Zbrajač i slični “elektronički sklopovi”.)

Memorija — zašto bitovi?

Čisto tehnički, tu postoje **2 bitna** ograničenja:

- **Nemoguće** je napraviti **brzi** stabilni element koji bi imao **više** od **2** stabilna stanja.

- Bilo je nekih pokušaja s **3**,

- a cijela stvar je počela **mehanički** s **10**.

No, to je **presporo**. Zato su računala “**binarna**”.

- **Brzina svjetlosti** je, trenutno, **fundamentalno** ograničenje brzine računala.

- **Minijaturizacija** — **130 nm, 90 nm, 65 nm, 45 nm, ...** tehnologije, uglavnom, služi **povećanju** brzine.

Tu smo stigli **blizu granice**, s današnjom tehnologijom.

Memorija — “usko grlo” računala

Brzina svjetlosti diktira

- brzinu upravljanja i izvršavanja operacija u računalu (puštanje struje kroz vodiče, a onda sve ovisi o tome jesu li prekidači otvoreni ili ne).

- Logički sklopovi u procesoru su još relativno brzi.

- Na primjer, standardni PC procesori rade na frekvencijama od preko 3 GHz.

Međutim, najveća frekvencija je oko 3.8 GHz i tu stoji već neko vrijeme. (Tzv. Mooreov zakon više ne vrijedi.)

- Daljnji napredak u snazi procesora ne ide ubrzanjem, nego paralelizacijom (Dual core, Quad core, ...).

Memorija — “usko grlo” računala (nastavak)

Kod **memorija**, situacija je **kompliciranija**, jer je bistabilu potrebno neko **vrijeme** za **promjenu** stanja iz jednog u drugo.

- To **vrijeme** je ključno **usko grlo** arhitekture svih modernih računala.
 - Na primjer, **brze** memorije rade na frekvencijama od preko **1 GHz** (i to raznim trikovima), ali, zasad, **nisu stigle** do **2 GHz**.
- Ova **razlika** u brzini **procesora** i **memorije** rješava se na **dva** načina:
 - **paralelizacijom** — podjelom na više “chipova”,
 - **hijerarhijskom** građom cijele memorije u računalu.

Memorija — organizacija i izgled

Slično Turingovom stroju, osnovni elementi memorije su bitovi, ali memorija:

- nije linearna (poput trake), već je pravokutna (2-dim.),
- i nije beskonačna, nego konačna (pa nije potrebno imati prazni simbol koji označava kraj trake).

Zašto pravokutna organizacija memorije? Funkcionalno,

- 1 bit je premala količina informacije za smislenu obradu.

Zbog toga se bitovi organiziraju

- u veće cjeline s fiksnim brojem bitova.

Svaku takvu cjelinu zovemo riječ memorije, a broj bitova u riječi je duljina riječi.

Memorija — organizacija i izgled (nastavak)

Svrha: Riječ je osnovna cjelina za smisleni podatak.

- Takve veće cjeline prikazuju potrebne vrste podataka i na njima, kao cjelinama, možemo izvršavati pripadne operacije i to brzo — na nivou arhitekture računala.

Koliko bitova čini jednu riječ?

- Značenje pojma riječ se mijenjalo razvojem računala. Prikaz te povijesti — malo kasnije.

Nekad je riječ bila cjelina bitova predviđena za prikaz cijelih brojeva, ili (još bolje), za prikaz strojnih instrukcija i adresa.

Danas, gotovo univerzalno, riječ je cjelina bitova predviđena za prikaz jednog znaka, tj. 1 riječ = 1 Byte = 8 bitova.

Memorija — organizacija i izgled (nastavak)

Memorija je linearni niz riječi, a svaka riječ

- ima svoju adresu, tj. poziciju ili mjesto u nizu.

Slična organizacija vrijedi i za strukturu podataka koju zovemo niz ili polje:

- to je konačni uređeni niz podataka istog tipa, a pristup pojedinim podacima je moguć preko indeksa u nizu.

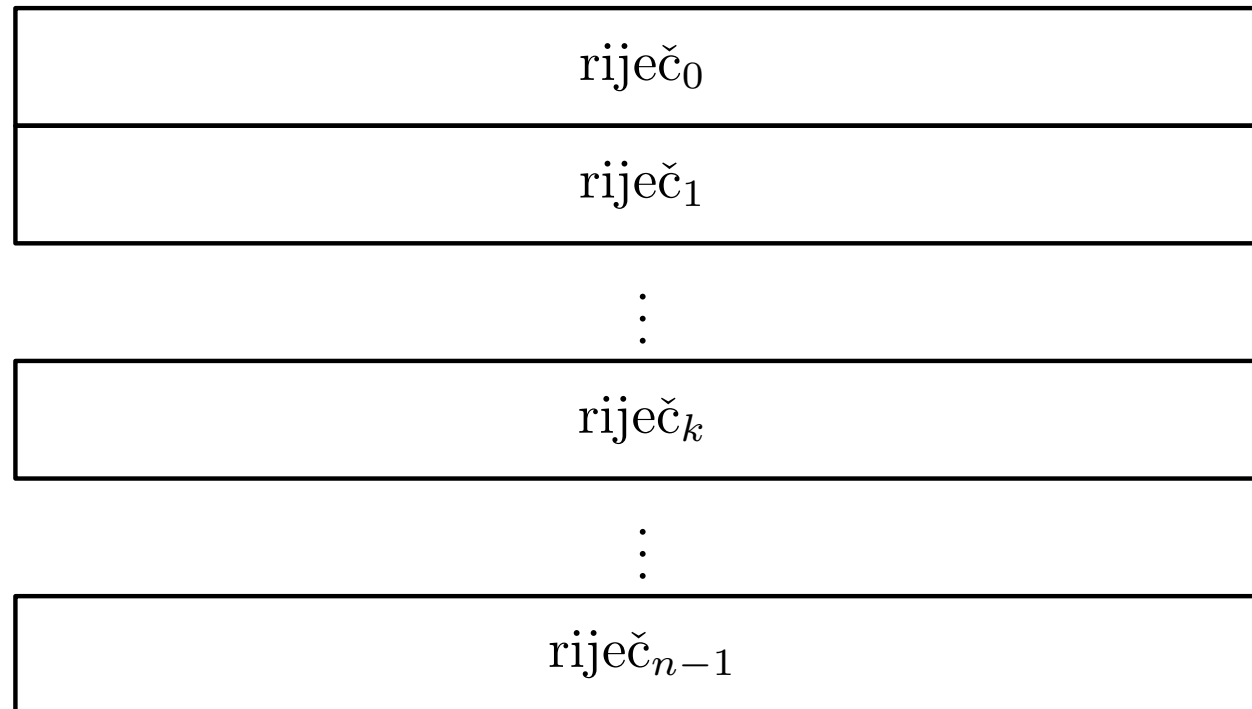
Matematički gledano, niz od n članova je uređena n -torka x_1, x_2, \dots, x_n .

Razlika obzirom na matematičku definiciju:

- brojanje pozicije ne počinje s 1, nego s 0, jer
- adresa neke riječi u nizu označava koliko je ta riječ “odmaknuta” od početne riječi. Isti princip je u C-u!

Memorija — organizacija i izgled (nastavak)

Skica memorije s n riječi (odnosno, n byteova) izgleda ovako:



Kažemo da se riječ _{k} (odnosno, byte _{k}) nalazi na k -tom mjestu ili da se nalazi na adresi k .

Memorija — adresa i sadržaj

Dakle, svaki **podatak** u **memoriji** računala ima 2 bitna dijela:

- **adresu** — mjesto gdje je spremljen,
- **sadržaj** — vrijednost podatka spremljenog na toj adresi, tj. kako se interpretiraju pripadni bitovi.

Pristup svakom podatku ide preko **adrese** tog podatka, tj. preko njegove pozicije u memoriji. Obično još kažemo da

- **adresa** “**pokazuje**” na taj podatak u memoriji.

Ovo je **ključno** za razumijevanje rada računala:

- računalo vidi bilo koji **podatak** kao “**sadržaj spremljen na određenoj adresi**”.

Memorija — pristup podacima preko adrese

Da bismo nešto spremili ili pročitali kao sadržaj lokacije u memoriji, moramo imati dvije osnovne instrukcije:

- spremi podatak na adresu “tu i tu”,
- pročitaj podatak s adrese “te i te”.

Netrivijalna posljedica:

- memorijske adrese su, također, podaci, tj.
- adresa podatka je ključni dio instrukcije koja nešto radi s podacima.

Memorija — adresni prostor

Veličina “adresnog” prostora = broj bitova predviđen za spremanje adresa (na pr., u sklopu instrukcija).

Ako imamo m bitova za spremanje adresa, onda možemo prikazati točno 2^m različitih adresa: od 0 do $2^m - 1$.

To određuje i maksimalnu količinu memorije, jer

• više od toga ne možemo adresirati!

Na primjer, ako je $m = 32$, onda je maksimalna količina memorije koju možemo adresirati

$$2^{32} = 4\,294\,967\,296 \text{ byteova,}$$

odnosno, 4 GiB. Zato se prešlo na veći adresni prostor.

Adrese se standardno “pišu” u heksadecimalnom sustavu.

Memorija — ispravno pisanje jedinica za količinu

Međunarodni sustav jedinica **SI** ima standardne **prefikse** za faktore koji su **potencije** broja **10**. Na primjer,

• **k** (“kilo”) označava faktor 10^3 , a **M** (“mega”) faktor 10^6 .

Zbog $2^{10} = 1024 \approx 10^3$ imamo **kaos** u svijetu **računala**.

U **prosincu 1998.** godine **Međunarodna elektrotehnička komisija (IEC)** donijela je **standardna imena** i **prefikse** za faktore koji su **potencije** broja **2**. Skraćena tablica je:

Faktor	Ime	Simbol	Porijeklo	Izvod
2^{10}	kibi	Ki	kilobinarni: $(2^{10})^1$	kilo: $(10^3)^1$
2^{20}	mebi	Mi	megabinarni: $(2^{10})^2$	mega: $(10^3)^2$
2^{30}	gibi	Gi	gigabinarni: $(2^{10})^3$	giga: $(10^3)^3$
2^{40}	tebi	Ti	terabinarni: $(2^{10})^4$	tera: $(10^3)^4$

Memorija — ispravno pisanje jedinica (primjeri)

Primjeri upotrebe **ovih** prefiksa i usporedba sa **SI** prefiksima:

Količina	Oznaka i značenje
jedan kibibit	1 Kibit = 2^{10} bit = 1024 bit
jedan kilobit	1 kbit = 10^3 bit = 1000 bit
jedan mebibyte	1 MiB = 2^{20} B = 1 048 576 B
jedan megabyte	1 MB = 10^6 B = 1 000 000 B
jedan gibibyte	1 GiB = 2^{30} B = 1 073 741 824 B
jedan gigabyte	1 GB = 10^9 B = 1 000 000 000 B

Više o jedinicama, prefiksima, konstantama i sl. — na adresi

<http://physics.nist.gov/cuu/Units/>

Malo povijesti — byte i spremanje znakova

Danas je opće prihvaćeno da je

- 1 byte (“bajt”) = 8 bitova.

Oznaka jedinice za byte je B, i to nije standardna SI jedinica.

Povijesno, pojam “byte” je nastao kao naziv za

- prostor za spremanje jednog znaka teksta.

Jasno je da su znakovi jedan od osnovnih tipova podataka koje treba spremiti u memoriju — za “humani” ulaz/izlaz (nije lijepo pisati i čitati nizove nula i jedinica).

- Znak se sprema u nekom kôdu, koji se prikazuje bitovima.

Prvi standardi za kôdiranje znakova pojavili su se istovremeno s prvim računalima.

Malo povijesti — razni kôdovi za znakove

Najpoznatiji **standardi**:

- **EBCDIC** — “asketskih” 6 bitova, samo velika slova,
- **ASCII** — 7-bitni standard s velikim i malim slovima,

No, u ta vremena, **stvarno** se trošilo 8 bitova na znak, kao četvrtina 32-bitne riječi. Tako je nastao **byte**, a zatim i

- **8-bitni ISO/ASCII** — standard za **dodatnih 128** znakova koji su potrebni za odgovarajuće jezike i **razlikuje** se od jezika do jezika (tzv. “ISO–nešto” character set).

Danas se sve više koristi **Unicode**. Osim “običnih” znakova,

- sadrži **posebne** znakove za **razne** jezike i pisma, kao i hrpu standardnih **matematičkih** simbola.

Zbog toga, uobičajeno, troši 2 bytea za jedan **znak**.

Malo povijesti — riječ i byte

Nekad je riječ zaista bila najmanja cjelina koju se moglo direktno adresirati. Recimo:

- IBM 1130 je imao 16-bitne riječi,
- mnogi strojevi (na pr., IBM 360) su imali 32-bitne riječi,
- Univac 11xx (xx = 06 ili 10) je imao 36-bitne riječi,
- CDC Cyber standardno su imali 60 ili 64-bitne riječi.

Nakon toga su se pojavila mikroračunala. Njihova je memorija bila sagrađena po principu 1 riječ = 1 byte, tj. byte je postao najmanja cjelina koju procesor može direktno adresirati.

Usput, i pripadni procesor je bio 8-bitni, a takva je bila i veza između procesora i memorije, tzv. sabirnica ili magistrala.

Iz tih mikroračunala su nastala i prva osobna računala!

Malo povijesti — riječ i byte (nastavak)

U modernim osobnim računalima, jedan byte je i dalje osnovna cjelina koja se može adresirati. Međutim, stvarna arhitektura računala koristi mnogo dulje cjeline (“riječi”):

- IA-16 — 16-bitne instrukcije i adrese (otišlo u povijest),
- IA-32 ili x86 — 32-bitne instrukcije i adrese,
- AMD64 ili x64 — to je IA-32 arhitektura, ali su adrese 64-bitne (vrijedi za većinu današnjih osobnih računala),
- IA-64 — Itanium procesori, sve je 64-bitno,
- a radi se i na 128-bitnom standardu za velika računala.

Stvarno, pojam “riječ” više nema puno smisla!

Dogovor oko termina — byte, riječ, jedinice

Dogovor oko termina i jedinica — da ne bude “kaosa”:

- jedan byte = veličina prostora za spremanje jednog “običnog” znaka, odnosno, standardnog tipa char u C-u;
- jedna riječ = veličina prostora za spremanje jednog cijelog broja, odnosno, standardnog tipa int u C-u.
To znači da je: $1 \text{ riječ} = 4 \text{ B} = 32 \text{ bita}$.

Nitko vam neće ozbiljno zamjeriti ako iskoristite da je

- $1 \text{ KB} = 1024 \text{ B}$.

Samo budite svjesni da je to krivo, iako mnogi to često rade.

Uostalom,

- teško ću izreći “imam osam gibibajta RAM-a” :-)

Tipovi podataka u računalu

Zasad nismo rekli koji osnovni tipovi podataka postoje u računalu — za nas kao korisnike.

Za računanje koristimo brojeve raznih vrsta:

- nenegativne cijele brojeve (bez predznaka), tj. podskup od $\mathbb{N}_0 = \mathbb{N} \cup \{0\}$,
- cijele brojeve s predznakom (i negativni uključeni), tj. podskup od \mathbb{Z} ,
- brojeve s pomičnim zarezom (engl. floating-point), tj. podskup od \mathbb{R} .

Za ulaz-izlaz koristimo: znakove.

Svi ostali tipovi, uglavnom, se svode na ove osnovne tipove.

Tipovi podataka u računalu (nastavak)

Veza **arhitekture** računala i **tipova podataka** ide tako daleko da se i **najjednostavniji** tip podataka

- **logički** ili **Booleov tip**, koji ima samo **dvije** vrijednosti: **laž** i **istina** (oznake **F/T**, **⊥/⊤**),
- prikazuje preko **cijelih** brojeva, i to: **laž = 0**, **istina = 1**.

Osim ovih **korisničkih** tipova, trebamo još **2** stvari — bitne za **rad** samog računala:

- **adresa** — to je tip podataka **sličan** nenegativnim **cijelim brojevima** (stvarno, prikazi su im **isti**).
- **instrukcije** — koje se nekako **kôdiraju** bitovima, ovisno o arhitekturi procesora (nećemo ulaziti u to).

Procesor

Po von Neumannovom modelu, instrukcije/programi se, također, pamte u memoriji.

Zato procesor mora imati (bar) 2 bitna “radna” dijela:

- izvršni dio, tzv. aritmetičko–logičku jedinicu — naziv dolazi od tipičnih operacija koje ona izvršava nad korisničkim tipovima podataka,
- upravljački dio — koji obavlja sve osnovne poslove vezane za instrukcije, tj. brine se za:
 - dohvat instrukcija iz memorije (engl. fetch),
 - njihovu interpretaciju (engl. decode) i
 - njihovo izvršavanje (engl. execute).

Procesor (nastavak)

Dakle, upravljački dio **upravlja** radom aritmetičko–logičke jedinice prema **instrukcijama**.

Osim toga, **procesor** ima i skup **registara**. To je radna **memorija** procesora za spremanje:

- **podataka** nad kojima se izvršavaju instrukcije i **rezultata** tih operacija,
- **instrukcija** (odnosno, dijelova instrukcija) koje se izvršavaju.

Naime, **operacije** u procesoru mogu se napraviti

- **samo na operandima** koji su **prebačeni** iz **memorije** u **registre** procesora.

Procesor (nastavak)

Zašto je organizacija baš takva?

- Procesor i memorija su fizički odvojeni (razni “čipovi”)
- i komuniciraju preko “kanala” (magistrala ili sabirnica).

Za izvršavanje bilo koje instrukcije,

- prvo instrukciju treba “dovući” iz memorije u procesor.

Potpuno isto vrijedi i za podatke!

Osnovne instrukcije za baratanje podacima:

- **LOAD** REG, adr — “napuni” registar “REG” sadržajem s adrese “adr”,
- **STORE** REG, adr — “spremi” podatak iz registra “REG” na adresu “adr” (promjena sadržaja memorije).

Program za zbrajanje dva broja

Program:

Adresa	Sadržaj	
	⋮	
0100	B6	} napuni registar A sadržajem mem. lokacije 0201
0101	02	
0102	01	
0103	9B	} pribroji sadržaju registra A sadržaj mem. lokacije 01FF
0104	01	
0105	FF	
0106	B7	} napuni mem. lokaciju 0202 sadržajem registra A
0107	02	
0108	02	
	⋮	
01FF	1A	drugi operand
	⋮	
0201	23	prvi operand
0202	3D	rezultat $23 + 1A = 3D$
	⋮	

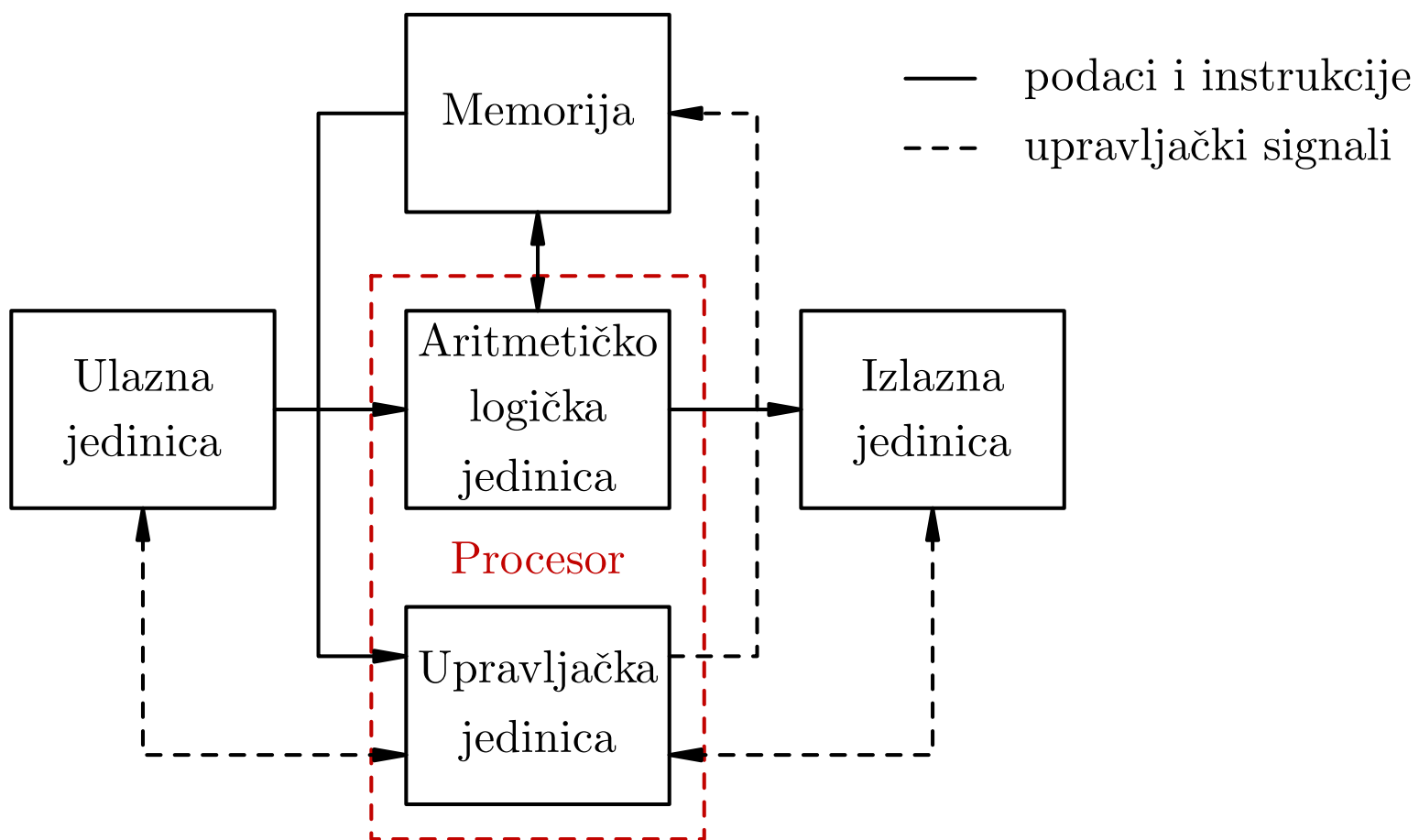
Ulazne i izlazne jedinice

Svako računalo, osim memorije i procesora, mora imati još i

- **ulaznu jedinicu** — koja podatke iz vanjskog svijeta pretvara u binarni oblik,
- **izlaznu jedinicu** — koja rezultate iz binarnog oblika pretvara u oblik razumljiv korisniku, ili ih pohranjuje za daljnju obradu.

Shema računala

Shematski, ovako izgledaju osnovni dijelovi računala:



Dodatna literatura — floating–point aritmetika

Ako želite saznati još ponešto o **floating–point prikazu** brojeva i **aritmetici**, pogledajte/potražite članak:

- **David Goldberg**, **What Every Computer Scientist Should Know About Floating–Point Arithmetic**, ACM Computing Surveys, Vol. 23, No. 1, March 1991, pp. 5–48.

Ovo je “ozbiljan” matematički članak — ima i teorema!

Postoji i **prošireno** izdanje, objavljeno kao

- **Appendix D**, **Numerical Computation Guide**, Sun Microsystems, Inc., July 2001.

Zbog “copyrighta”, ovo **nije** na mom webu, ali možete **dobiti**, ako želite.

Dodatna literatura — memorija računala

Ako želite saznati više o detaljima funkcioniranja memorije modernih računala, pogledajte članak:

- Ulrich Drepper, [What Every Programmer Should Know About Memory](#), 2007.

Kompletna (prva) verzija članka može se naći na adresi

http://www.unilim.fr/sci/wiki/_media/cali/cpumemory.pdf

Članak možete i [čitati](#) na webu. Početak je na adresi

<http://lwn.net/Articles/250967/>

a pri dnu su linkovi na ostala poglavlja.