

1.

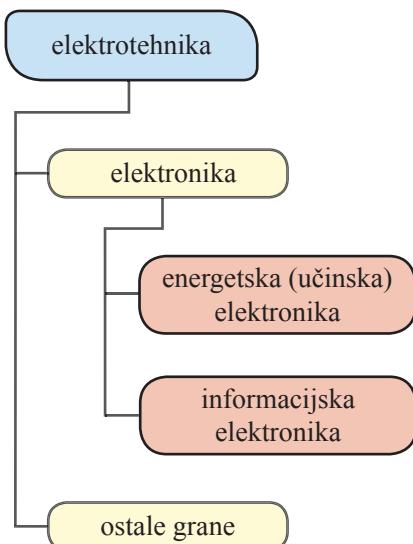
Uvod u digitalnu elektroniku

- 1.1. Podjela elektronike**
- 1.2. Povijesni razvoj elektronike**
- 1.3. Uloga digitalne elektronike u ljudskoj djelatnosti**

1.1. Podjela elektronike

Zanimljivo

Naziv elektronika potječe od grčke riječi *électron* za jantar (vrsta fosilne smole) jer je već Tales u antici proučavajući jantar stekao prve spoznaje o elektricitetu (kada se jantar protrlja kroznom, privlači lagana tijela).



Slika 1.1.

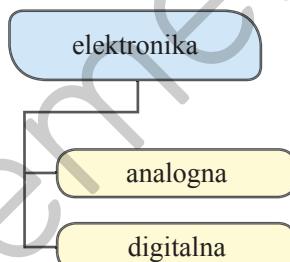
Podjela elektronike prema području proučavanja

Elektronika je grana tehnike koja proučava i primjenjuje pojave pri gibanju nabijenih čestica kroz vakuum, vodiče i poluvodiče.

Kao dio elektrotehnike, elektronika proučava upravljanje tokom i pretvorbom parametara električne energije (**energetska ili učinska elektronika**) te dobivanjem, pretvorbom, prijenosom i obradom elektromagnetskih valova, električnih signala i informacija (**informacijska elektronika**). **Informacijska elektronika** sastoji se od više grana: telekomunikacija, radiokomunikacija, mjerne elektronike, biomedicinske elektronike, optoelektronike itd.

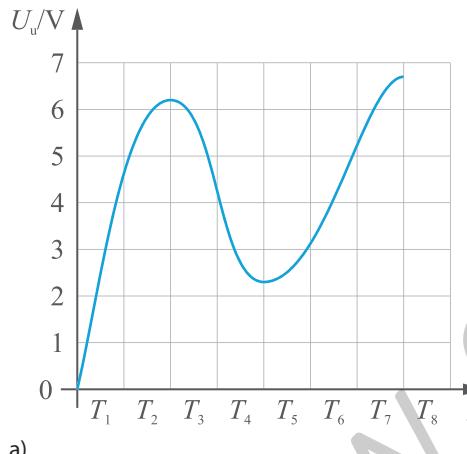
- **Telekomunikacije** se bave prijenosom informacija na daljinu.
- **Radiokomunikacije** se bave prijenosom informacija na daljinu radiovalovima.
- **Mjerna elektronika** bavi se postupcima i metodama mjerenja fizikalnih veličina električkim uređajima.
- **Biomedicinska elektronika** bavi se primjenom električkih uređaja u medicini.
- **Optoelektronika** proučava pretvorbu električnog signala u svjetlosni i obrnuto te prijenos informacija svjetlošću.

Osim podjele elektronike na energetsku i informacijsku elektroniku se prema vrsti signala koji obrađuje može podijeliti i na analognu i digitalnu elektroniku. Signali u analognoj elektronici mogu poprimiti bilo koju vrijednost između najmanje i najveće vrijednosti, a digitalni signali obično imaju samo jednu od dvije vrijednosti (slika 1.3).

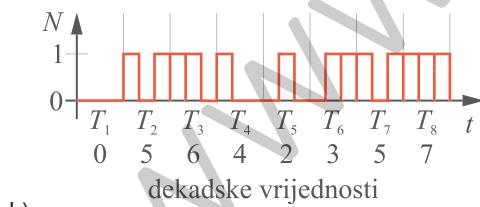


Slika 1.2.

Podjela elektronike prema vrsti signala



a)



b)

Slika 1.3.

Signali:
a) analogni
b) digitalni



Slika 1.4.

Osobno računalo



Slika 1.5.

Superračunalo

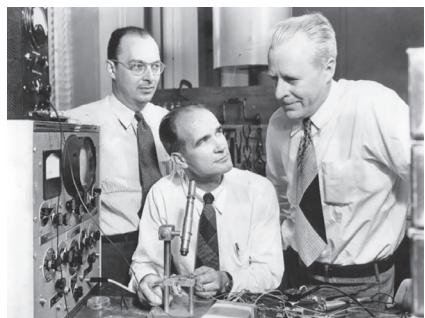


Slika 1.6.

Vakuumski triode

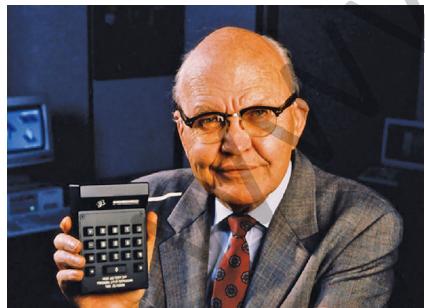
1.2. Povijesni razvoj elektronike

Elektronika se značajnije počinje razvijati početkom 20. stoljeća konstrukcijom vakuumske triode (slika 1.6) (am. znanstvenik Lee de Forest 1906. god.). Ona je omogućila konstrukciju prvih radijskih i TV prijamnika te prvih računala. Vakuumske cijevi bile su velike i tijekom rada su se zagrijavale te su energetski neučinkovite. Novi zamah razvoju elektronike dao je izum poluvodičkog ekvivalenta triode, odnosno poluvodičkog tranzistora (Walter H. Brattain i John Bardeen) 1947. god. te rad Williama Shockleya (slika 1.7) što je omogućilo minijaturizaciju elektroničkih sklopova i smanjenje



Slika 1.7.

Walter H. Brattain, John Bardeen i William Shockley

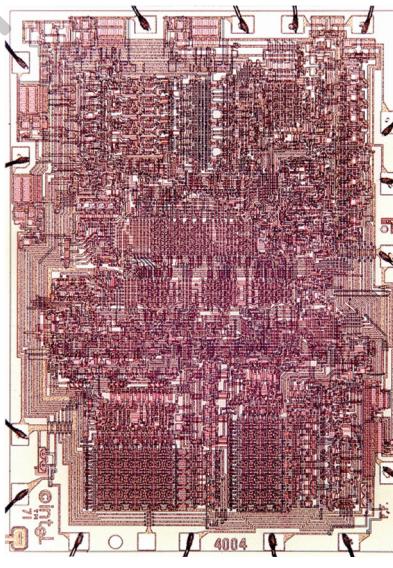


Slika 1.8.

Jack Kilby

potrošnje sklopova. Godine 1958. Jack Kilby (slika 1.8) stvara prvi integrirani sklop što otvara novu fazu razvoja elektronike – **integriranu elektroniku**.

1971. godine tvrtka Intel razvila je prvi komercijalni mikroprocesor Intel 4004 (slika 1.9).



Slika 1.9.

Mikroprocesor 4004:

a) vanjski izgled

b) unutarnja struktura



Slika 1.10.

Primjena robota u autoindustriji

1.3.

Uloga digitalne elektronike u ljudskoj djelatnosti

Integrirana elektronika omogućila je nagli razvoj digitalne elektronike i računalstva tako da se danas digitalni uređaji primjenjuju u mnogim područjima ljudske djelatnosti. Mnogi imaju digitalne televizore, mobitele, digitalna računala, digitalne fotoaparate, kamere... Digitalna elektronika je posvuda.

Današnja industrijska proizvodnja nezamisliva je bez elektroničkih i računalnih sustava koji povećavaju produktivnost i kvalitetu, a provode nadzor procesa proizvodnje, pamćenje podataka te omogućuju automatsko vođenje procesa. Proizvodnju sve više obavljaju roboti kojima se upravlja elektroničko-računalnim uređajima (slika 1.10).

**Slika 1.11.**

Digitalni navigacijski uređaj

U automobilima postoji mnogo sustava kojima upravlja središnje računalo. Glavni alat autoelektričara postalo je računalo.

U području mjerne elektronike sve su zastupljeniji digitalni i računalni mjerne uređaji i sustavi koji imaju mogućnost priključka na računalo u cilju pohranjivanja i obrađivanja mjerne rezultata. Mjerenja u industriji, trgovini, geodeziji, prometu, medicini, sportu ili vojsci obavljaju digitalni elektronički uređaji, a računalni ih uređaji obrađuju.

Financijsko poslovanje nezamislivo je bez elektroničkih uređaja. Sve se više koristi internetsko bankarstvo, a token ili mobilna aplikacija omogućuju identifikaciju korisnika.

Navigacijski sustavi i sustavi upravljanja prometom koriste razne digitalne uređaje i sustave (slike 1.11 i 1.12).

**Slika 1.12.**

Upravljanje prometom

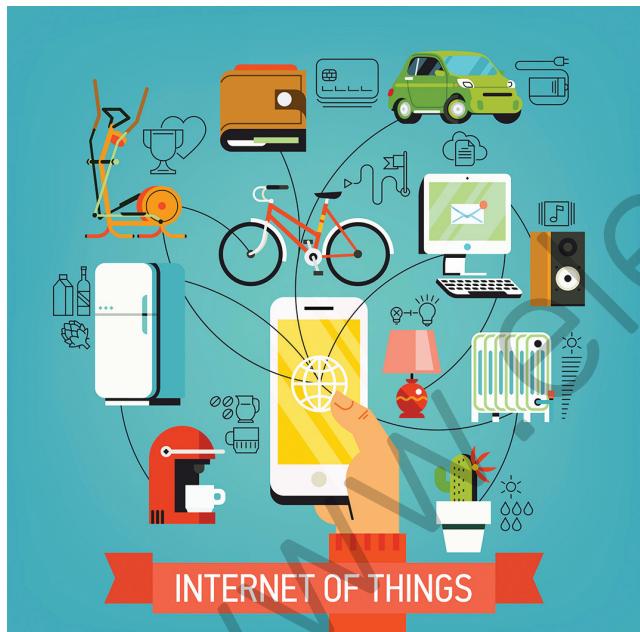
Napomena

IKT je kratica za informacijsko-komunikacijsku tehnologiju.

U području telekomunikacija koriste se digitalne telefonske centrale, digitalna mobilna telefonija i digitalni modulacijski postupci.

Mobitel nije više prvenstveno telefon, nego digitalni IKT uređaj.

Svima je postalo dostupno snimanje, obrada i reprodukcija fotografija te audiosadržaja i videosadržaja. Specijalni efekti u filmskoj industriji nezamislivi su bez računalne tehnike, a digitalna zemaljska i internetska televizija pružaju dodatne mogućnosti u postupku snimanja, obrade i prijenosa videoinformacija.



Slika 1.13.

Internet stvari

Mreža povezanih uređaja koji razmjenjuju podatke, a sadrže elektroniku, programsku podršku (engl. Software) i aktuatorne čine novu granu tehnike **Internet stvari** (slika 1.13) (engl. *Internet of things – IoT*)

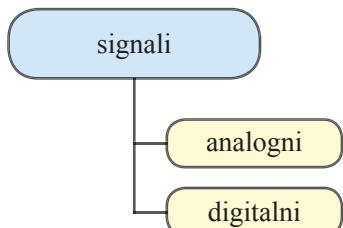
Komuniciranjem putem telefona, interneta ili interaktivnim sustavima informacije su postale dostupne svima tako da nas digitalna i računalna tehnika uvode u novo **informacijsko-komunikacijsko doba**.

2.

Brojevni sustavi i kodovi

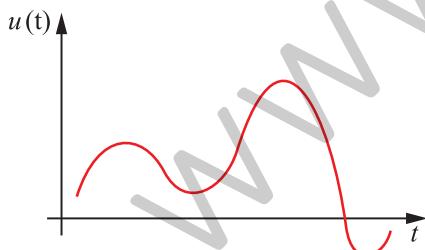
- 2.1.** Analogni i digitalni signali
 - 2.2.** Brojevni sustavi
 - 2.3.** Pretvorbe brojeva iz jednog brojevnog sustava u drugi
 - 2.4.** Binarni kodovi

2.1. Analogni i digitalni signali



Slika 2.1.

Vrste signala



Slika 2.2.

Analogni naponski signal

Signal je informacija koja prolazi određenim medijem, a informacija je podatak s točno određenim značenjem. Podatci se prikazuju električnim signalima koji mogu biti naponski i strujni. Signali mogu biti **analogni** i **digitalni** (slika 2.1). Fizikalni procesi u velikoj većini slučajeva daju analogne signale, a potreba za digitalnim signalima ukazala se kad su postignuti uvjeti za računalnom obradom fizikalnih procesa. Kako bi se analogni signal mogao obraditi računalom, pretvaramo ga u digitalni.

Analogni signal vremenski je neprekidan (kontinuiran) signal, pri čemu je informacija o fizikalnoj veličini koju prikazuje sadržana u amplitudi signala.

Analogni naponski signal prikazuje slika 2.2. Napon u kontinuirano poprima različite vrijednosti u vremenu t između najveće i najmanje vrijednosti. Na taj se način može promatrati i jakost struje.

Elektronički sklopovi koji obrađuju analogne signale nazivaju se **analogni sklopovi**.

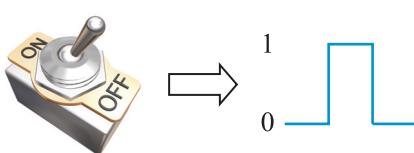
Digitalni signal vremenski je isprekidan (diskontinuiran) signal, pri čemu je informacija o fizikalnoj veličini koju prikazuje sadržana u signalu s dvije razine.

Podatak se digitalnim signalom predočava impulsima koji predstavljaju binarne znamenke.

Elektronički sklopovi koji obrađuju digitalne signale nazivaju se **digitalni sklopovi**.

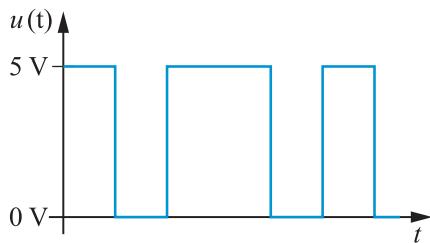
U digitalnoj elektronici koristi se binarni brojevni sustav zato što su digitalni uređaji građeni od sklopova koji imaju dva različita stanja, tj. rade kao sklopke. Jednoj znamenci odgovara jedan položaj sklopke, a drugoj znamenci drugi (slika 2.3). Znamenke binarnog brojevnog sustava 0 i 1 mogu se prikazati niskom ili visokom razine napona, vođenjem i nevođenjem struje i slično.

Osim oznaka binarnih znamenaka 0 i 1 koriste se i oznake L (engl. *low* – nisko) i H (engl. *high* – visoko) ili istina i laž (engl. *true* i *false*). S obzirom na to da najčešće nemaju brojčano značenje, često ih se naziva logička nula (kraće 0) i logička jedinica (kraće 1). Slika 2.4 prikazuje primjer digitalnog naponskog signala.



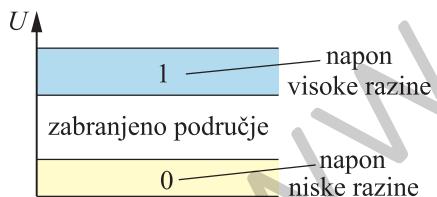
Slika 2.3.

Predočavanje položaja sklopke binarnim znamenkama



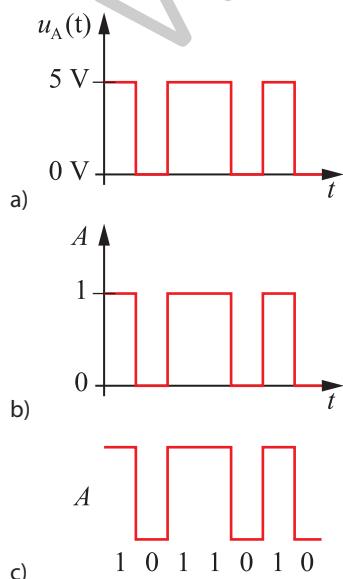
Slika 2.4.

Primjer digitalnog naponskog signala



Slika 2.5.

Pozitivna logika



Slika 2.6.

Digitalni signali kao:

- naponske razine
- logičke razine
- pojednostavljeni prikaz

Binarnim znamenkama 0 i 1 dodjeljuje se određeno područje napona, a između njih je zabranjeno područje napona. Ako je napon logičke jedinice veći od napona logičke nule, riječ je o **pozitivnoj logici** (slika 2.5). U praktičnoj primjeni prevladava pozitivna logika. Stoga će svi sklopovi u ovom udžbeniku biti objašnjeni primjenom pozitivne logike.

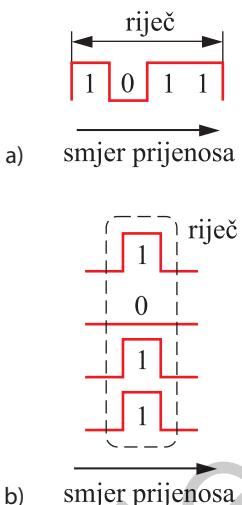
Vrijednost napona logičke jedinice ovisi o tipu digitalnih sklopova, a napon logičke nule obično je približno 0 V.

Ako je napon logičke jedinice niži od napona logičke nule, riječ je o **negativnoj logici**.

Vrijednosti visoke i niske razine napona mogu se mijenjati u određenim granicama, a da to ne utječe na binarno značenje koje im je dodijeljeno. Informacija o nekoj fizikalnoj veličini nije sadržana u amplitudi signala, nego u rasporedu niza impulsa jednake amplitude. Zbog toga su **digitalni sklopovi pouzdaniji i manje osjetljivi na smetnje nego analogni**. Točnost digitalnih sustava ovisi samo o broju bitova koji se koriste za prikaz podataka.

U digitalnim se sklopovima binarni brojevi predočavaju nizom naponskih impulsa pri čemu je na x -osi vrijeme, a na y -osi napon ili logička vrijednost (0 ili 1). Često se radi jednostavnosti prikaza izostavljaju označke koordinatnih osi (slika 2.6).

Pri radu digitalnih sustava podaci se stalno prenose iz jednog dijela sustava u drugi. Podatak sastavljen od više bitova može se prenositi serijski ili paralelno.



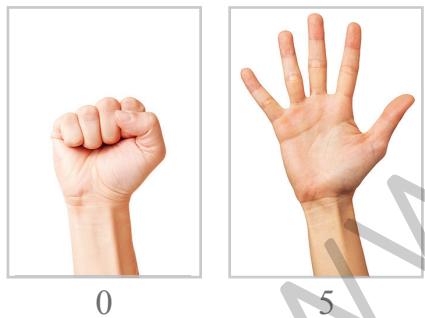
Slika 2.7.

- Prijenos podataka:
- serijski
 - paralelni

Kod **paralelnog prijenosa podataka** svih bitova jedne binarne riječi prenose istovremeno, i to svaki svojim posebnim vodičem (slika 2.7b). Binarne riječi prenose se jedna za drugom serijski. Na ovaj se način prenose podaci po sabirnicama digitalnog računala.

2.2. Brojevni sustavi

Brojevni sustav označava način zapisa brojeva s pomoću skupa znamenaka.



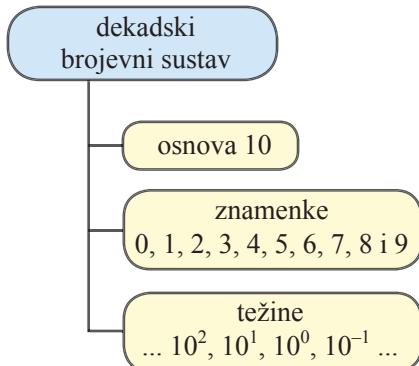
Slika 2.8.
Brojanje na prste

U svakodnevnom životu koristimo **dekadski brojevni sustav**. Ljudi broje i računaju po dekadskom brojevnem sustavu, a ne razmišljaju o tome da je nastao na osnovi deset prstiju koji su čovjeku odvijek pomoći pri računanju (slika 2.8).

Osnovni logički sklopoli suvremenih digitalnih računala temelje svoje djelovanje na binarnoj logici, odnosno logici koja koristi samo dva različita, i uz to stabilna stanja. Tim stanjima pridaju se dva značenja, primjerice istina/laž, da/ne, ima/nema, ima napona/nema napona, uključeno/isključeno, 1/0 i slično. Svi podatci koji ulaze u računalo moraju biti prevedeni u binarni oblik koji će računalo razumjeti. Uobičajeno je u računalu ta dva stanja označavati kao 0 i 1.

Brojevni sustav koji ima samo dvije znamenke pa je pogodan za prikaz u računalu naziva se **binarni brojevni sustav**. Radi lakšeg rada s binarnim brojevima koriste se drugi brojevni sustavi, primjerice oktalni i heksadekadski.

2.2.1. Dekadski brojevni sustav



Slika 2.9.
Svojstva dekadskog brojevnog sustava

Dekadski brojevni sustav ima osnovu ili bazu deset (10) i deset znamenaka: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 i 9 (slika 2.9).

Najveća znamenka u bilo kojem brojevnom sustavu je za jedan manja od osnove (baze).

Dekadski je brojevni sustav **položajni ili pozicijski brojevni sustav**. Svaka znamenka nekog broja nalazi se na određenom brojnom mjestu.

Brojno mjesto označava položaj znamenke u odnosu na decimalni zarez.

Brojna mjesta počinju se brojati od nule počevši od decimalnog zareza ulijevo. Brojna mjesta lijevo od nule imaju pozitivan, a desno od nule negativan predznak. Brojevi u dekadskom sustavu ili dekadski brojevi prikazuju se nizom znamenaka, a svako brojno mjesto u nizu

Zanimljivo

Najpoznatiji nepoložajni brojevni sustav je sustav rimskih brojeva sa sedam znamenaka: I, V, X, L, C, D i M koji se u Europi koristio do 12. stoljeća kada ga je potisnuo današnji način zapisivanja brojeva. Njega su iz Indije u Europu prenijeli Arapi.

Tablica 2.1.

Potencije broja 10

potencije broja 10	
n	10^n
0	$10^0 = 1$
1	$10^1 = 10$
2	$10^2 = 100$
3	$10^3 = 1000$
4	$10^4 = 10\,000$
5	$10^5 = 100\,000$
6	$10^6 = 1\,000\,000$

ima određeni težinski faktor ili težinu. **Težina brojnog mesta je osnova potencirana brojnim mjestom**. Znamenka je to značajnija što je dalje lijevo u nizu.

Najmanje značajna znamenka ili **znamenka najmanje težine** (engl. *least significant digit*, skraćeno LSD) je znamenka na desnom kraju broja.

Najznačajnija znamenka ili **znamenka najveće težine** (engl. *most significant digit*, skraćeno MSD) je krajnja lijeva znamenka.

Težina najnižeg cjelobrojnog mesta je $10^0 = 1$, drugog mesta je $10^1 = 10$, trećeg $10^2 = 100$ itd. (tablica 2.1). Na isti način brojna mesta iza decimalnog zareza imaju težine $10^{-1} = 0,1$, $10^{-2} = 0,01$ itd.

Opći prikaz cjelobrojnog prirodnog broja N u dekadskom sustavu ili u sustavu s osnovom 10 je:

$$N = d_n d_{n-1} \dots d_1 d_0{}_{(10)} = d_n \cdot 10^n + d_{n-1} \cdot 10^{n-1} + \dots + d_1 \cdot 10^1 + d_0 \cdot 10^0.$$

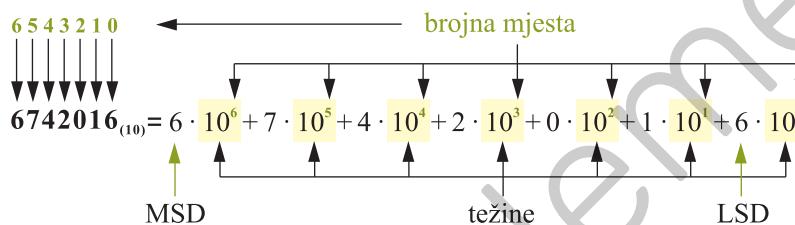
brojno mjesto znamenka težina

Pri pisanju dekadskih brojeva pišu se samo znamenke $d_n, d_{n-1}, \dots, d_1, d_0$, koje su cijeli brojevi, a težina pojedine znamenke određuje se prema položaju znamenke, odnosno prema brojnom mestu znamenke. Oznaka osnove obično se izostavlja.

Vrijednost svakog broja dobit ćemo tako da svaku znamenku pomnožimo s njenom težinom i sve zbrojimo.

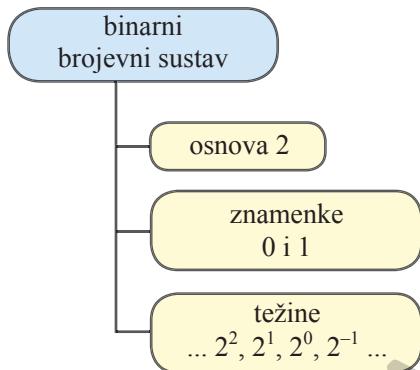
Primjer 1

Dekadski broj 6742016 možemo detaljnije prikazati na sljedeći način:

Rješenje

Znamenka 6 na lijevoj strani ima težinu 1 000 000, a znamenka 6 na desnoj strani ima težinu 1.

2.2.2. Binarni brojevni sustav

**Slika 2.10.**

Svojstva binarnog brojevnog sustava

Tablica 2.2.

Potencije broja 2

potencije broja 2		
n	2^n	
0	2^0	= 1
1	2^1	= 2
2	2^2	= 4
3	2^3	= 8
4	2^4	= 16
5	2^5	= 32
6	2^6	= 64
7	2^7	= 128
8	2^8	= 256
9	2^9	= 512
10	2^{10}	= 1024

Binarni brojevni sustav ima osnovu dva (2) i dvije znamenke: 0 i 1 (slika 2.10).

Opći prikaz prirodnog broja N u binarnom brojevnom sustavu ili u sustavu s osnovom 2 je:

$$N = b_n b_{n-1} \dots b_1 b_0 \cdot (2)_2 = b_n \cdot 2^n + b_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + b_1 \cdot 2^1 + b_0 \cdot 2^0.$$

brojno mjesto znamenka težina

Pritom znamenke $b_n, b_{n-1}, \dots, b_1, b_0$ mogu biti 0 ili 1.

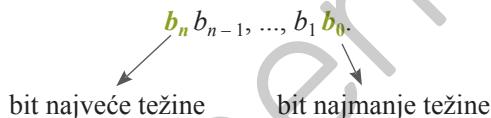
Binarni brojevni sustav je položajni, odnosno pozicijski brojevni sustav, kao i dekadski. Pritom najniže cijelobrojno mjesto ima težinu $2^0 = 1$, drugo mjesto ima težinu $2^1 = 2$, treće $2^2 = 4$, četvrto $2^3 = 8$ itd. Tablica 2.2 prikazuje neke potencije broja 2, odnosno težine n -tog brojnog mesta.

Na isti način brojna mjesta iza zareza imaju težine $2^{-1} = 0,5$, $2^{-2} = 0,25$ itd.

U binarnom brojevnom sustavu binarna se znamenka naziva **bit**, što je skraćeno od engleskog *binary digit* i označava se malim slovom b. Primjerice, tako je binarni broj 1101 4-bitni broj, 110011 6-bitni broj itd. Skupina od osam bitova zajedno čini **jedan bajt** (engl. *byte*) i označava se velikim slovom B ($1B = 8b$).

Najmanje značajan bit ili **bit najmanje težine** (engl. *least significant bit*, skraćeno LSB) je krajnji desni bit binarnog broja.

Najznačajniji bit ili **bit najveće težine** (engl. *most significant bit*, skraćeno MSB) je krajnji lijevi bit binarnog broja, primjerice:



Tablica 2.3 prikazuje dekadske brojeve od 0 do 15 i njihove binarne ekvivalentne. Binarni brojevi prikazani su kao 4-bitni. Pritom nule lijevo od najznačajnjeg bita (ispred zadnje jedinice u nizu) nemaju značenje, ali dodaju se da bi svi brojevi imali jednak broj bitova. Ovaj niz binarnih brojeva naziva se **prirodni 4-bitni niz**.

Najveći broj s n znamenaka koji se može predočiti u nekom brojevnom sustavu je $B^n - 1$, pri čemu je B osnova (baza) brojevnog

Tablica 2.3.

Dekadski, binarni i heksadekadski brojevi od 0 do 15

dekadski broj	binarni broj	heksadekadski broj
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F

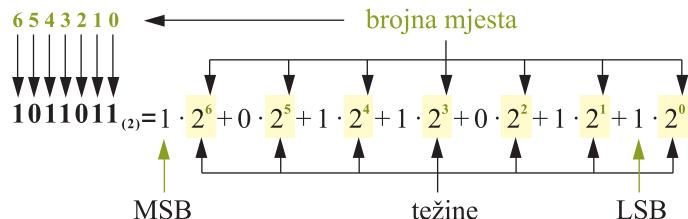
sustava. S četiri bita postoji $2^n = 16$ kombinacija ($n = 4$) što znači da se mogu prikazati dekadski brojevi od 0 do $2^n - 1 = 15$.

Brojeve u binarnom brojevnom sustavu čitamo znamenku po znamenku. Primjerice, broj 1011 čitamo kao jedan-nula-jedan.

Primjer 2

Binarni broj 1011011 možemo detaljnije prikazati na sljedeći način:

Rješenje



2.2.3. Oktalni brojevni sustav

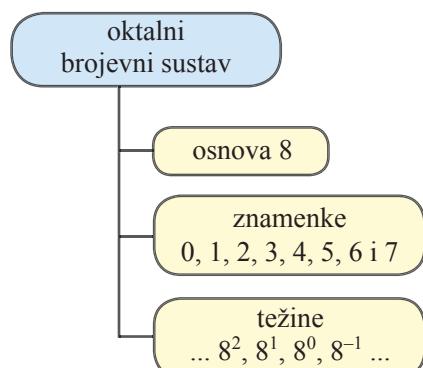
Oktalni brojevni sustav ima osnovu osam (8) i osam znamenaka: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 i 7 (slika 2.11).

Opći prikaz prirodnog broja N u oktalnom brojevnom sustavu ili sustavu s osnovom 8 je:

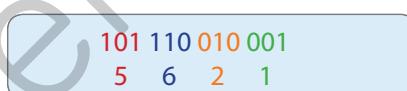
$$N = a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0 {}_{(8)} = a_n \cdot 8^n + a_{n-1} \cdot 8^{n-1} + \dots + a_1 \cdot 8^1 + a_0 \cdot 8^0.$$

brojno mjesto znamenka težina

Budući da je $8 = 2^3$, jedna oktalna znamenka zamjenjuje tri binarne znamenke (slika 2.12). U svakoj grupi od tri bita težine su 421. (tablica 2.4)

**Slika 2.11.**

Svojstva oktalnog brojevnog sustava

**Slika 2.12.**

Odnos oktalnog i binarnog sustava

Tablica 2.4.

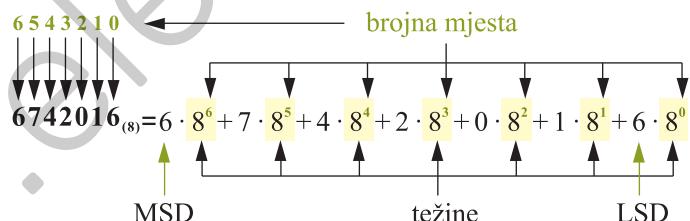
Odnos oktalnog i binarnog sustava

oktalni broj	binarni broj
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

Primjer 3

Oktalni broj 6742016 možemo detaljnije prikazati na sljedeći način:

Rješenje



2.2.4. Heksadekadski brojevni sustav

Heksadekadski brojevni sustav ima osnovu 16 i šesnaest znamenaka: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E i F (slika 2.13).

Za znamenke od 0 do 9 koriste se znamenke dekadskog brojevnog sustava, a za znamenke od $10_{(10)}$ do $15_{(10)}$ slova abecede sa značenjem: A = $10_{(10)}$, B = $11_{(10)}$, C = $12_{(10)}$, D = $13_{(10)}$, E = $14_{(10)}$ i F = $15_{(10)}$ (tablica 2.3).

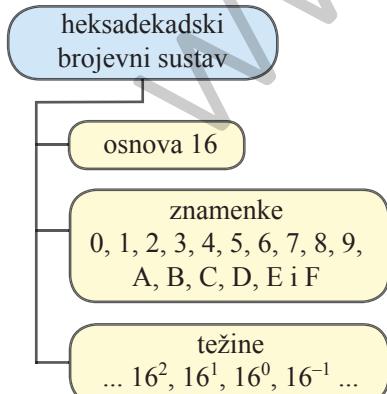
Opći prikaz prirodnog broja N u heksadekadskom brojevnom sustavu ili u sustavu s osnovom 16 je:

$$N = a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0 {}_{(16)} = a_n \cdot 16^n + a_{n-1} \cdot 16^{n-1} + \dots + a_1 \cdot 16^1 + a_0 \cdot 16^0.$$

brojno mjesto znamenka težina

Heksadekadski sustav koristi se da bi se skratio zapis broja u binarnom sustavu, pri čemu četiri binarne znamenke, odnosno četiri bita, predstavljaju jednu heksadekadsku znamenku (slika 2.14).

On služi samo kao pomoć programeru pri pisanju programa i konfiguriranju računalnih mreža. Prije unosa u računalo potrebno je podatke zapisane u heksadekadskom brojevnom sustavu pretvoriti u binarni brojevni sustav.



Slika 2.13.

Svojstva heksadekadskog brojevnog sustava

1011	0011	1111	0111
B	3	F	7

Slika 2.14.

Odnos heksadekadskog i binarnog sustava