

Građa računala

1. Uvod / Općenita teorijska
razmatranja o arhitekturi, građi i
organizaciji računarskog sustava



Preddiplomski izvanredni stručni studij
Informacijske tehnologije

Predavač



- dr.sc. Frane Urem dipl. ing.el. prof.v.š.
- E-mail: frane.urem@vus.hr
- <https://www.linkedin.com/in/frane-urem-09765926/>

O predmetu

- satnica: 30 sati predavanja, 30 sati vježbe
- ECTS: 7
- 2. godina – 3. semestar
- 2 kolokvija
- Obvezna literatura:
 - Ribarić, S. (2011.), Građa računala - Arhitektura i organizacija računarskih sustava , Visoka škola za primijenjeno računarstvo, Zagreb

Povijesni razvoj računala

- Počeci 50.000 –30.000 god. p.n.e.
- brojanje prstima
- digit–engl. prst ili broj
- raste potreba za zapisom većih brojeva, koriste se kamenčići, urezi u kostima, drvu
- calculate-iz latinske riječi za šljunak calculus
- Mezopotamija, Egipat –razvoj brojevnihi sustava
- Babilon –preteča Abakusa

Povijesni razvoj računala

- Počeci 10. st.p.n.e. –5. st.n.e.
- zapis simbola za broj
- uvođenje arapskog brojevnog sustava
0123456789
- razvoj geometrije u Grčkoj
- razvoj decimalnog sustava (oko 500 g.)
- prvi šah (Indija)
- izračunana vrijednost broja π

Povijesni razvoj računala

- **Algoritam: 9. st.**
- **Muhammedidn Musa Al-Khwarizmi**(780–850. g.)
- svećenik i matematičar profesor u Bagdadu
- uvodi Hindujski pozicijski brojevni sustav
- uvodi nulu u arapski brojevni sustav
- algebarske jednadžbe opisane u knjizi - *Al-jabr wa'l muqabalah* (odatle dolazi naziv **algebra**)
- u knjizi se opisuje postupak kojim se svaki matematički problem rasčlanjuje na korake i njegovo izvođenje naziva **ALGORITAM** (Alkhwarizm)

Povijesni razvoj računala

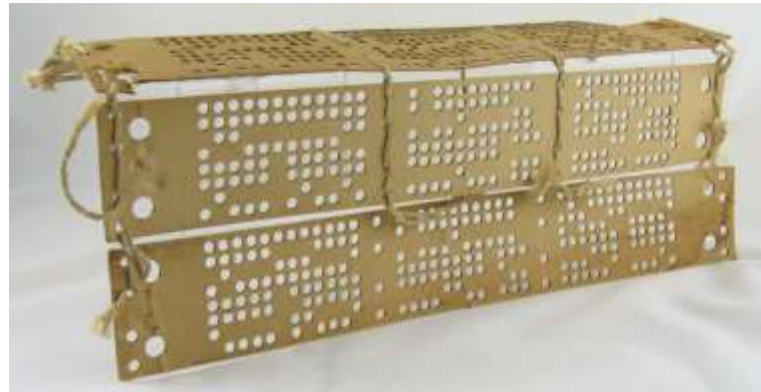
- **Abakus: 13. st**
- zbrajanje i oduzimanje bez olovke i papira (za bilo koji brojevni sustav) - uvježbana osoba jednako brza s abakusom i kalkulatorom
- naziv Abacus dolazi od grčke riječi ABAX –ploča pokrivena prašinom
- potječe sa srednjeg istoka
- u masovnoj uporabi je u Kini 12–13.st.
 - kineski abakus: ima 13 stupaca u dva dijela –gornji vrijedi 5X više od donjeg
 - japanski: 21 stupac
 - ruski: 10 kuglica u 10 redaka

Povijesni razvoj računalna

- **Mehanički računski strojevi 17.st.**
- John Napier 1614. - logaritmi i decimalni brojevi
- Schickard 1623. - stroj za +, -, x, /
- Pascal 1641. - mehanički stroj sa zupčanicima - Pascaline
- Leibnitz 1673.
 - binarni brojevni sustav (0,1)
 - prvi komercijalni kalkulator Arithmometer

Povijesni razvoj računala

- Programabilni stroj: 18.st. - Joseph-Marie Jacquard
- programabilni tkalački stroj koji radi na principu bušenih kartica
- na bušenoj kartici je kodiran uzorak za tkanje
- još i danas u upotrebi u pojedinim manufakturama



Povijesni razvoj računala

- **Početak razvoja računala: 19.st.**
- Charles Babage - 2 mehanička stoja
- Difference Engine (1822.)
 - kalkulator koji radi na principu bušenih kartica
 - izrađen mali model stroja
 - neprecizna mehanika uzrokuje obustavu daljnjeg razvoja
- **Analytical Engine (1834.)** - preteča današnjih računala s upravljačkom jedinicom

Povijesni razvoj računala

- **Analytical Engine** (1834.) - preteča današnjih računala s upravljačkom jedinicom, izvodi sve računske operacije, osnovni elementi:
 - Ulazna jedinica
 - Aritmetičko –logička jedinica - MILL
 - Centralni kontroler
 - Izlazna jedinica
 - Odvojene memorija -STORE
 - instrukcija definira koju operaciju izvesti i u kojem redosljedu
 - memorija kapaciteta 1000 50-znamenkastih brojeva
 - programabilan pomoću bušenih kartica, potpuno mehanički



Povijesni razvoj računala

- **Herman Hollerith** (1890.) - prvi elektromehanički stroj za zbrajanje i sortiranje
- upotrebljen za popis stanovništva u SADu
- bušene kartice
- ustanovio Tabulating and Recording Company koja 1924. postaje IBM (International Business Machine Corporation)



Povijesni razvoj računala

- **Alan Turing** (1936.) - model univerzalnog računala: Turingov stroj
- apstraktni stroj (matematički model) koji se sastoji od:
 - glave za čitanje koja se pomiče lijevo-desno
 - beskonačne trake za pohranjivanje podataka i programa koji određuje što se mora izvesti
 - može riješiti bilo koji problem koji mogu riješiti današnja računala (uz uvjet neograničenog vremena za izvođenje i neograničene memorije)

Povijesni razvoj računala

- **Conrad Zuse (1937.) - Z1 računalno**
- floating point brojevi sa 7-bitnim eksponentom i 16-bitnom mantisom i predznak bitom
- moguće raditi sa 16 takvih brojeva
- koristi bušenu traku
- ima tastaturu za unos podataka a izlaz je prikazan pomoću električnih lampica)



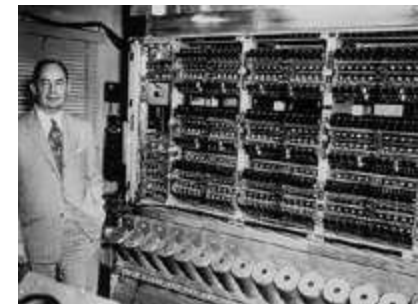
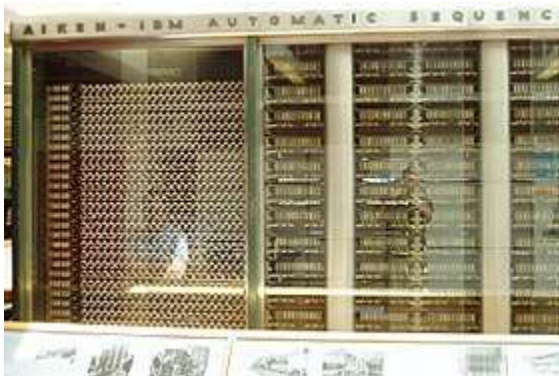
Povijesni razvoj računala

- **Z3 – prvo potpuno funkcionalno automatsko digitalno računalo**
- radi u binarnom brojevnom sustavu
- izvodi floating-point aritmetiku
- rad računala se regulira programom
- izgrađen od 2600 releja, elektromagnetskih prekidača s dva stanja
- ~1400 se koristi za memoriju
- ~ 600 za CPU i
- ~ 600 za operacijski sustav



Povijesni razvoj računala

- **Elektromehanički računski strojevi: 1940.-1953.**
- MARK I, 1944. USA - elektromehaničko računalo
- ENIAC (electronic numerical integrator and computer), 1945. Mauchly and Eckert, USA - elektroničko računalo
- EDVAC (Discrete Variable Automatic Computer) – program u računalnoj memoriji



Povijesni razvoj računala

- **John von Neumann, 1946.**
- matematičar rođen u Mađarskoj
- ideja: zajedničko pohranjivanje podataka i programa u memoriji računala
- sljedeći korak programa ovisi o prijašnjem
- predložena arhitektura za EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer) postaje poznata pod imenom **von Neumanova arhitektura računala**

Povijesni razvoj računala

- **Generacije računala**
- I. elektroničke cijevi, magnetski mediji
- II. tranzistori, elektronički sklopovi, feritne memorije
- III. integrirani sklopovi
- IV. mikroelektronika, mikroračunala, mikroprocesor
- V. VLSI
- VI. masovna uporaba
-

Povijesni razvoj računala

- **I. generacija: 1953.-1958.**
- elektroničke cijevi, magnetski mediji
- 1952. UNIVAC I - prvo komercijalno računalo u SAD-u, prvo računalo s poluvodičima (Remington-Rand)
- razvijen koncept integriranih krugova (Integrated Circuits-Geoffrey Dummerin Washington)
- 1954. FORTRAN, JohnW. Backus, IBM
- 1956. Magnetic Disk Memory, IBM RAMAC350 Random Access Method of Accounting and Control—prvi tvrdi disk
- 1956. prvi operacijski sustav Bob Patrick i Owen Mock - GM/NAA-I/O i instaliran na IBM 704 računalu

Povijesni razvoj računalna

- **II. generacija: 1958.-1961.**
- izum i razvoj tranzistora - elektronički sklopovi
- razvoj feritnih jezgrih memorija
- razvoj prevoditelja, sistemskog softvera, programskih jezika
- Algol: ALGO rithmic Language
- Cobol, LISP
- 1960. prvo mini računalno PDP-1, Digital Equipment Corp (DEC)
- 1961. prvi komercijalni integrirani sklop (Fairchild Semiconductor)

Povijesni razvoj računalā

- **II. generacija: 1962.-1964.**
- 1962. Atlas, University of Manchester
 - virtualna memorija i paging
 - izvođenje instrukcija u pipelineu
 - odvojene aritmetičke jedinice za fixed-i floating-point operacije
 - brzina približno 200 kFLOPS
- 1963.
 - ASCII: American Standard Code for Information Interchange
 - BASIC -Beginners All Purpose Instruction Code-Thomas Kurtzi John Kemeny
- 1964.
 - Epson matrični printer
 - Rank Xerox's Palo Alto Research Center - prvi LAN -Local Area Network

Povijesni razvoj računalna

- **II. generacija: 1965.-1966.**
- 1965.
 - Ted Nelson, smislio riječ hypertext
 - prvi cache memorijski čip
 - Mooreov zakon
- 1966.
 - prvi WAN -ARPAnet
 - IBM: DRAM -Dynamic Random Access Memory
 - Douglas Engelbart: X-Y Position Indicator for a Display System, miš(1963.-66.)

Povijesni razvoj računala

- **III. generacija: 1966.-1970.**
 - integrirani sklopovi
 - početak intenzivnog korištenja računala u industriji
 - operacijski sustav
- 1967.
 - Fairchild Semiconductor Inc. - prvi RAM RandomAccess Memory–čip od 256 bita s preko 1000 tranzistora

Povijesni razvoj računalna

- **III. generacija: 1966.-1970.**
- 1970.
 - IBM - teorija relacijskih baza podataka, Ted Codd
 - IBM - disketna jedinica- 8" - 81.6 Kb podataka, 32 staze (6 godina kasnije 5.25" diskete kapaciteta 1.2 Mb)
 - programski jezik Pascal, Niclaus Wirth, Švicarska

Povijesni razvoj računalna

- **III. generacija: 1971.-1972.**
- 1971.
 - Intel: prvi EPROM – Erasable Programmable Read Only Memory - procesor 4004 -> 3500 tranzistora
 - programski jezik C, Dennis Ritchie i Brian Kernighan, Bell Labs
 - strukturno programiranje

Povijesni razvoj računala

- **III. generacija: 1971.-1972.**
- 1972.
- Intel procesor 8008 (200 kHz, brzina 300.000 instrukcija /s)
 - može adresirati 16Kb memorije
 - može raspoznati sve alfanumeričke znakove
- PROLOG Programming in Logic
- operacijski sustav UNIX – napisan u C programskom jeziku

Povijesni razvoj računalna

- **III. generacija: 1973. -1974.**
- 1973.
- LCD (Liquid Crystal Display) tehnologija, Sharp, Japan
- prvo osobno računalo: PC Alto, Xerox
 - miš, Ethernet, GUI, SmallTalk
- **1974.**
- Intel 8080, 8 bitni mikroprocesor
- Zilog Corp., Z-80, 8 bitni procesor

Povijesni razvoj računala

- IC Klasifikacija integriranih sklopova
- SSI (Small Scale Integration) : 64
- MSI (Medium Scale Integration): 1.024
- LSI (Large Scale Integration) : 65.000
- VLSI (Very Large Scale Integration):
>65.000
- SVLSI (Super VLSI) : > 500.000

Povijesni razvoj računalna

- **IV. generacija: 1974.-1982.**
- LSI –Large Scale Integration
- mikroelektronika
- mikroračunala
- mikroprocesor
- 130.000 tranzistora
- 64 Kbit memorija

Povijesni razvoj računala

- **IV. generacija: 1975.**
- Microsoft, osnivaju Bill Gates i Paul Allen
 - prodaju verziju BASIC Altairu, kasnije Microsoft BASIC
- ALTAIR 8800, PC
 - Intel 8080 čip, memorija 256 byta, prekidači –ulazna jedinica, led -umjesto monitora, cijena \$395 (periferija dodatnih \$2000)
- IBM PC 5100
 - cijena približno \$15,000
 - IBM pogrešno predvidio razvoj tržišta

Povijesni razvoj računalna

- **IV. generacija: 1976.-1981.**
- Apple I
- Cray 1, prvo komercijalno superračunalo
- 1978. laserski pisač, Xerox
- 1979. Ethernet standard za lokalne mreže, Xerox, DEC i Intel
- 1980. Seagate Technology - prvi tvrdi disk za mikroračunalo, ST506, 5 Mb, vrijeme pristupa 180 - 240 milisekunde
- IBM -prvi tvrdi disk kapaciteta 1 GB (veličine hladnjaka, 150 kg. 40.000 \$)
- 1981. Microsoft – DOS 1.0

Povijesni razvoj računalala

- IV. generacija: 1982.
- Commodore C64, Bob Yannes
 - Motorola 6502 čip, 595 \$,
 - do 1994. prodano 17-22 mil.
- ZX Spectrum, Sinclair
 - kasnije ZX 81
 - baziran na Z80 procesoru
 - dBase II, Ashton Tate



Povijesni razvoj računalna

- **V. generacija: 1982.-1990.**
- VLSI –Very Large Scale Integration
- 10⁶ tranzistora na čipu
- 16 Mbit memorije na čipu
- grafička okolina
- MS Windows

Povijesni razvoj računalna

- **V. generacija: 1983.-1985.**
- 1983.
 - Motorola 68000 čip za napredna računala, laserske pisače i grafičku okolinu
 - GNU (freeOS) Manifesto, Richard Stallman
 - C++
- 1984.
 - Macintosh, Apple
 - InkJet printer, HP
- 1985.
 - CD-ROM
 - MS Windows
 - Intel 80386 procesor –PC 386

Povijesni razvoj računalā

- **V. generacija: 1986.-1990.**
- 1986.
 - prvi RISC Reduced Instruction Set Computers, RT PC, IBM, na tržištu (ideja iz 1976.- jedna instrukcija jedan ciklus)
- 1987.
 - IBM PS/2, OS/2
- 1988.
 - prvi virusi
- 1989.
 - Intel 80486, cache of 32 Kb, koprosesor integriran, 1.2 milijuna tranzistora, 20 MIPS
- 1990.
 - World Wide Web, HTML, Tim Berners-Lee, CERN

Povijesni razvoj računalna

- **VI. generacija: 1990. –**
- 64 Bit mikroprocesor
- 10×10^6 tranzistora
- DRAM –16 MBit–1 GBit
- masovna uporaba
 - PC računalna
 - mreže
 - internet
 - web

Povijesni razvoj računalala

- **VI. generacija: 1991. –1994.**
- 1991. LINUX, LinusTorvalds, student, Finska
- 1992.
 - Mosaic, prvi grafički preglednik, Marc Andreessen, student, SAD, (kasnije osnovao Netscape)
 - Microsoft Windows 3.1, 3.11
- 1993.
 - Intel Pentium 1.5 milijuna tranzistora
 - Windows NT
- 1994.
 - počeci .com ekonomije –YAHOO, Amazon...

Povijesni razvoj računalna

- **VI. generacija: 1995. –1998.**
- 1995.
 - MS Windows 95
 - Sun Microsystems, Java
 - intenzivna uporaba interneta
 - Intel Pentium Pro
- 1996.
 - CD-RW
 - e-bay, e-commerce
 - MS Internet Explorer

Povijesni razvoj računalna

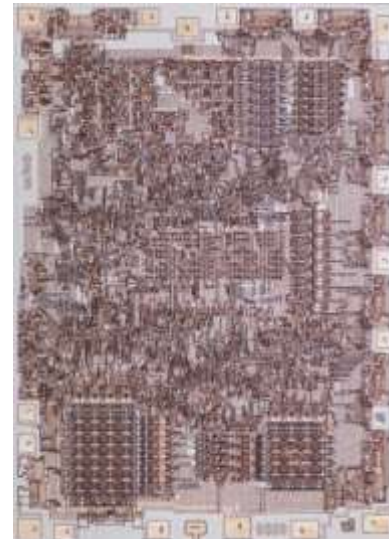
- **VI. generacija: 1995. –1998.**
- 1997.
 - Bluetooth tehnologija, DutchmanJ. Haaften, Ericsson Švedska
 - IBM: Deepblue
 - MP3 format, FraunhoferInstitut, Njemačka
- 1998.
 - iMac, Apple
 - Google, LarryPage i SergeyBrin

Povijesni razvoj računalna

- **VI. generacija: 2000. –...**
- prelazak u novo tisućljeće unatoč najavama prošao bez problema
- spam, virusi, mobilnost,...
- ekspanzija internetske mreže
- ekspanzija mobilnih platformi

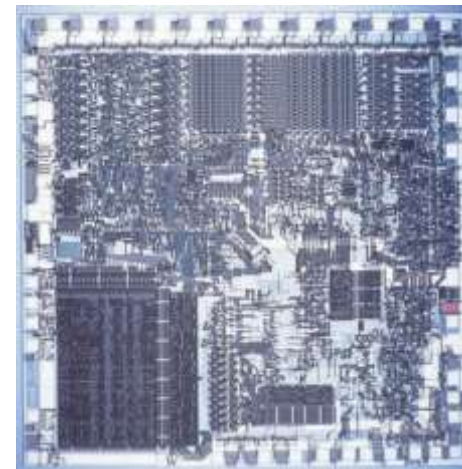
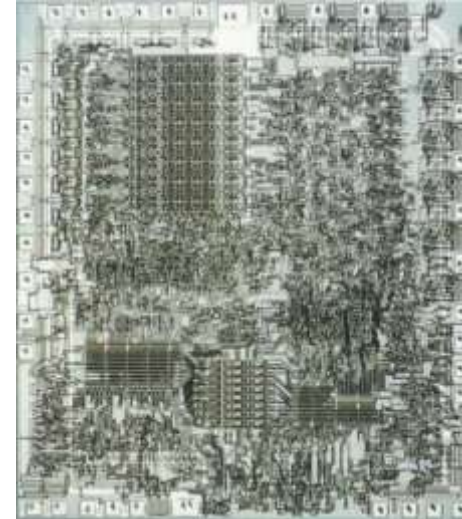
Razvoj Intel procesora

- **1971.**
 - Intel® 4004 CPU
 - Takt: 108KHz
 - Broj tranzistora: 2300
 - Tehnologija: 10 micron
- **1972.**
 - Intel® 8008 CPU
 - Takt: 800KHz
 - Broj tranzistora: 3500
 - Tehnologija : 10 micron



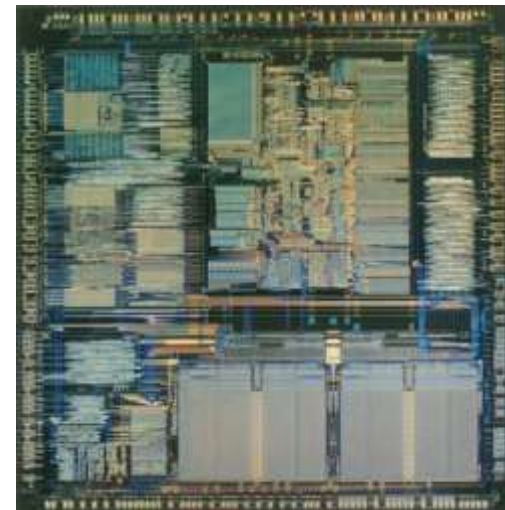
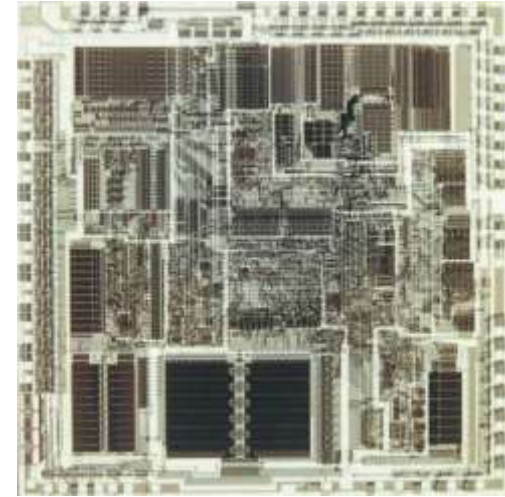
Razvoj Intel procesora

- **1974.**
 - Intel® 8080 CPU
 - Takt: 2 MHz
 - Broj tranzistora: 4500
 - Tehnologija: 6 micron
- **1978.**
 - Intel® 8086 CPU
 - Takt: 5 MHz
 - Broj tranzistora: 29000
 - Tehnologija : 3 micron



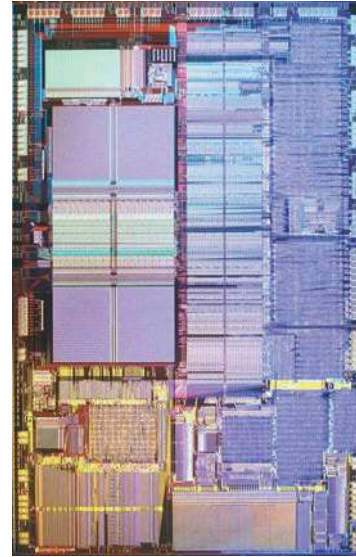
Razvoj Intel procesora

- 1982.
 - Intel® 286 CPU
 - Takt: 6 MHz
 - Broj tranzistora: 134000
 - Tehnologija: 1,5 micron
- 1985.
 - Intel® 386 CPU
 - Takt: 16 MHz
 - Broj tranzistora: 275000
 - Tehnologija : 1,5 micron

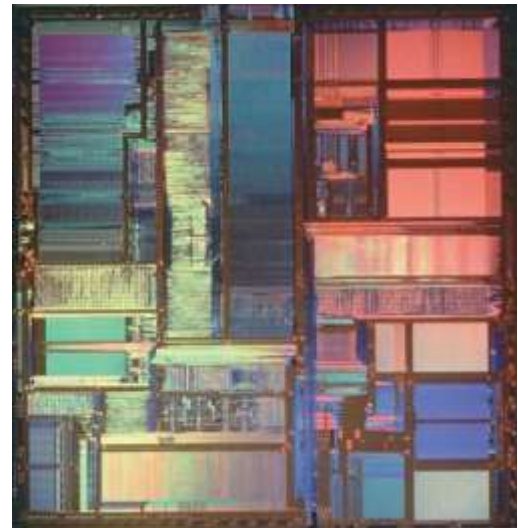


Razvoj Intel procesora

- **1989.**
 - Intel® 486 CPU
 - Takt: 25 MHz
 - Broj tranzistora: 1.2 mil.
 - Tehnologija: 1 micron

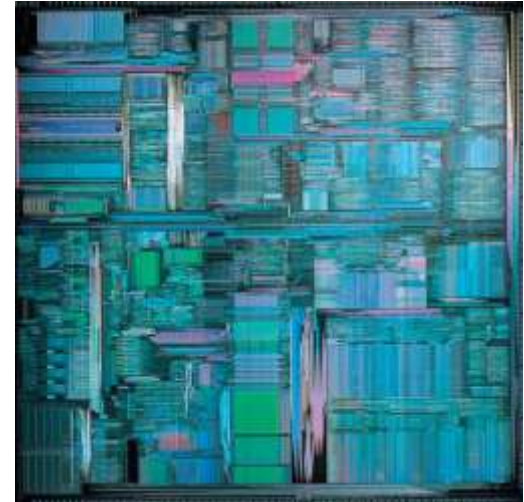


- **1993.**
 - Intel® Pentium CPU
 - Takt: 66 MHz
 - Broj tranzistora: 3.1 mil.
 - Tehnologija : 0,8 micron

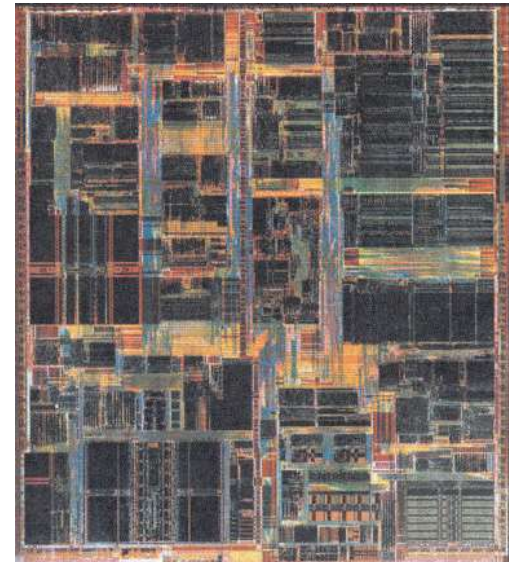


Razvoj Intel procesora

- 1995.
 - Intel® Pentium PRO CPU
 - Takt: 200 MHz
 - Broj tranzistora: 5.5 mil.
 - Tehnologija: 0,35 micron

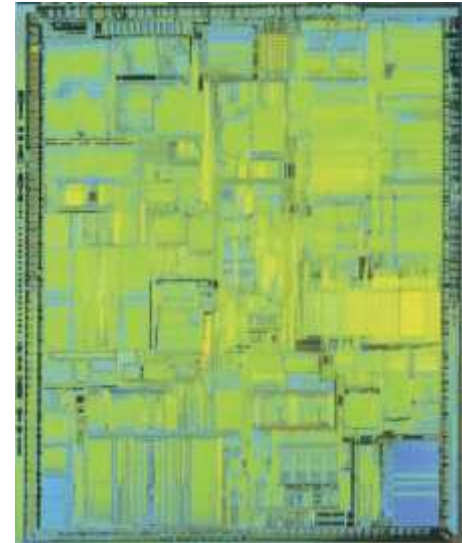
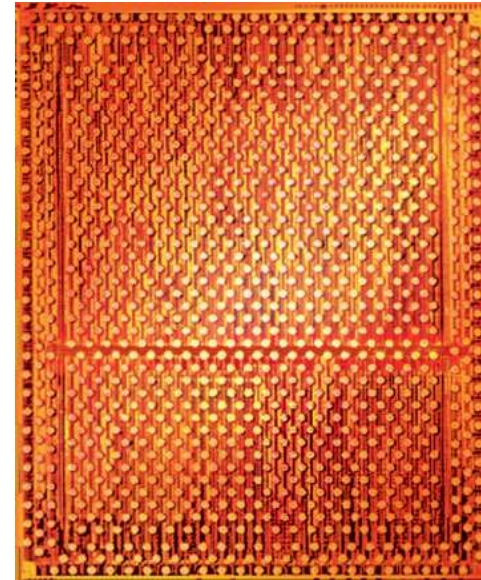


- 1997.
 - Intel® Pentium II CPU
 - Takt: 300 MHz
 - Broj tranzistora: 7.5 mil.
 - Tehnologija : 0,25 micron



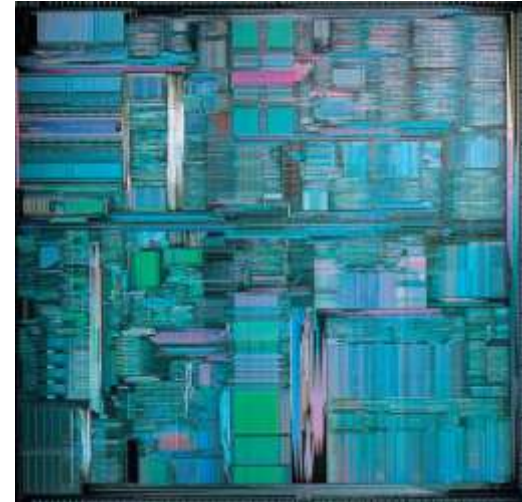
Razvoj Intel procesora

- **1998.**
 - Intel® Celeron CPU
 - Takt: 266 MHz
 - Broj tranzistora: 7.5 mil.
 - Tehnologija: 0,25 micron
- **1999.**
 - Intel® Pentium III CPU
 - Takt: 600 MHz
 - Broj tranzistora: 9.5 mil.
 - Tehnologija : 0,25 micron

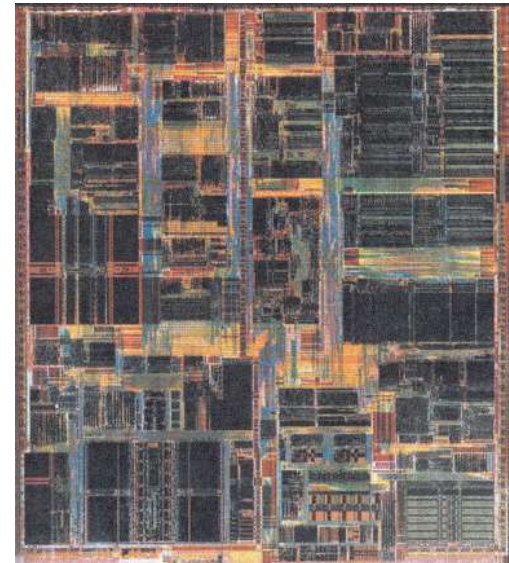


Razvoj Intel procesora

- 2000.
 - Intel® Pentium IV CPU
 - Takt: 1.5 GHz
 - Broj tranzistora: 42 mil.
 - Tehnologija: 0,18 micron

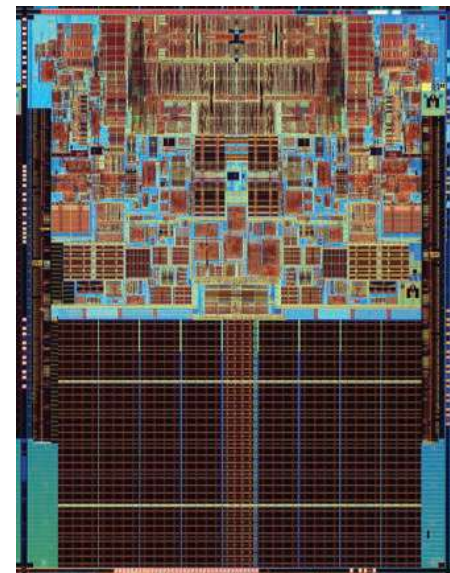
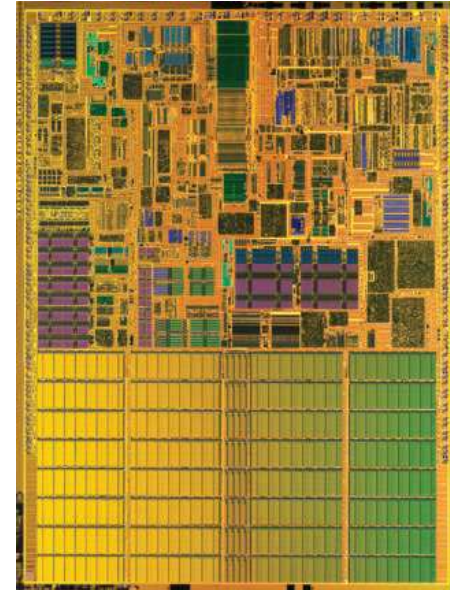


- 2001.
 - Intel® Pentium Xeon CPU
 - Takt: 1.7 GHz
 - Broj tranzistora: 42 mil.
 - Tehnologija : 0,18 micron



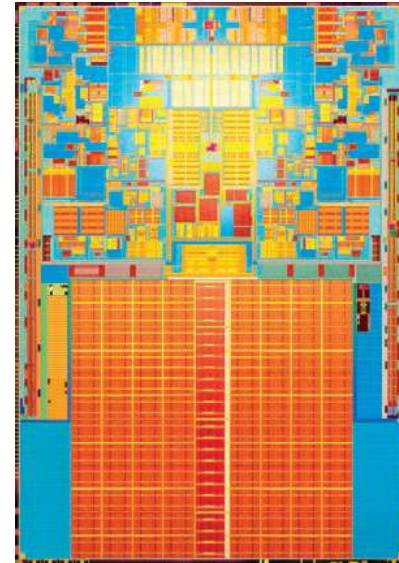
Razvoj Intel procesora

- 2003.
 - Intel® Pentium M CPU
 - Takt: 1.7 GHz
 - Broj tranzistora: 55 mil.
 - Tehnologija: 90 nm
- 2006.
 - Intel® Core™2 Duo CPU
 - Takt: 2.66 GHz
 - Broj tranzistora: 291 mil.
 - Tehnologija : 65 nm

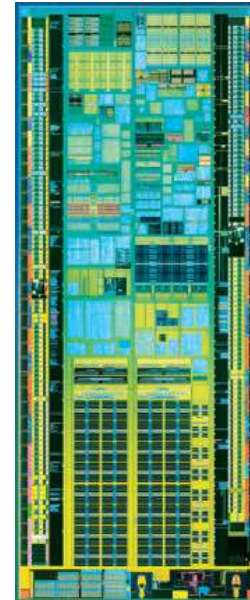


Razvoj Intel procesora

- 2008.
 - Intel® Core™2 Duo CPU
 - Takt: 2.4 GHz
 - Broj tranzistora: 410 mil.
 - Tehnologija: 45 nm

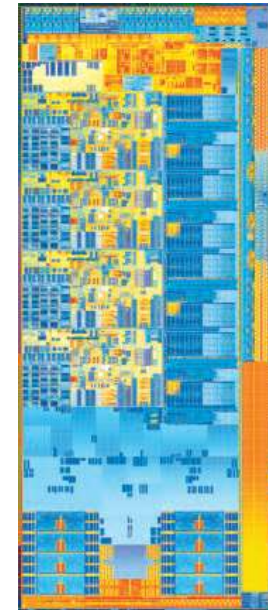
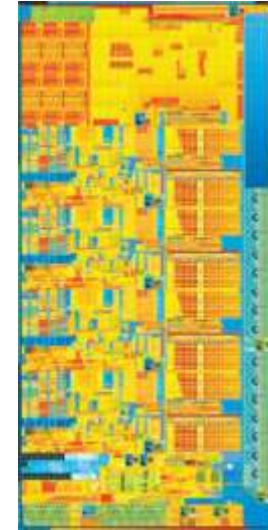


- 2008.
 - Intel® Atom™ CPU
 - Takt: 1.8 GHz
 - Broj tranzistora: 47 mil.
 - Tehnologija : 45 nm



Razvoj Intel procesora

- **2010.**
 - 2nd generation Intel®Core™ CPU
 - Takt: 3.8 GHz
 - Broj tranzistora: 1.16 mlrd.
 - Tehnologija: 32 nm
- **2012.**
 - 3rd generation Intel®Core™ CPU
 - Takt: 2.9 GHz
 - Broj tranzistora: 1.4 mlrd.
 - Tehnologija : 22 nm



Mooreov zakon

- Gordon Moore, jedan od osnivača Intela
- 1965. previdio tehnološki rast novih generacija integriranih sklopova
- Mooreov zakon: svakih 18-24 mjeseci se broj tranzistora na čipovima udvostručuje
- 2001.-popravlak Mooreovog zakona
- broj tranzistora na čipovima udvostručuje se svakih 4-5 godina (48-60 mjeseci)
- originalni zakon izdržao 36 godina

Računalna tehnologija

- ugrađena računala (embedded computer)
 - automobil, zabavna elektronika, bijela tehnika, igračke, pametni telefoni
- osobna računala PC
- radne stanice (work station)
- računala poslužitelji (network servers)
- velika računala (mainframe)
- super računala

Obrada podataka

- svrsishodna djelatnost koja ima za cilj iz raspoloživih podataka dobiti traženu informaciju, a sastoji se od:
 - **Podatka** (objekt u obradi)
 - **Algoritma** (uputa – opisuje obradu podataka)
 - **Izvršitelja** (nositelj obrade podataka)

Algoritam

- ALGORITAM je postupak kojim se svaki matematički problem raščlanjuje na korake i izvodi.
- Primjer : Euklidov algoritam - za dva broja nalazi najveću zajedničku mjeru (nzm)
 - Euklid (Grčki: Εὐκλείδης), Grčki matematičar, poznat kao Euklid iz Aleksandrije (323.-283. p.n.e)
 - napisao knjigu “Elementi” – najznačajniju knjigu u povijesti matematike: Euklidska geometrija, Euklidova lema faktORIZACIJE, Euklidov algoritam

Euklidov algoritam

- Za dva dana prirodna broja a i b treba naći njihovu zajedničku mjeru (nzm)
 - 1. korak: Promatrati dva broja: a i b . Prijeći na sljedeći korak.
 - 2. korak: Usporediti brojeve a i b . Prijeći na sljedeći korak.
 - 3. korak: Ako su promatrani brojevi jednaki, svaki predstavlja traženi rezultat – obustaviti postupak računanja. Ako brojevi nisu jednaki prijeći na sljedeći korak.
 - 4. korak: Ako je prvi promatrani broj manji od drugog, zamijenite im mjesta. Prijeći na sljedeći korak.
 - 5. korak: Oduzeti drugi broj od prvog i promatrati drugi broj i ostatak. Prijeći na korak 2.

Euklidov algoritam

- Primjer računanja $a = 12$, $b = 16$, $\text{nzm} = ?$
 - 1. korak (promatrati)
 - 2. korak (usporediti)
 - 3. korak $a \neq b$
 - 4. korak: $a = 16$; $b = 12$
 - 5. korak: $16 - 12 = 4$, usporediti 12 i 4
 - 3. korak $a \neq b$
 - 4. korak: $a = 12$; $b = 4$
 - 5. korak: $12 - 4 = 8$, usporediti 4 i 8
 - 3. korak $a \neq b$
 - 4. korak: $a = 8$; $b = 4$
 - 5. korak: $8 - 4 = 4$, usporediti 4 i 4
 - 3. korak: $a = b = 4$ - > **ZAUSTAVI SE !** Rezultat: $\text{nzm} = 4$

Svojstva Euklidovog algoritma

- **Određenost:**
 - osigurana je činjenicom da izvršitelj može izvoditi operacije zadane u pojedinim koracima algoritma i jednoznačno razaznavati koje od operacija treba izvesti u kojem koraku te kojim korakom mora započeti
- **Širina primjene:**
 - proizvoljan par pozitivnih cijelih brojeva
- **Konačnost:**
 - definiran je postupak kojim se za bilo koji par pozitivnih cijelih brojeva dolazi do njihova najvećeg zajedničkog djelitelja

Izvršitelj Euklidovog algoritma

- Čovjek – > algoritam je izvorno namijenjen čovjeku.
- Računalni stroj ?
 - realizacija korištenjem rekurzije na računalu:

```
function nzm(a, b)
  if b = 0 then return a
  else return nzm(b, a mod b)
```

- Kako napraviti univerzalan stroj za računanje koji računalni postupak svodi do graničnih mogućnosti na jednostavne, elementarne operacije ?

Turingov stroj

- **model univerzalnog računala**
- apstraktni stroj (matematički model)
- sastoji se od:
 - glave za čitanje koja se pomiče lijevo-desno
 - beskonačne trake za pohranjivanje podataka
 - programa koji određuje što se mora izvesti
 - može riješiti bilo koji problem koji mogu riješiti današnja računala (uz uvjet neograničenog vremena za izvođenja i neograničene memorije)
- **Definicija iz teorije automata:**

$$TS=(Q, S, T, \Delta, g_0, g_f, L)$$

Turingov stroj

- vanjska memorija je beskonačna traka (s obje strane)
- svako polje trake može sadržavati samo jedan znak
- Δ —prazni simbol, upisivanjem praznog simbola briše se znak polja
- izrazi zapisani na traci sadrže konačan niz znakova koji oblikuju vanjsku abecedu

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$$

Rad Turingova stroja

- skup $T = \{t_1, t_2, \dots, t_T\}$ – skup simbola koji se pojavljuju na traci bez praznih simbola
- na početku se na traku zapisuje početni izraz (konačni niz znakova raspoređenih po poljima)
- rad stroja odvija se u uzastopnim taktovima
- početna informacija se preoblikuje u međuinformaciju

Rad Turingova stroja

- dva moguća ishoda rada stroja:
 - nakon konačnog broja taktova stroj stane i na traci je zapisan rezultat
 - stroj nikada ne stane
- skup unutarnjih stanja stroja $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_N\}$
- q_0 – početno stanje stroja
- q_f – konačno stanje stroja

Rad Turingova stroja

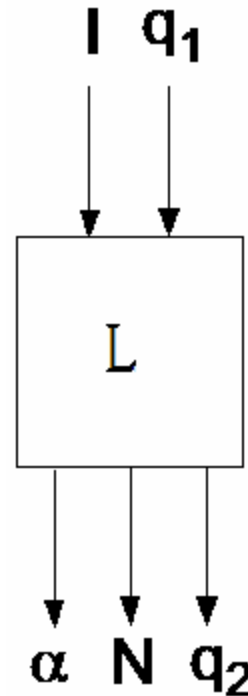
- sustav jednoadresnih naredbi je još više pojednostavljen:
- u svakom taktu rada stroja svaka naredba propisuje samo zamjenu pojedinačnog znaka s_i , upisanog u promatrano polje na traci, nekim drugim znakom s_j
- $s_i = s_j$ sadržaj se ne mijenja
- $s_j = \Delta$ briši s_i

Rad Turingova stroja

- pri prijelazu iz jednog takta u drugi promatra se samo susjedno polje, tj. adresa sljedećeg promatranog polja može se promijeniti najviše za jedan:
 - D - promatraj desno polje
 - L - promatraj lijevo polje
 - N - ostani na istom mjestu

Rad Turingova stroja

- Obrada informacije odvija se u logičkom bloku L, koji se može nalaziti u nekom od konačnog broja stanja $Q=\{q_1, q_2, \dots, q_N\}$



Rad Turingova stroja

$$TS = (Q, S, T, \Delta, q_0, q_f, L)$$

- Q - skup unutarnjih stanja stroja
- S - skup simbola vanjske abecede
- $T = S \setminus \Delta$
- Δ - prazni (pusti) simbol
- q_0 - početno stanje stroja
- q_f - konačno stanje stroja
- L - logička funkcija stroja

Rad Turingova stroja

- L - logički blok realizira funkciju koja svakom paru znakova ulazne dvojke ($s_i q_n$) dodjeljuje izlanu trojku ($s_j P q_m$)
 - s - znak koji se zapisuje na traku
 - P - pomak odnosno adresa sljedećeg polja (D, L ili N)
 - q - unutarnji znak logičkog sklopa
- **programiranje** - pravila koja ulaznom paru znakova dodjeljuju izlaznu trojku znakova:

$$s_i q_n \rightarrow s_j P q_m$$

Rad Turingova stroja

- L je u stvari logička funkcija koja se prikazuje tablicom i koja se naziva funkcionalna shema stroja

		UNUTARNJA STANJA				
VANJSKA ABECEDA		q_1	q_2	q_2	q_4	...
	Δ	$\Delta D q_4$	$\Delta D q_3$	$\Delta D q_1$	$\Delta D q_3$	
	I	$\alpha N q_2$	$\beta N q_2$	$I D q_1$	$I L q_1$	
	α	$\alpha L q_1$	$\alpha D q_2$	$I L q_3$	$\Delta D q_4$	
	β	$\beta L q_1$	$\beta D q_2$	$\Delta L q_3$	$I L q_4$	
					

Primjer rada Turingova stroja

