

# *Računalniške komunikacije*



*Fizična  
plast*



# Vsebina

Plast	Podatkovna enota	Opis
aplikacijska	sporočilo	Visoko nivojski API.
predstavitvena		Predstavitev podatkov, kompresija, enkripcija/dekripcija.
sejna		Upravljanje sej (dvosmerna izmenjava informacij).
transportna	segment	Povezave med vozlišči, zanesljivost.
omrežna	datagram	Prenos med več vozlišči v omrežju, logično naslavljanje.
povezavna	okvir	Prenos okvirjev med dvema omrežnima napravama, povezanima s fizično plastjo, fizično naslavljanje.
fizična	bit	Prenos toka bitov po prenosnem mediju.



# Vsebina

- Fizična plast
  - digitalni in analogni signali, naloge fizične plasti
- Prenosni mediji
  - parice, koaksialni kabel, wifi, ...
- Prenos signala
  - digitalni in analogni podatki, nezaželeni pojavi, digitalizacija
- Modulacije
  - amplitudna, frekvenčna, fazna, ...
- Prenosni kanal



# Fizična plast

- Signal

- fizikalni pogled

- valovanje: tok sprememb fizikalne veličine

- pogled teorije informacij

- nosilec informacije o nečem
- kodirano sporočilo preko toka stanj

- matematični pogled

- funkcija  $f(t)$  v odvisnosti od časa  $t$
- čas: zvezen ali diskreten
- vrednost: zvezna ali diskretna

*električna napetost:  
amplituda, frekvenca, fazni kot*



# Fizična plast

- **Analogni signal:** zvezni čas, zvezna vrednost
  - teorija: skoraj „neskončna“ ločljivost
  - praksa: šum in popačenje
  - vrednost pogosto neposredno ustreza informaciji
  - potrebujemo ojačevalce
- **Digitalni signal:** diskretni čas, diskretna vrednost
  - pravokotna oblika, zaporedje pulzov
  - končna ločljivost, večja natančnost
  - lažje reproduciranje
  - potrebujemo A/D pretvornike

*binarni / logični signal:  
dve vrednosti 0 in 1*

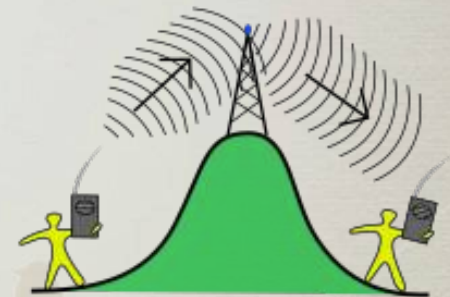
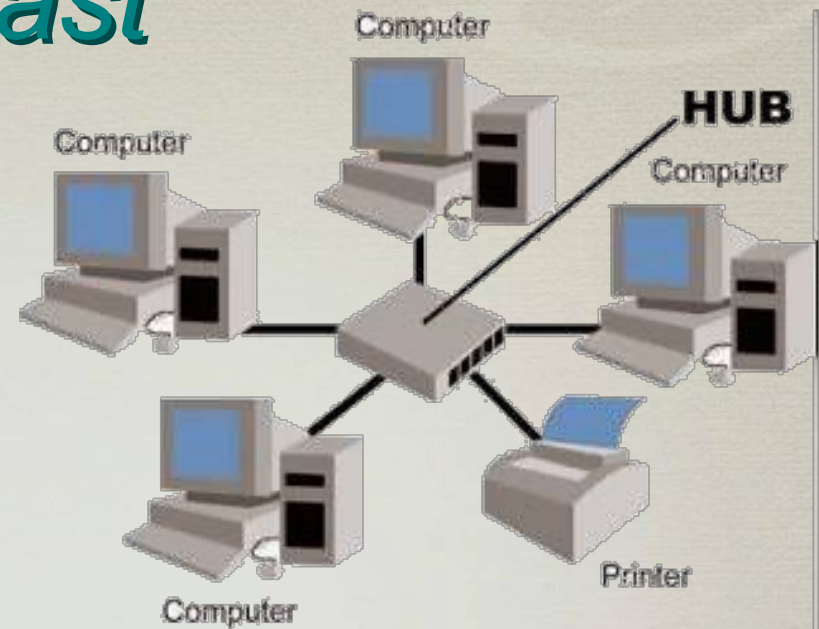
# Fizična plast

- Naloge fizične plasti
  - kodiranje bitov z digitalnim signalom
    - shema kodiranja
  - pretvorba toka bitov v digitalni signal
    - pretvornik
  - morebitna **modulacija**
    - kodiranje digitalnega signala z nosilnim, analognim
  - prenos signala po **prenosnem mediju**
    - bodisi analognega ali digitalnega
  - obvladovanje nezaželenih fizikalnih pojavov
    - slabljenje, popačenje, šum

# Fizična plast

- Omrežne naprave

- prenosni mediji: žice, zrak
- konektorji: vtičnice, antene
- omrežni vmesniki (kartice)
- modemi
- ponavljalnik (repeater), ojačevalnik
- **hub**: zvezdišče, razvejitveno vozlišče
  - repeater hub
- oddajnik (transmitter), sprejemnik (receiver)
  - oddajnik-sprejemnik (transceiver)



# Prenosni mediji

- Prenosni medij (transmission medium)

- naprava, ki omogoča razširjanje signala
- frekvenčna karakteristika

Kakšne frekvence lahko medij prenese?

- govor: 300 do 7.000 Hz, telefon: 500 do 3600 Hz
- hifi: 100-20000 Hz

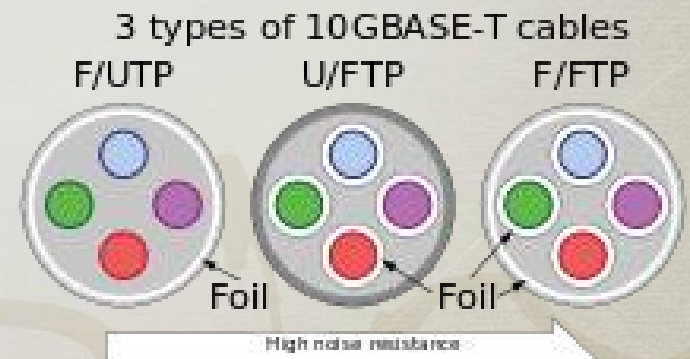
- vrste

- prenosljivi pomnilni mediji
- parica in zvita parica
- koaksialni kabel
- optični kabel
- brezžične povezave

# Prenosni mediji



- Parica in zvita parica
  - **parica**: dve vzporedni izolirani bakreni žici
  - **zvita parica**: prepleteni žici; manj neželenih pojavov
  - kabel vsebuje več paric
    - Ethernet: 4, InfiniBand: 8
  - različne vrste glede na oklop parice in kabla
    - UTP: unshielded twisted pair
    - FTP: foiled twisted pair
    - STP: shielded twisted pair
    - F/UTP: foiled cable shielding UTP
    - itd.



[https://en.wikipedia.org/wiki/Twisted\\_pair](https://en.wikipedia.org/wiki/Twisted_pair)

# *Prenosni mediji*

- Parica in zvita parica
  - cenovno ugodna
  - tankost, prilagodljivost, upogljivost
  - občutljivost na motnje, šume, prisluškovanje
  - kapaciteta: do 10 Gb/s
    - Ethernet: 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 Gb/s, 10 Gb/s
  - razdalje: nekaj kilometrov, lokalna omrežja



- **Koaksialni kabel**

- sestava

- notranja bakrena žica, dielektrik, zaščita, pleteni zunanji vodnik, ovoj

- odpornost proti motnjam

- malo sevanja, oteženo prisluškovanje

- višja cena

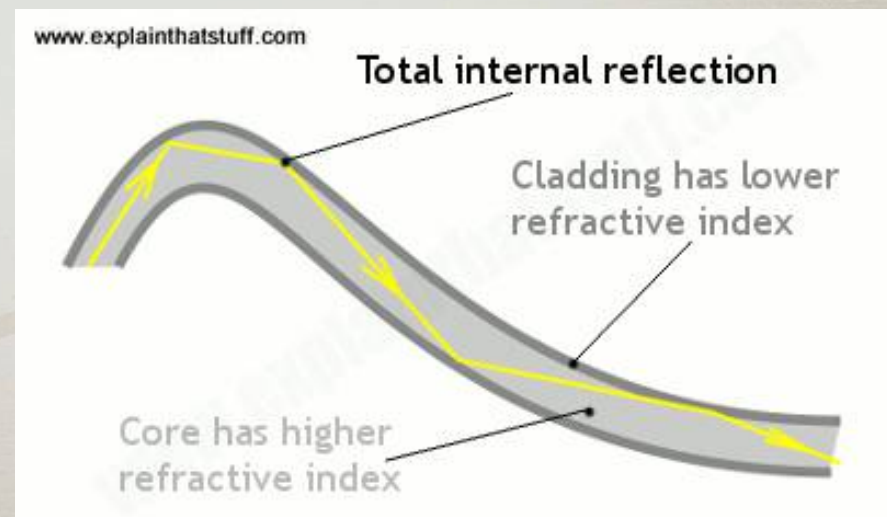
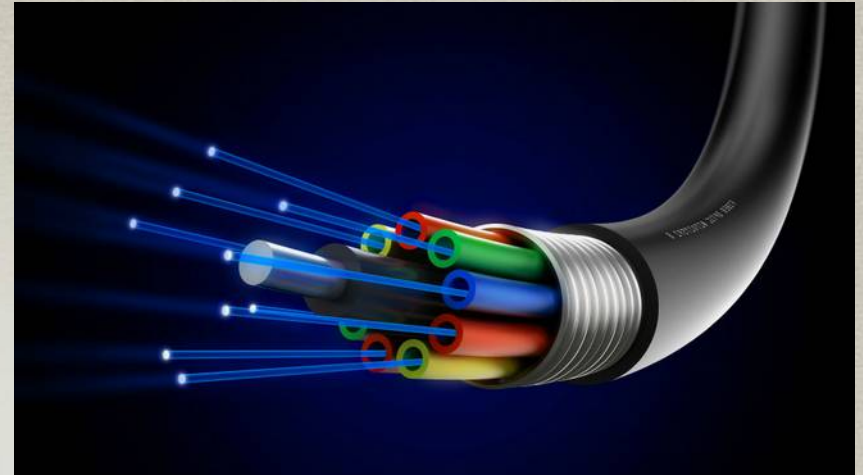
- okoren za polaganje, manj upogljiv

- kapaciteta: do 2 Gb/s

- razdalje: nekaj kilometrov

# Prenosni mediji

- Optični kabel
  - sestoji iz optičnih vlaken
  - optično vlakno
    - jedro in ovoj: popolni odboj
  - komponente optičnega sistema
    - izvor svetlobe: laserji, LED dioda
    - vlakno
    - detektor svetlobe: fotodioda



# Prenosni mediji

- Optični kabel

- najprej le za omrežne hrbtenice, danes tudi domače povezave (FTTH: fiber to the home)
- mehanska občutljivost, zahtevno spajanje
- težavno prisluškovanje
- kapaciteta: do 1 Tb/s ali več, v praksi nekaj Gb/s
- razdalja: do 100 km
- WDM: wavelength division multiplexing
  - uporaba več barv za prenos več signalov v enem vlaknu



# Prenosni mediji

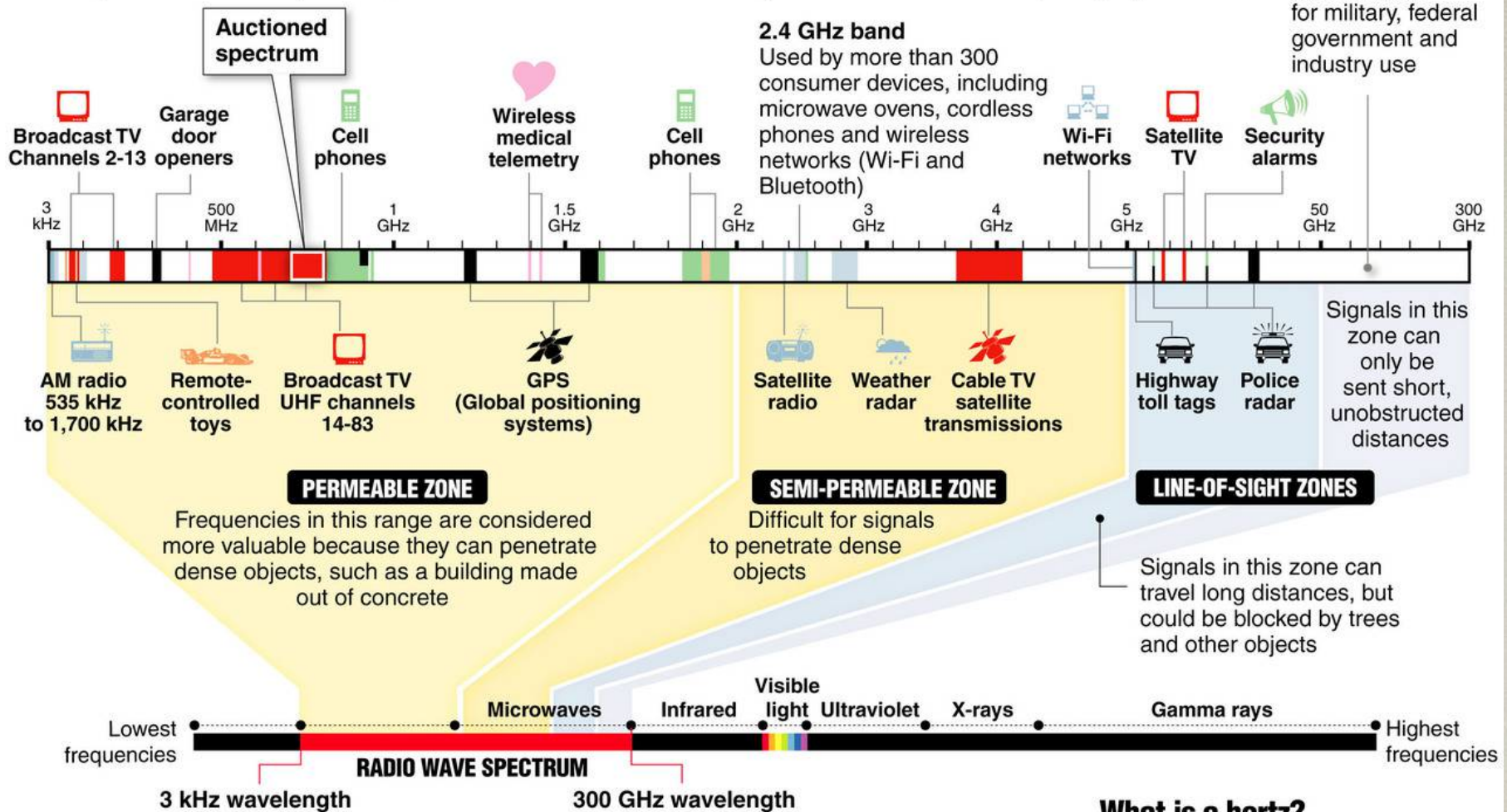
- Brežične povezave
  - medij: zrak, vakuum, tekočine, plini, ...
  - elektromagnetno valovanje
    - radijsko: WLAN, Bluetooth, GSM, ...
    - mikrovalovno: usmerjene povezave
    - infrardeče: vidna razdalja, majhne razdalje
    - satelitske povezave: velike razdalje, večja zakasnitev
  - mobilnost udeležencev
  - prilagodljivost medija :)



# Inside the radio wave spectrum

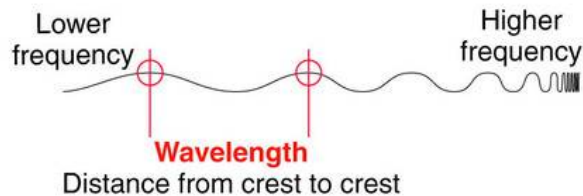
Almost every wireless technology – from cell phones to garage door openers – uses radio waves to communicate. Some services, such as TV and radio broadcasts, have exclusive use of their frequency within a geographic area. But many devices share frequencies, which can cause interference. Examples of radio waves used by everyday devices:

Most of the white areas on this chart are reserved for military, federal government and industry use



## The electromagnetic spectrum

Radio waves occupy part of the electromagnetic spectrum, a range of electric and magnetic waves of different lengths that travel at the speed of light; other parts of the spectrum include visible light and x-rays; the shortest wavelengths have the highest frequency, measured in hertz



## What is a hertz?

One hertz is one cycle per second. For radio waves, a cycle is the distance from wave crest to crest

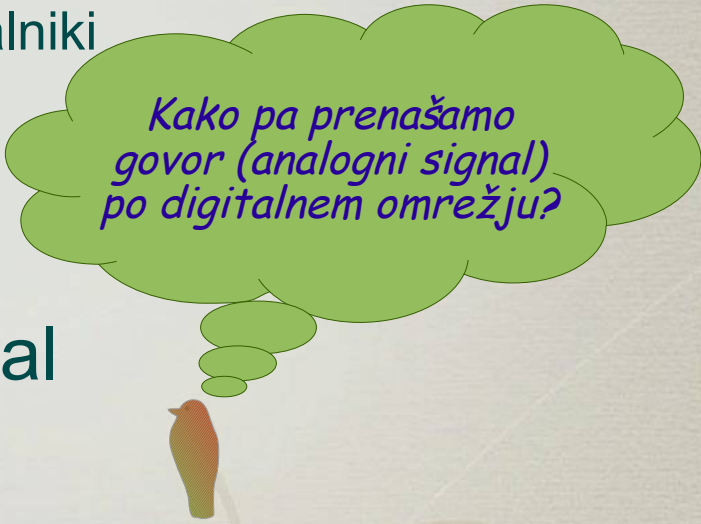
1 kilohertz (kHz) = 1,000 hertz

1 megahertz (MHz) = 1 million hertz

1 gigahertz (GHz) = 1 billion hertz

# Prenos signala

- Prenos analognega signala
  - uporaba klasičnih telekomunikacijskih omrežij
    - telefonsko omrežje, kabelska televizija
    - zahtevno vzdrževanje analognega omrežja
      - npr. telefonske centrale, dragi ponavljalniki
- Prenos digitalnega signala
  - prenašamo direktno digitalni signal
  - sočasno samo en signal
  - cenejše vzdrževanje omrežja



*Kako pa prenašamo  
govor (analogni signal)  
po digitalnem omrežju?*

# Prenos signala

- Nezaželeni pojavi

- sprememba signala zaradi fizikalnih vplivov

- **popačenje**

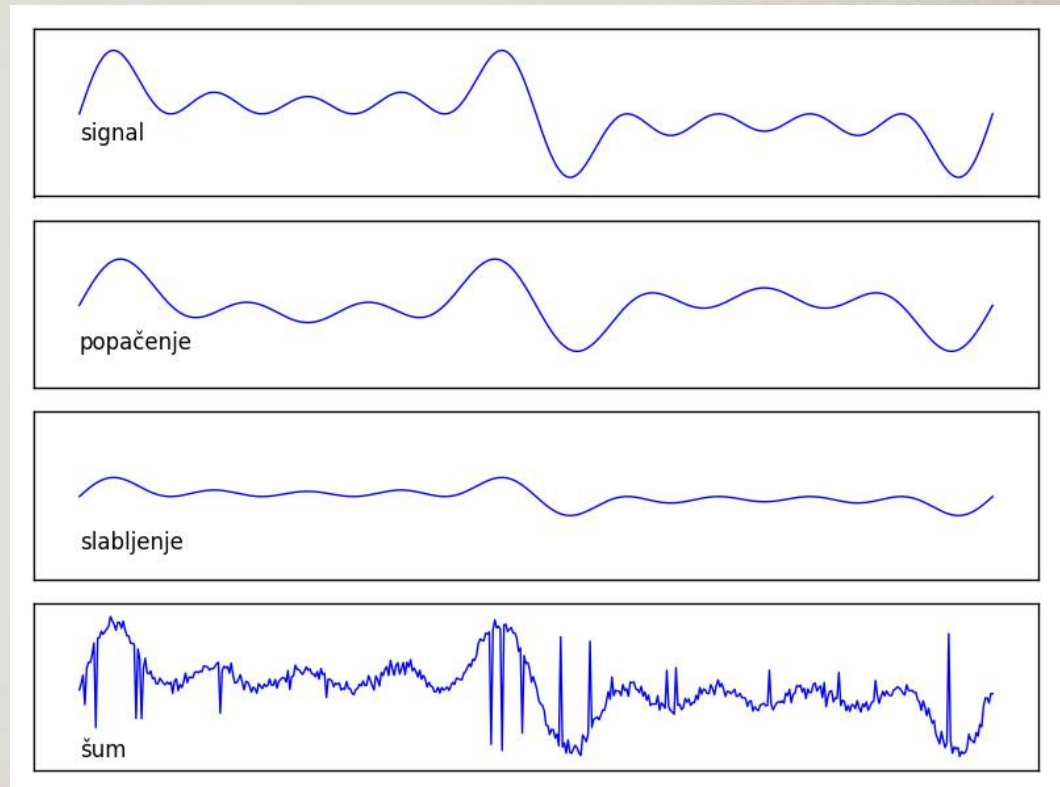
- zaradi karakteristike medija se nekatere frekvence izgubijo ali različno hitro prenašajo

- **slabljenje**

- moč signala upada z razdaljo od oddajnika

- **šum**

- vpliv signalov iz okolice
- termični šum: termalna vzburjenost elektronov
- presluh: vpliv signalov iz sosednjih povezav



# Prenos signala

	analogni signal	digitalni signal
<b>analogni podatki</b> (npr. govor)	<p>Kodiranje</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• signal lahko zavzame enak frekvenčni spekter kot podatki</li><li>• podatke kodiramo s primernejšim delom spektra</li></ul> <p>Primer</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• klasična telefonska povezava</li></ul>	<p>Kodiranje</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• potrebujemo <b>digitalizacijo</b> (vzorčenje in diskretizacija podatkov)</li></ul> <p>Primer</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• digitalna telefonska povezava, ISDN, VoIP</li></ul>
<b>digitalni podatki</b> (npr. izvorna koda)	<p>Kodiranje</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>modulacija</b> signala</li></ul> <p>Primer</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• faksimile</li><li>• modemi (telefonski, kabelski)</li></ul>	<p>Kodiranje</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• neposreden prenos</li></ul> <p>Primer</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• spletno brskanje preko DSL povezave</li></ul>

# Prenos signala

- Digitalizacija
  - (izguben) zapis analognega signala v digitalni obliki
    - **vzorčenje** v rednih časovnih presledkih
    - **kvantizacija**: zaokroževanje vzorca na cela števila
  - Nyquistov izrek
    - zadostuje vzorčiti vsaj z 2x višjo frekvenco od najvišje v signalu

## *„Telefonski“ govor*

- *frekvenčni razpon: 500-3600 Hz*
- *najvišja frekvenca: cca. 4000 Hz*
- *frekvenca vzorčenja:  $2 \times 4000 \text{ Hz} = 8000 \text{ Hz}$*
- *PCM standard: 8 bitov za zapis amplitude*
- *potrebna kapaciteta:  $8 \text{ bit} \times 8000 \text{ Hz} = 64 \text{ kbit/s}$*



# Modulacija

- **Nosilni signal/val (carrier signal/wave)**
  - periodična valovna oblika (navadno sinus)
  - frekvenca višja od najvišje frekvence v modulacijskem signalu
- **Modulacijski signal (modulating signal)**
  - signal, ki vsebuje informacije, ki jih želimo prenašati
  - modulira (spreminja) obliko nosilnega signala
  - lahko vpliva na amplitudo, frekvenco ali fazni kot nosilnega signala

# Modulacija

- Modulacija

- proces spreminjanja lastnosti nosilnega signala z modulacijskim signalom
- poteka v oddajniku oz. modulatorju
- **digitalna** modulacija
  - modulacijski signal je digitalen



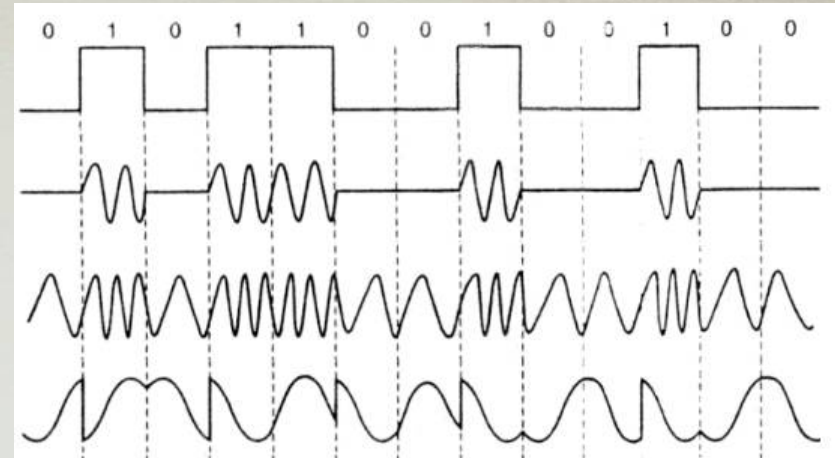
- Demodulacija

- proces izločevanja prvotne oblike signala
- poteka v sprejemniku oz. demodulatorju

# Modulacija

- Amplitudna modulacija

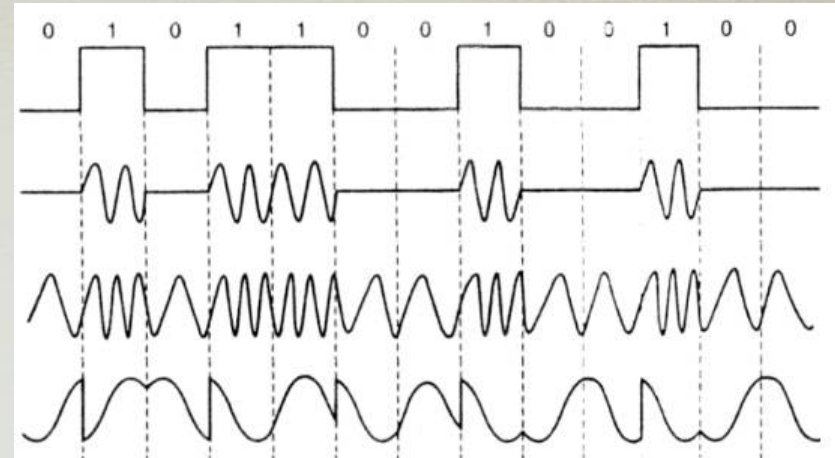
- različni simboli predstavljeni z različno amplitudo
  - 0 → tih pisk / tišina
  - 1 → glasen pisk
- ASK (amplitude-shift keying)
  - B-ASK (binary ASK)
  - OOK (on/off keying)
- lastnosti
  - občutljivost na šum
  - dobra izraba pasovne širine (spektralna učinkovitost)



# Modulacija

- Frekvenčna modulacija

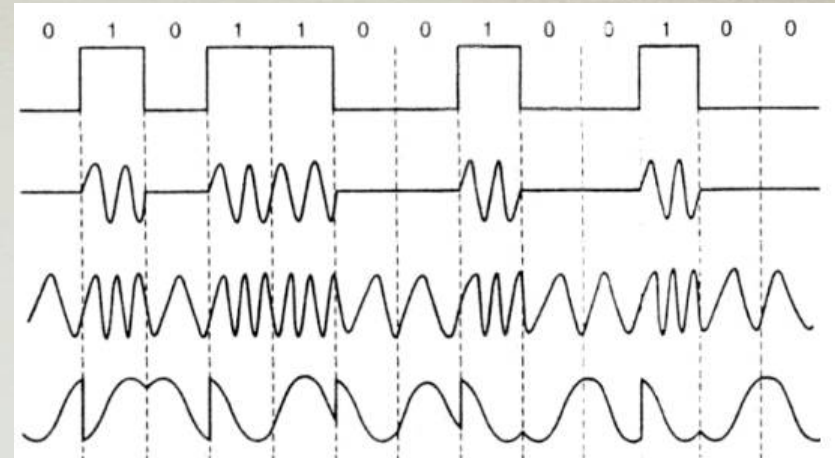
- različni simboli predstavljeni z različno frekvenco
  - 0 → nizek pisk
  - 1 → visok pisk
- FSK (frequency-shift keying)
  - binarni FSK
- lastnosti
  - boljša odpornost na šum
  - manjša spektralna učinkovitost



# Modulacija

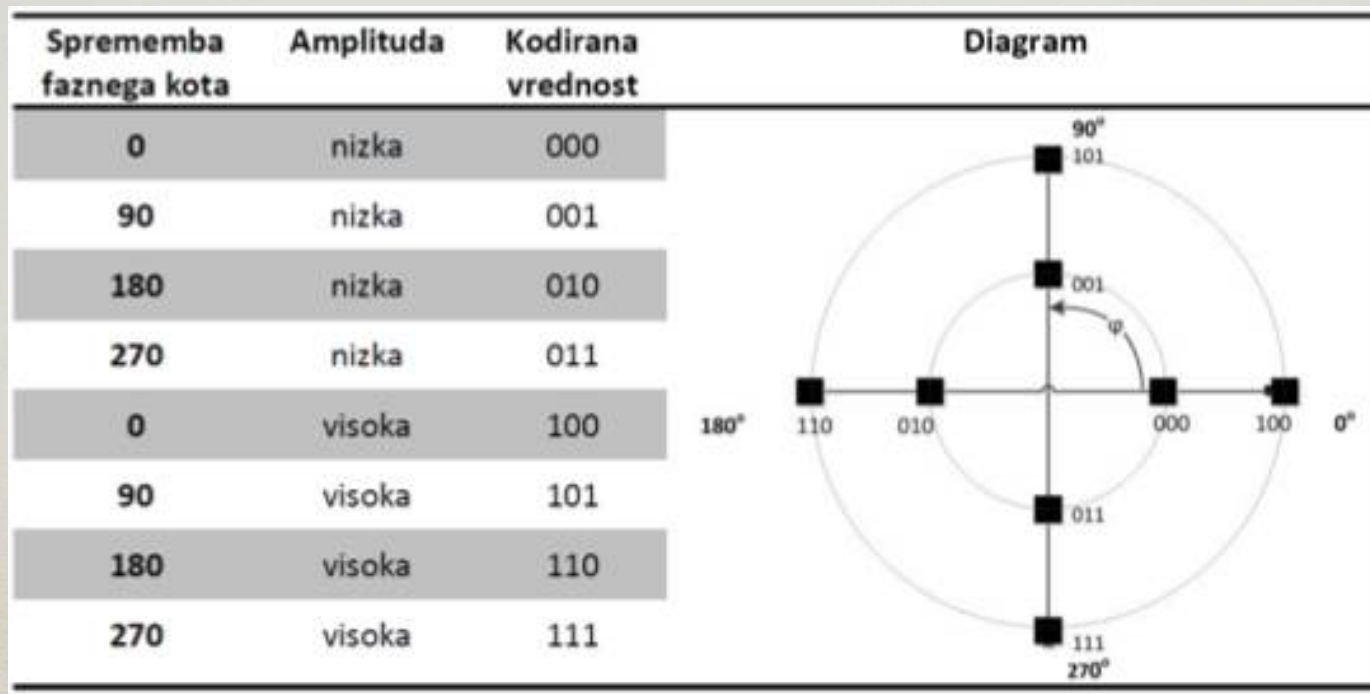
- Fazna modulacija

- različni simboli predstavljeni z različnim faznim kotom
  - $0 \rightarrow 0^\circ$ ,  $1 \rightarrow 180^\circ$
- PSK (phase-shift keying)
- lastnosti
  - boljša odpornost na šum
  - manjša spektralna učinkovitost



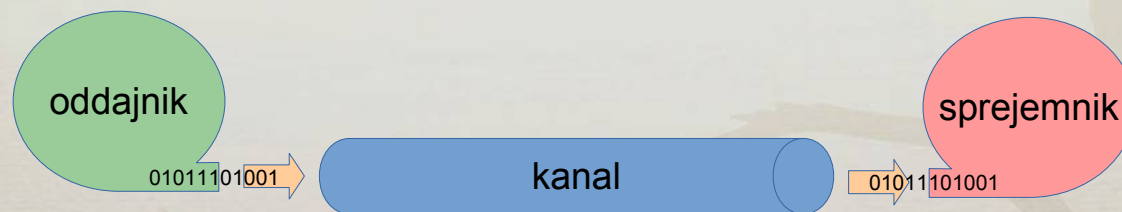
# Modulacija

- Kvadratura modulacija
  - kombinacija amplitudne in fazne
  - konstelacijski diagram



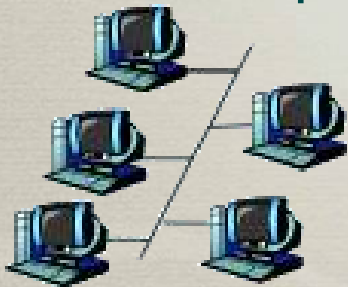
# Prenosni kanal

- Prenosni kanal
  - logični model povezave preko prenosnega medija
    - **multipleksiranje**: več kanalov preko enega medija
  - kapaciteta kanala [b/s, bit/s, bps]
    - **tok bitov**: v računalniških omrežjih se vedno prenašajo binarni podatki
    - namesto frekvenčne karakteristike prenosnega medija nas zanima kapaciteta kanala



# Prenosni kanal

- Število priključkov (točk) na kanal
  - dvotočkovni (point-to-point) kanal
    - en oddajnik in en sprejemnik
    - protokoli: SLIP, PPP, HDLC
  - skupni / deljeni / oddajni (broadcast) kanal
    - več oddajnikov, več sprejemnikov
    - obravnava trkov
    - protokoli: Ethernet, WiFi



deljeni kabel



deljen frekv. spekter  
(e.g., 802.11 WiFi)



deljen satelitski  
signal



analogija: pogovor na  
zabavi (medij: zrak,  
ki prenaša govor)

# Prenosni kanal

- Smernost kanala
  - **enosmeren** kanal (simplex)
    - v računalniški omrežjih skorajda ne obstaja
    - klasični TV, radio
    - senzorska omrežja
  - **izmenično dvosmeren** kanal (half duplex)
    - izmenično odprta cesta
    - možnost trkov (kolizija)
    - walkie-talkie
  - **sočasno dvosmeren** kanal (full duplex)
    - telefon

# Prenosni kanal

- Ostale lastnosti
  - lokalni kanal in omrežni kanal
    - **lokalni**: povezuje računalnik z omrežnim vozliščem
    - **omrežni**: povezuje dve omrežni vozlišči
  - zaporednost kanala
    - **zaporedni / serijski** kanal: zaporedni prenos bit za bitom
    - **vzporedni / paralelni** kanal: prenos več bitov hkrati
      - redkost v računalniški omrežjih

# Prenosni kanal

- Sinhronizacija prenosa

- **asinhroni** kanal

- sinhronizacija ob prenosu vsakega znaka
    - začetni in končni sinhronizacijski biti
    - slaba izkoriščenost
      - npr. prenos 1 bajta lahko zahteva še  $4=1+2+1$  (začetni+končni+pariteta) bitov: 50% izkoriščenost

- **sinhroni** kanal

- sinhronizacija na nivoju paketa
    - danes izključno ta način

# Prenosni kanal

- Primeri

- Vzporedna vrata (LPT, parallel port, ...)
  - vzporeden, dvotočkoven, prvotno enosmeren
- RS-232 zaporedna vrata (serial port)
  - zaporeden, dvotočkoven, sočasno dvosmeren, asinhron
- USB vrata (universal serial bus)
  - zaporeden, skupen, asimetričen: gostitelj / naprava
- Ethernet
  - zaporeden, skupen, izmenično dvosmeren, kolizijski
- Token Ring
  - zaporeden, skupen, izmenično dvosmeren, nekolizijski