

UNIVERZITET CRNE GORE

# RAČUNARSKE MREŽE

**Doc. dr Uglješa Urošević**

`ugljesa@ucg.ac.me`

# Pojam telekomunikacija

---

- **Telekomunikacije** (elektronske komunikacije) predstavljaju naučno-stručnu oblast koja se bavi prenosom poruka između dva ili više udaljenih korisnika, obično putem električnih signala.
- Poruke koje treba prenijeti sa jednog mjesta (njihovog izvora) do drugog (mjesta prijema, destinacije) mogu da budu u različitim formama: pisani tekst, govor, muzika, nepokretna i pokretna slika, podaci,...
- Riječ “telekomunikacije” potiče od grčke riječi “**tele**”, što znači **udaljen** (daleko) i latinske riječi “**communicare**”, što znači **komunicirati**
  - Savremena upotreba riječi telekomunikacije potiče iz francuskog jezika, jer je prva pisana upotreba ovog termina zabilježena **1904. godine** od strane francuskog inženjera Edouarda Esauie-a

# Pojam telekomunikacija

---

- Prema definiciji Međunarodne telekomunikacione unije (ITU – *International Telecommunications Union*), specijalizovane agencije UN-a za oblast informacionih i komunikacionih tehnologija,

telekomunikacije predstavljaju svako emitovanje, prenos ili prijem poruka na daljinu u vidu signala, od izvora informacija do korisnika, korišćenjem žičanih, radio, optičkih ili drugih elektromagnetnih sistema.

- Poruke su sve ono što se u telekomunikacijama prenosi, a informacija koja se prenosi je sadržana u poruci.
- **Signal** predstavlja električni ili elektromagnetni ekvivalent poruke koja se prenosi.

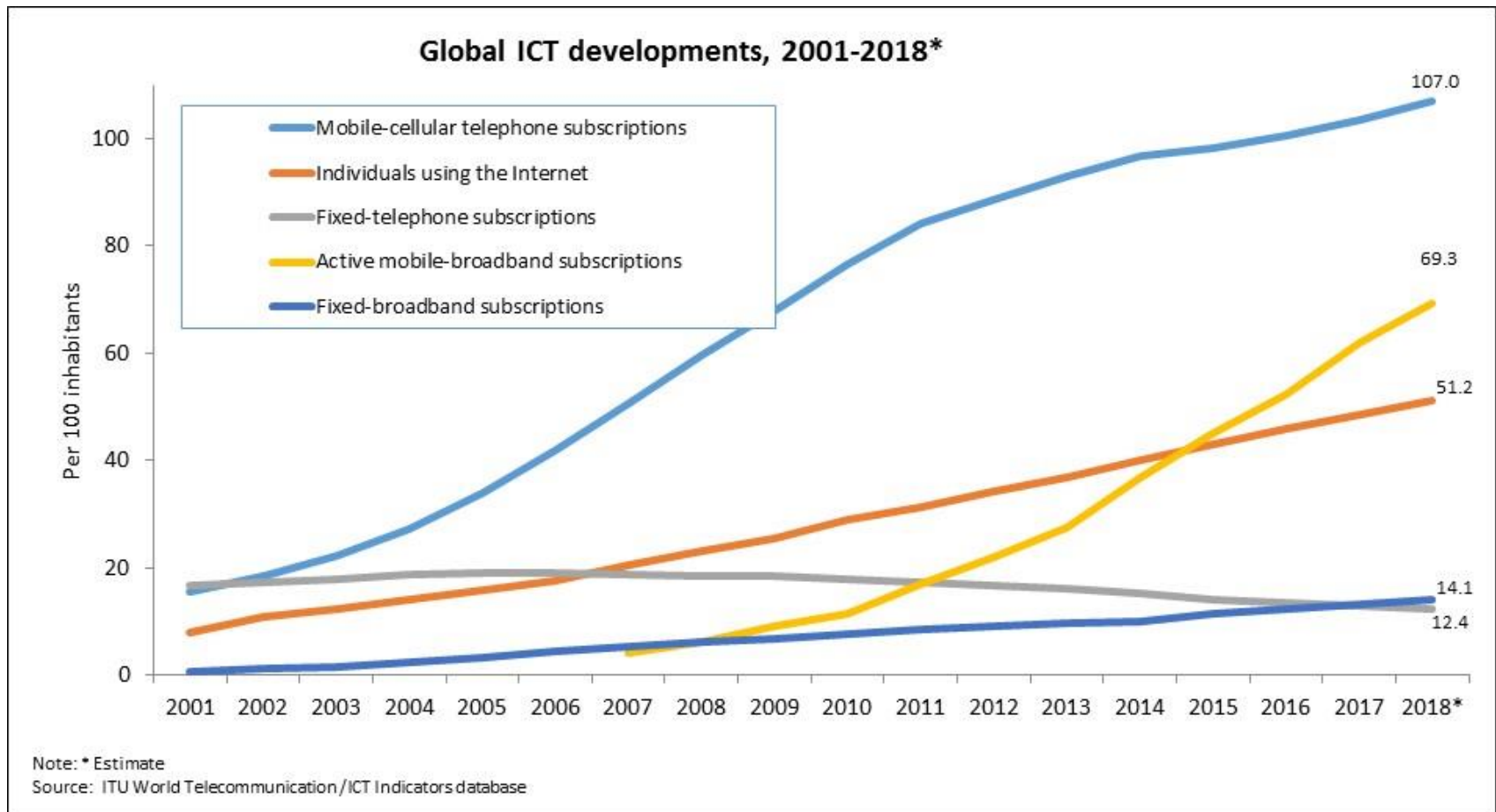
# Značaj telekomunikacija

---

- Telekomunikacije predstavljaju značajan dio moderne ekonomije. Prihod telekomunikacionih kompanija standardno iznosi **oko 5%** ukupnog svjetskog bruto proizvoda.
- Telekomunikacije se ubrajaju u infrastrukturne privredne grane i ulaganja u telekomunikacionu i informacionu infrastrukturu jedan su od glavnih pokretača ekonomskog napretka neke zemlje.
- Za privredu, informaciono-komunikacione tehnologije (ICT – *Information and Communication Technologies*) su sredstvo za modernizaciju i poboljšanje konkurentnosti, a za građane predstavljaju sredstvo za bolji pristup informacijama i poboljšanje kvaliteta života.
- Za društvo, one pružaju nove metode komunikacije i socijalnog dijaloga, doprinose smanjenju socijalnih i geografskih diskriminacija.

# Značaj telekomunikacija

- Procjena ITU-a je da je **krajem 2018. god.** bilo **3,9 milijardi** (51,2% svjetske populacije) **korisnika Interneta**
- U Evropi oko 80% populacije koristi Internet



# Istorijski razvoj

---

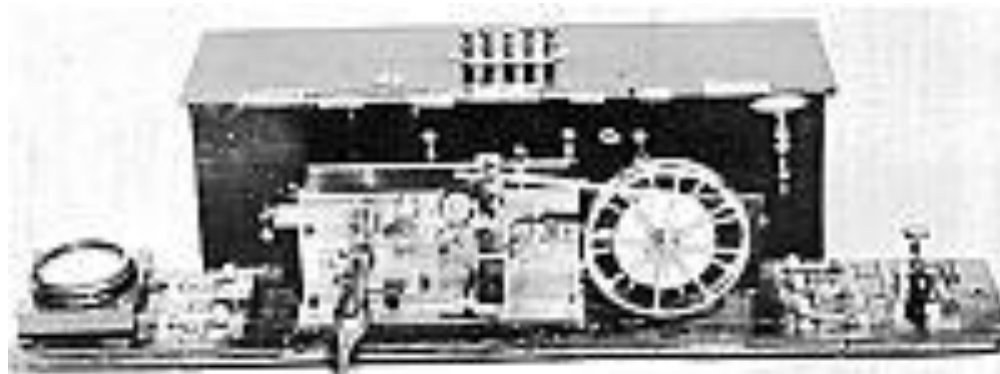
- Potreba za komuniciranjem među ljudima postoji oduvijek, pri čemu su se koristili razni načini kako bi se ostvarila komunikacija na daljinu, odnosno prenijele poruke: paljenje vatre i dimni signali, glasnici, golubovi, bubnjevi, zastave i fiksni sistemi za vizuelnu telegrafiju (semafori) ...

Stanica sistema za vizuelnu telegrafiju



# Istorijski razvoj

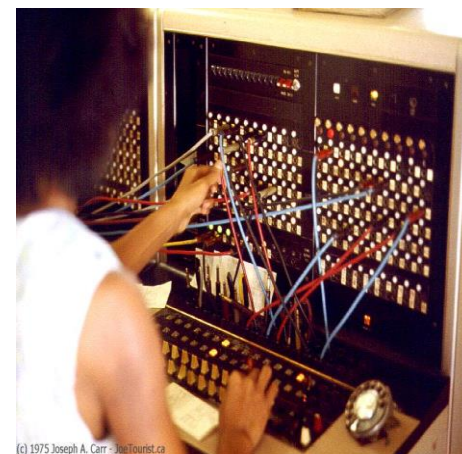
- **24. maj 1844.** god. može se smatrati danom početka elektronskih komunikacija. Tog dana **Morse** je ostvario prvi ***telegrafski prenos*** između Vašingtona i Baltimora.
- Već 1851. godine 50 preduzeća u SAD eksploatisalo je Morseov patent. Iste godine položen je prvi podmorski telegrafski kabl između Francuske i Engleske
- 1866. god. je položen prvi transatlantski kabl između Nove Zemlje i Irske.



*Morseov telegraf*

# Istorijski razvoj

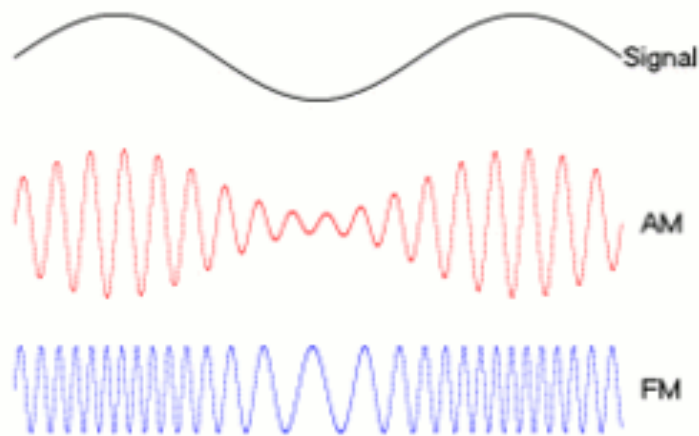
- Savršeniji vid prenosa poruka predstavlja **telefonija** čijim se začetnikom smatra **Graham Bell** (patentiran **1876. god.**). Zvučna energija govora se pretvara u električni signal koji se prenosi do drugog aparata u kome se vrši konverzija električne energije u zvučni signal.
- 1890. god. počinje realizacija telefonskih mreža u čijem su središtu manuelne telefonske centrale.
- Godine 1892. postavljena je prva automatska telefonska centrala.



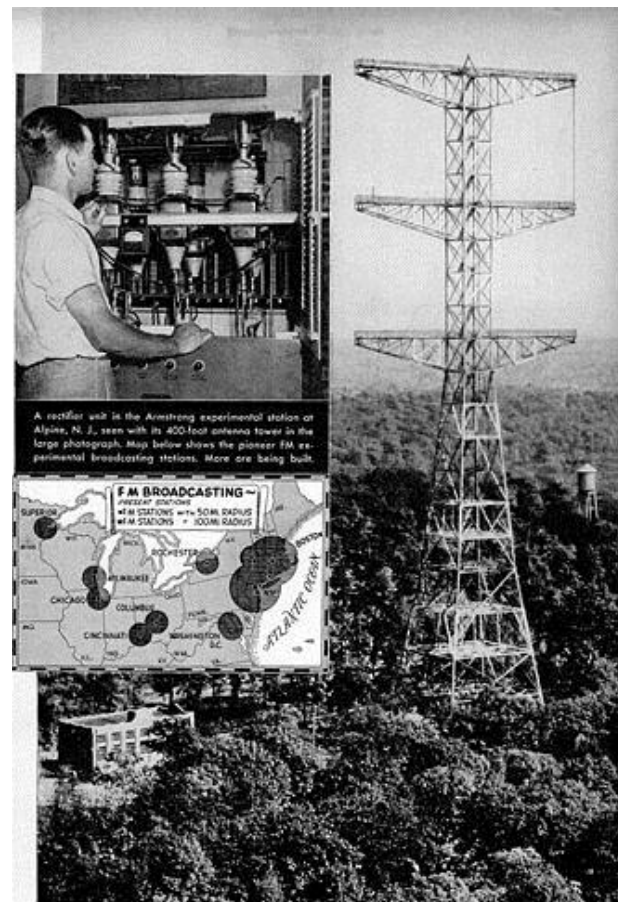


# Istorijski razvoj

- Prva radio stanica koje je emitovala vijesti putem radio difuzije počela je sa radom 31. avgusta **1920.** godine u Detroitu.
- **1933.** godine Edwin Armstrong je patentirao **FM radio**



- **27. novembra 1944.** godine, u tek oslobođenom Cetinju, oglasilo se Radio Cetinje, vijestima i izvještajima sa ratišta.

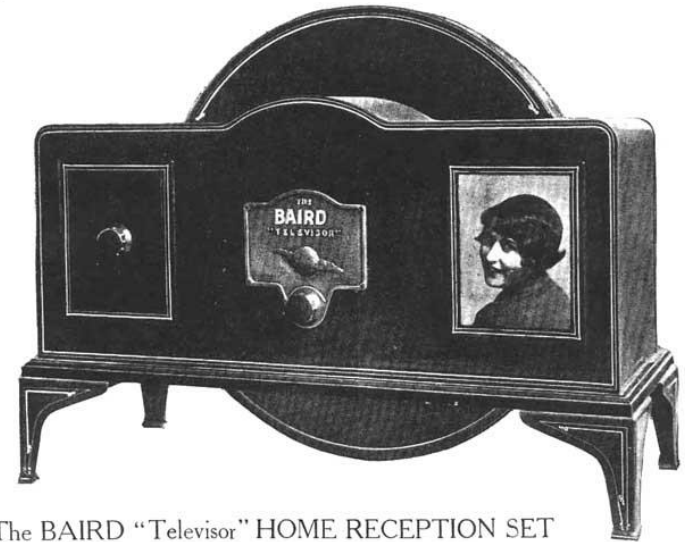


*Jedna od prvih FM radio stanica u New Jersey-u. Toranj i danas postoji.*

# Istorijski razvoj

---

- **1927. god.** je ostvaren prvi prenos **televizijskog signala** između Njujorka i Vašingtona.
- 1928. god. u SAD-u je demonstriran prvi potpuno elektronski TV sistem

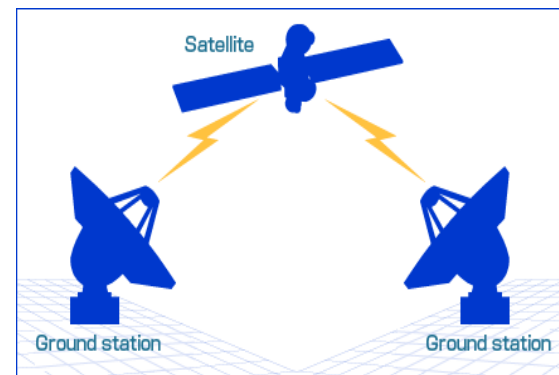


The BAIRD "Televisor" HOME RECEPTION SET

- Prva televizijska slika u Crnoj Gori viđena je **1956.** na Jezerskom vrhu na Lovćenu - program italijanske televizije.
- Kao zvaničan početak rada Televizije Crne Gore, tada Televizije Titograd, uzima se **4. maj 1964.** godine
- **1956. godine** postavljen **prvi telefonski podmorski kabl** između SAD i Engleske kojim se moglo prenijeti istovremeno 36 govornih signala (51 regeneratorska stanica)

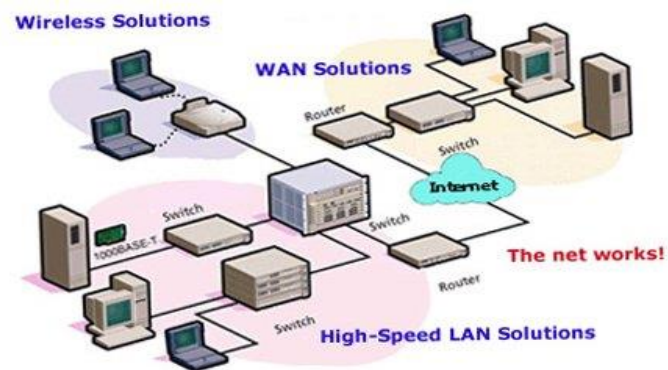
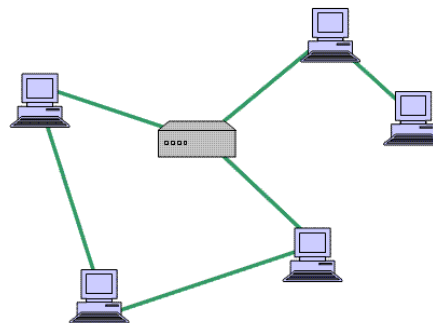
# Istorijski razvoj

- U **avgustu 1960.** bio je lansiran prvi telekomunikacioni, **pasivni satelit** "Echo 1", a oktobra iste godine prvi **aktivni satelit** "Courier IB".
- 1962. god. lansiran je satelit TELSTAR 1 (LEO) sa 60 telefonskih vodova, a omogućio je i prvi interkontinentalni TV prenos
- 1965. god. ostvaren je prvi eksperimentalni prenos TV slike u boji preko satelita.
- Lansiranjem telekomunikacionih satelita otvara se nova era u oblasti telekomunikacija



# Istorijski razvoj

- 1960. god. razvoj lasera
- **1965. god.** prvi put demonstriran prenos podataka fiber-optičkim kablom (Telefunken Research Labs)
- 1970-tih godina se proizvode prva kabla sa optičkim vlaknima koja imaju zadovoljavajuće malo slabljenje (manje od 20dB/km)
- 1960-tih do 1970-tih god. razvoj računarskih sistema dovodi do potrebe za povezivanjem računara.
- **1969. god.** ARPAnet pušten u rad (početak Interneta) a 1972. je ARPA net javno prezentovan na ICC-u
- 1980-1990-tih god. lokalne računarske mreže (LAN) su u širokoj upotrebi. 1990-tih počinje primjena WLAN mreža



# Istorijski razvoj

- Druga polovina 20. vijeka donosi intenzivan razvoj ***mobilnih radio komunikacija i optičkih komunikacija***. Prvi pokušaji na tom polju su bili radiofoni (voki-toki), zatim dispečerski sistemi, radio-pejdžing sistemi, mobilni radio-telefonski sistemi koji obezbjeđuju sve što i fiksni telefonski sistemi.



2000  
0.02x traffic



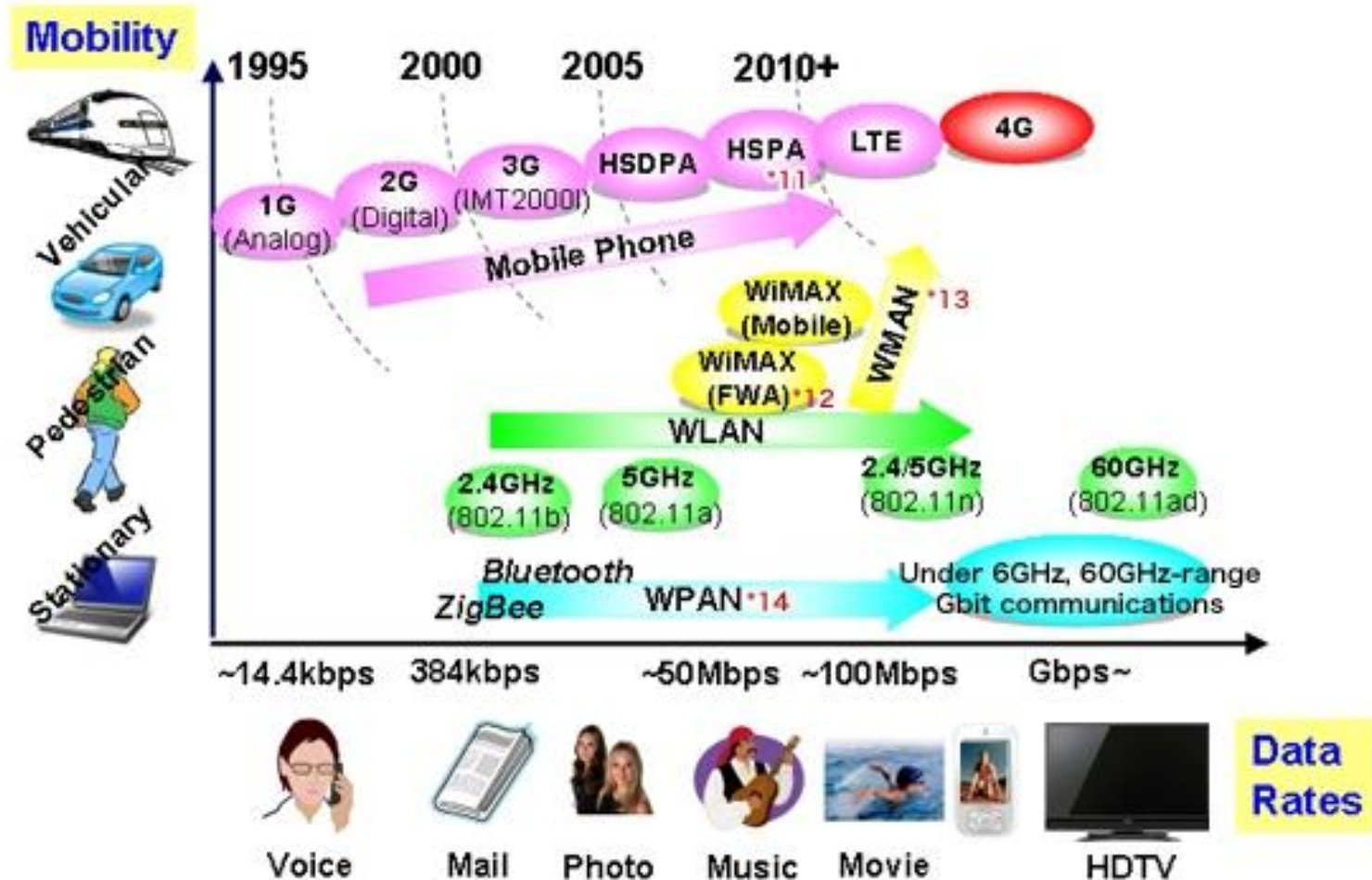
2010  
1x traffic



2020  
~ 500x traffic

# Značaj telekomunikacija

- Od 1980-tih, do danas → **Mobilne komunikacije**.



# Trendovi u telekomunikacijama

- Primarni cilj telekomunikacija je bio ostvarivanje komunikacije između ljudi (*Human-to-human communications*)



# Trendovi u telekomunikacijama

---

- *Human-to-human communications*





# Trendovi u telekomunikacijama

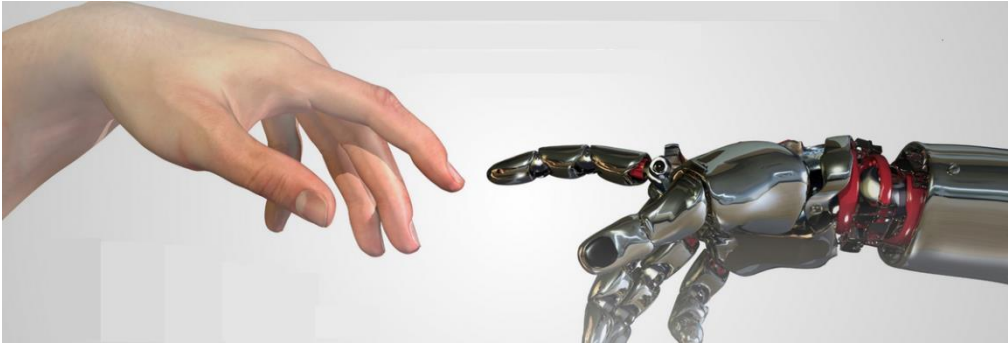
- Može se reći da je **konvergencija** savremenih telekomunikacionih sistema omogućila ostvarivanje komunikacije **bilo gdje, bilo kada i sa bilo kim**, nezavisno od vrste korisničkog terminala.



Sa bilo kim

# Trendovi u telekomunikacijama

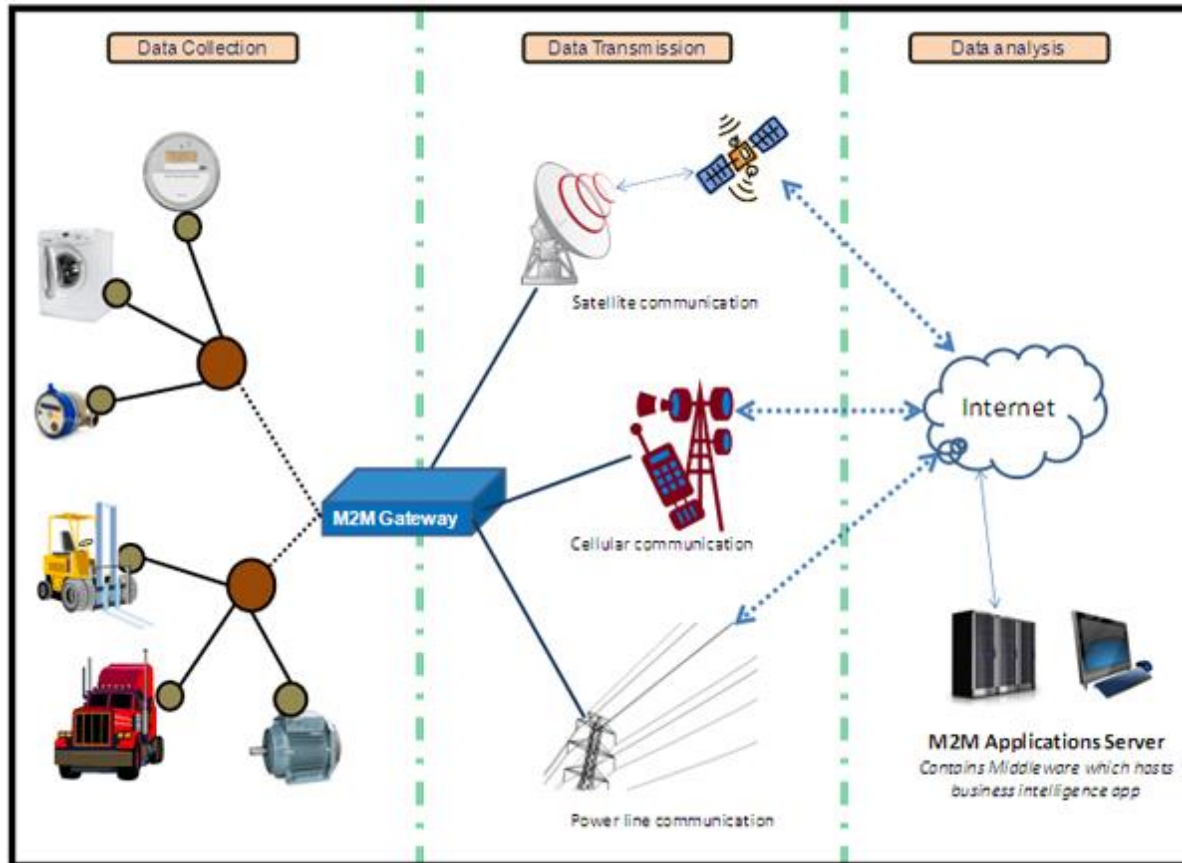
- *Human-to-machine (H2M) communications*



- Podrazumijeva se da se na drugoj strani telekomunikacionog sistema nalazi mašina koja pruža različite tipove servisa ljudima.
- Sa razvojem računarskih tehnologija, a posebno ekspanzijom Interneta, H2M komunikacije dobijaju sve veći značaj

# Trendovi u telekomunikacijama

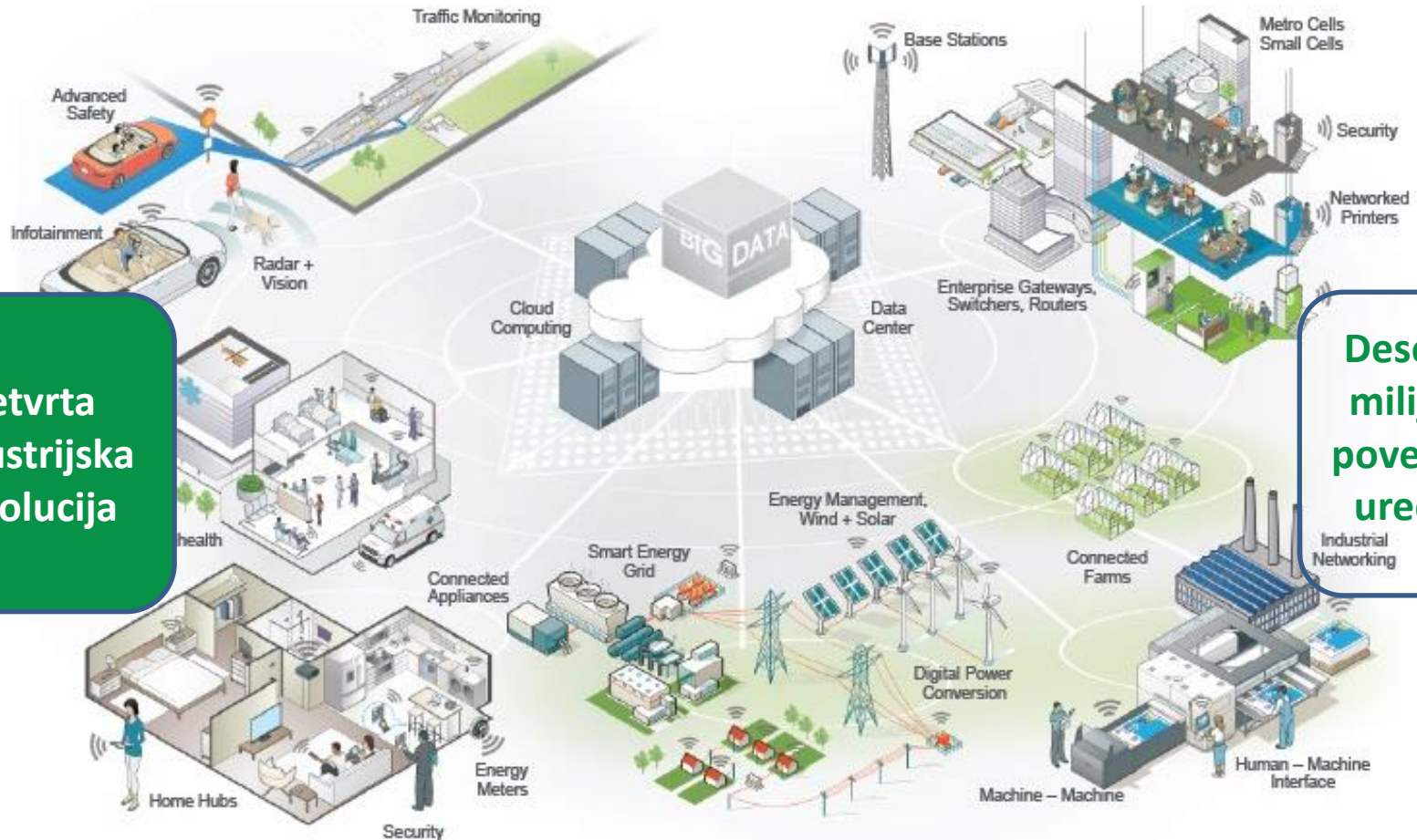
- *Machine-to-machine (M2M) communications*



- M2M komunikacije podrazumijevaju komunikaciju između neke mašine, ili uređaja i udaljenog računara (servera), bez učešća ljudi.

# Trendovi u telekomunikacijama

- Internet stvari (**Internet of Things – IoT**)

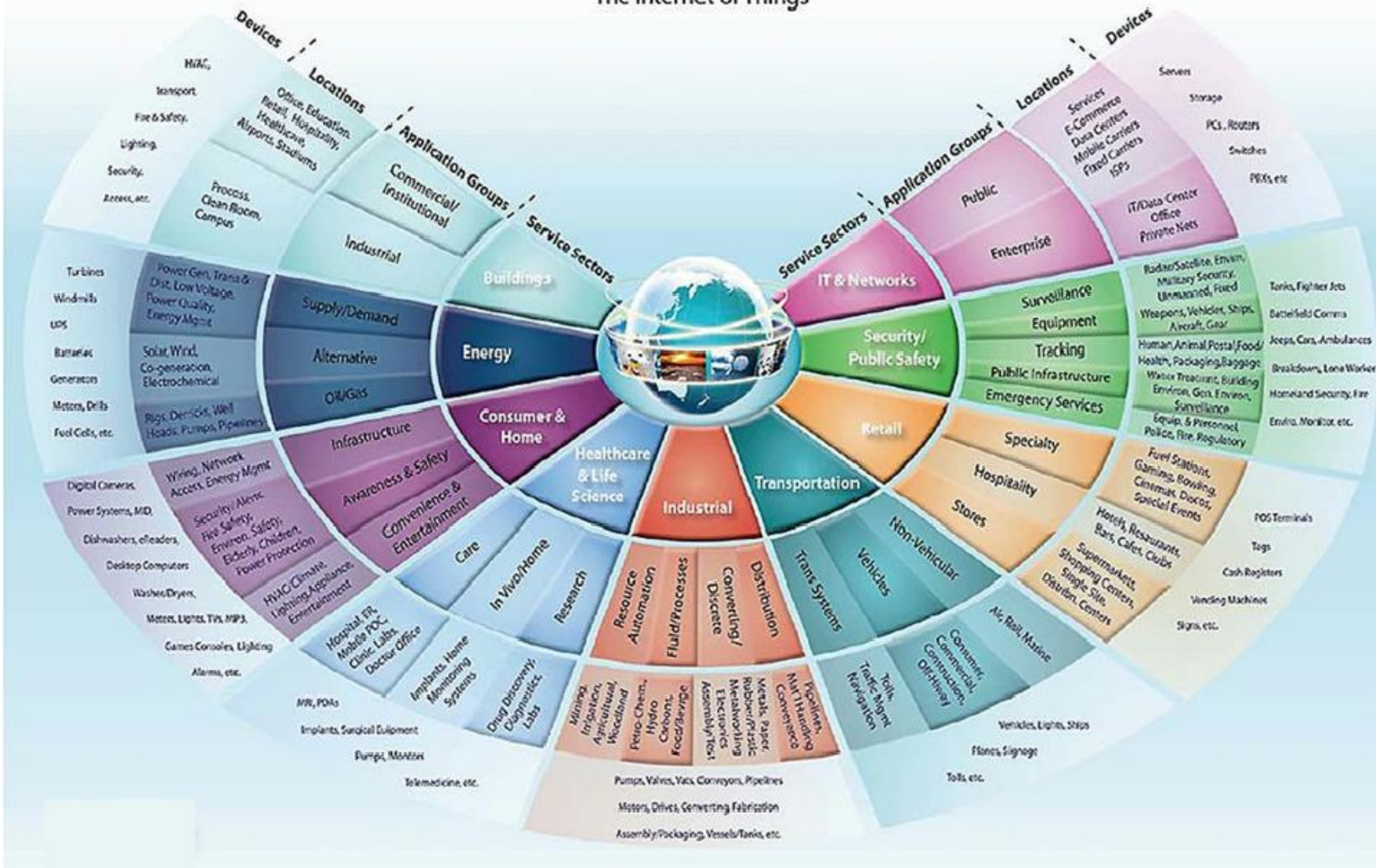


Četvrta  
industrijska  
revolucija

Desetine  
milijardi  
povezanih  
uređaja

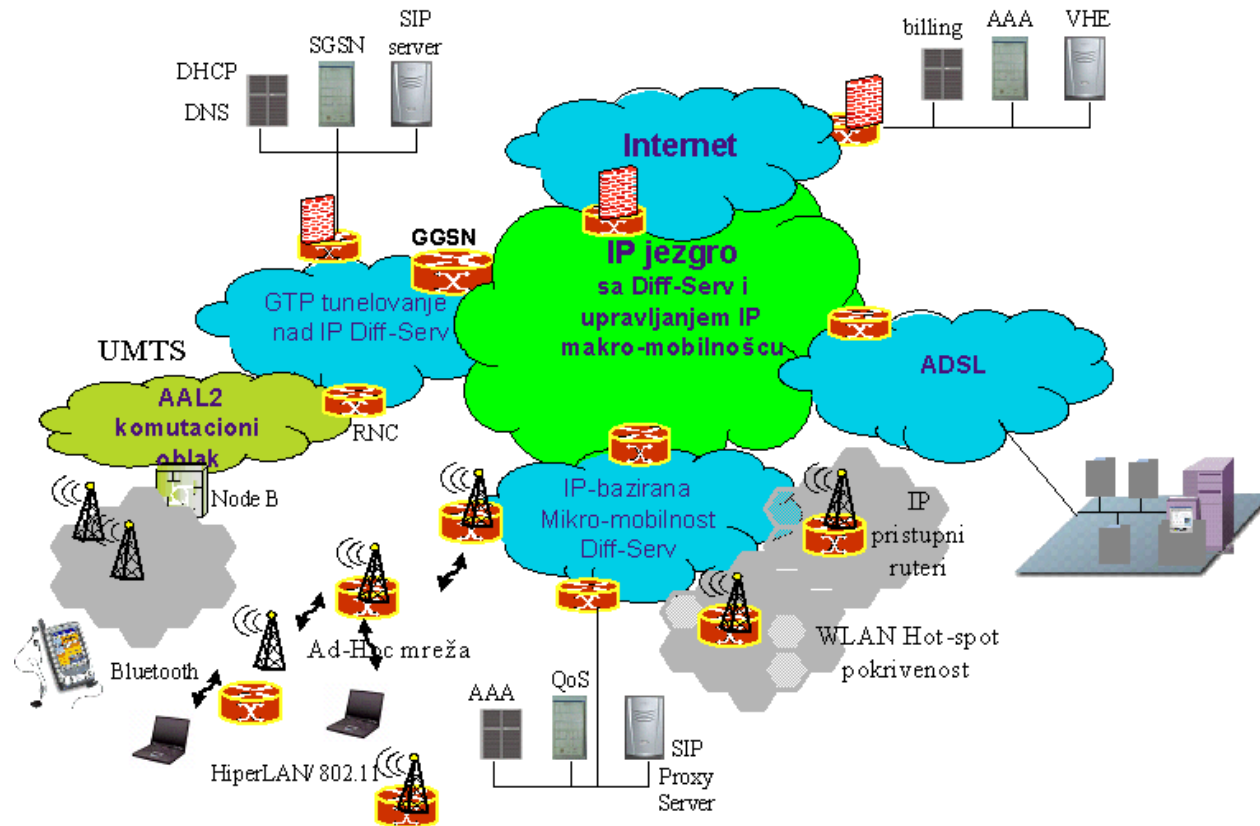
# Oblasti primjene IoT

The Internet of Things



# Trendovi u telekomunikacijama

- Osnovni trend savremenih telekomunikacija je **konvergencija**, koja podrazumijeva ostvarivanje komunikacije bilo gdje, bilo kad i sa bilo kim, nezavisno od vrste korisničkog terminala.



All-IP komunikaciona mreža

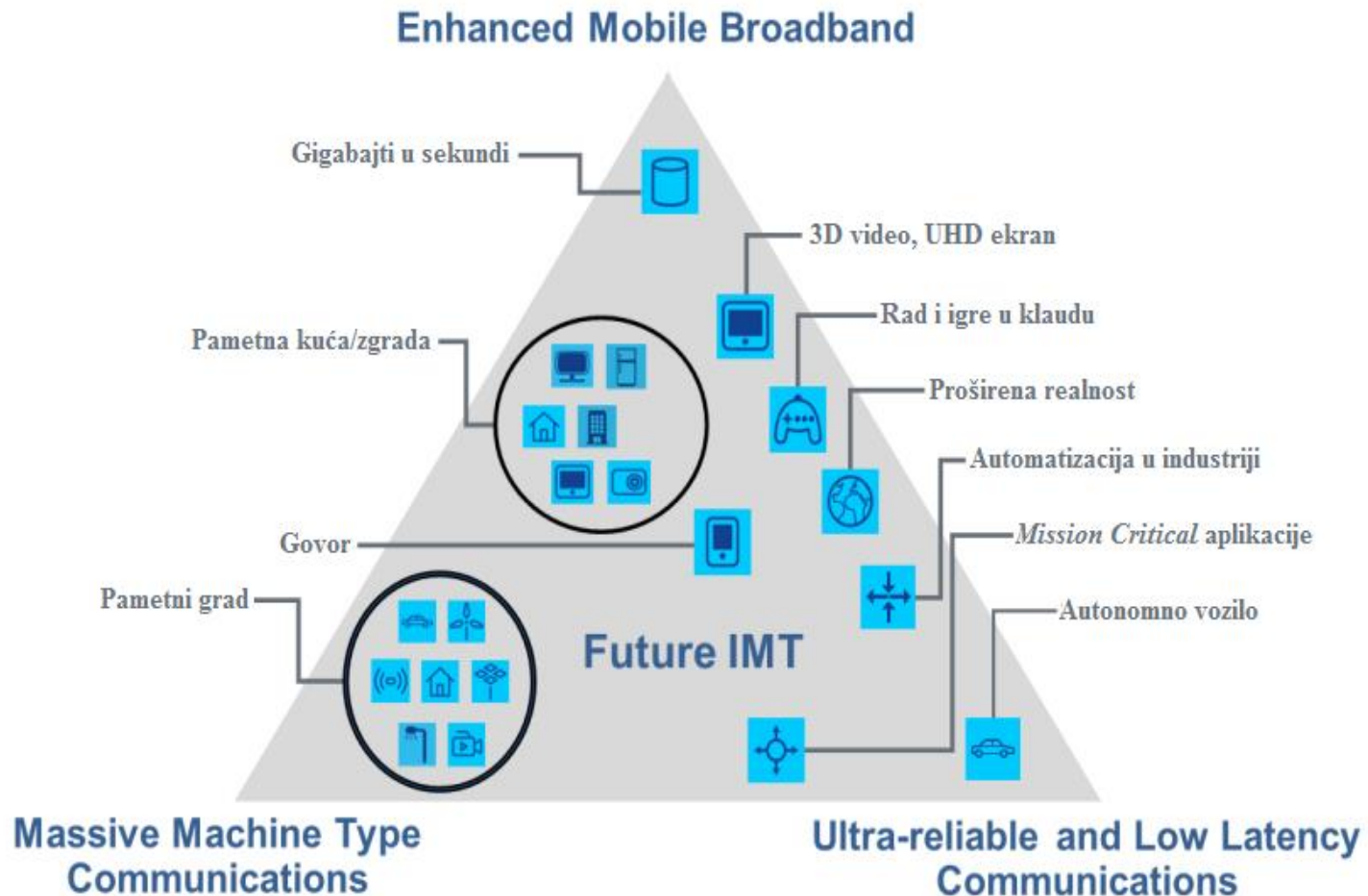
# Trendovi u telekomunikacijama – 5G

---



Vizija 5G servisa

# Trendovi u telekomunikacijama – 5G



Kategorije aplikacija za 5G



# Namjena komunikacionog sistema

---

---

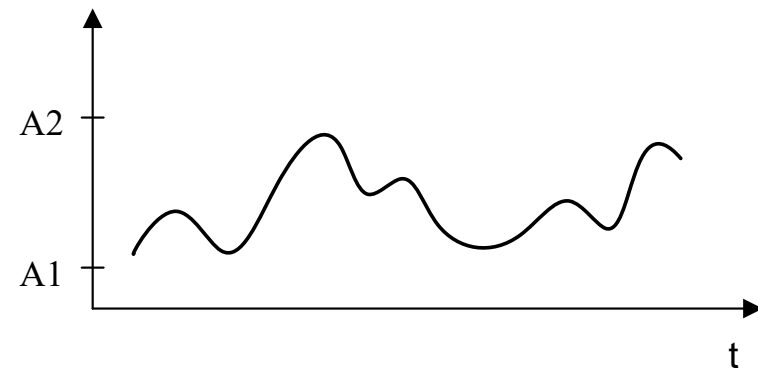
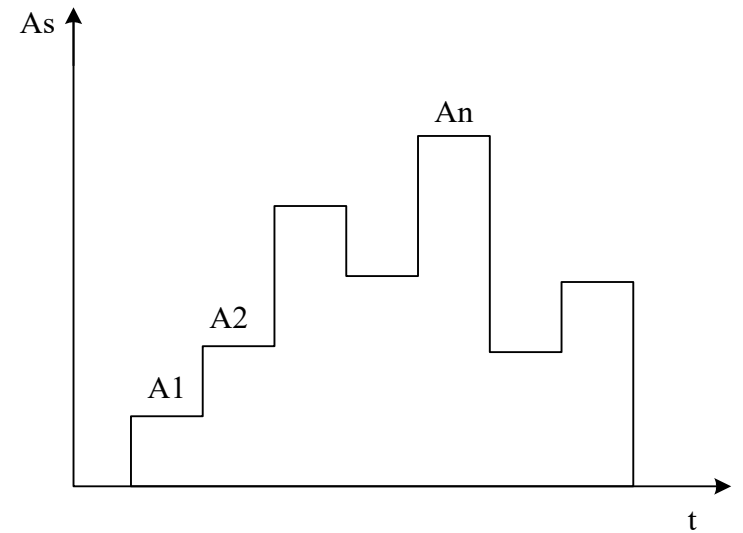
- Postupak prenosa poruke se u teoriji komunikacija raščlanjuje na tri koraka:
  1. Formiranje poruke i njeno predstavljanje skupom simbola
  2. Prenos simbola koji predstavljaju poruku, i to sa što je moguće većom tačnošću
  3. Pravilno tumačenje primljene poruke
- Prvi i treći korak spadaju oblast jezičkih, semantičkih ili filozofskih problema, dok je drugi korak tehnički problem.
- Osnovni zadatak telekomunikacionog sistema je da se poruka u vidu signala prenese na udaljeno mjesto, a da pri tome primljeni signal što je moguće više odgovara poslatom signalu.

# Priroda poruka

- Sve poruke koje šalje neki izvor poruka možemo svrstati u dvije grupe:

**1. Diskretne poruke** – one koje se pojavljuju kao nizovi odvojenih elemenata koji imaju konačan broj različitih vrijednosti. Ti elementi nazivaju se *simbolima* i pripadaju jednom konačnom skupu zvanom *alfabet*. Primjer ovakvih poruka su poruke koje se prenose u telegrafiji i računarskim komunikacijama.

**2. Kontinualne poruke** – opisuju se vremenskim funkcijama koje mogu imati sve moguće vrijednosti, koje se nalaze između odredjenih granica. Takve su npr. poruke koje se prenose u telefonskim sistemima ranijih generacija (analogni sistemi).



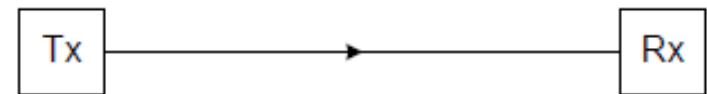
# Vrste prenosa

- U zavisnosti od toga da li je moguće na jednoj liniji veze ostvariti istovremenu komunikaciju u oba smjera, razlikujemo sledeće vrste prenosa signala:

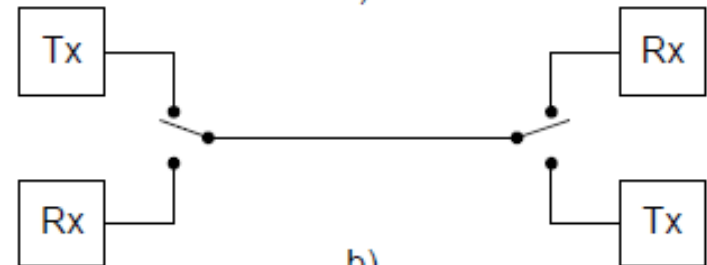
a) **Simplex** (*Simplex*) – prenos signala samo u jednom smjeru (jedna stanica je predajnik, a druga prijemnik)

b) **Polu-duplex** (*Half-duplex*) – Moguć je prenos signala u oba smjera, ali ne istovremeno (kada je jedna stanica predajnik, druga je prijemnik, i obratno)

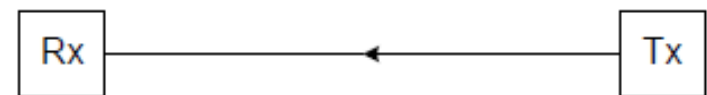
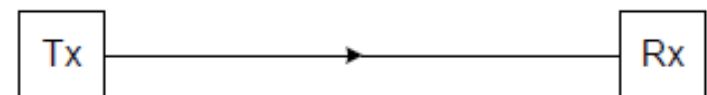
c) **Dupleks** ili **puni dupleks** (*Full-duplex*) – obje stanice mogu istovremeno vršiti i predaju i prijem, koristeći po jedan kanal za svaki smjer prenosa.



a)



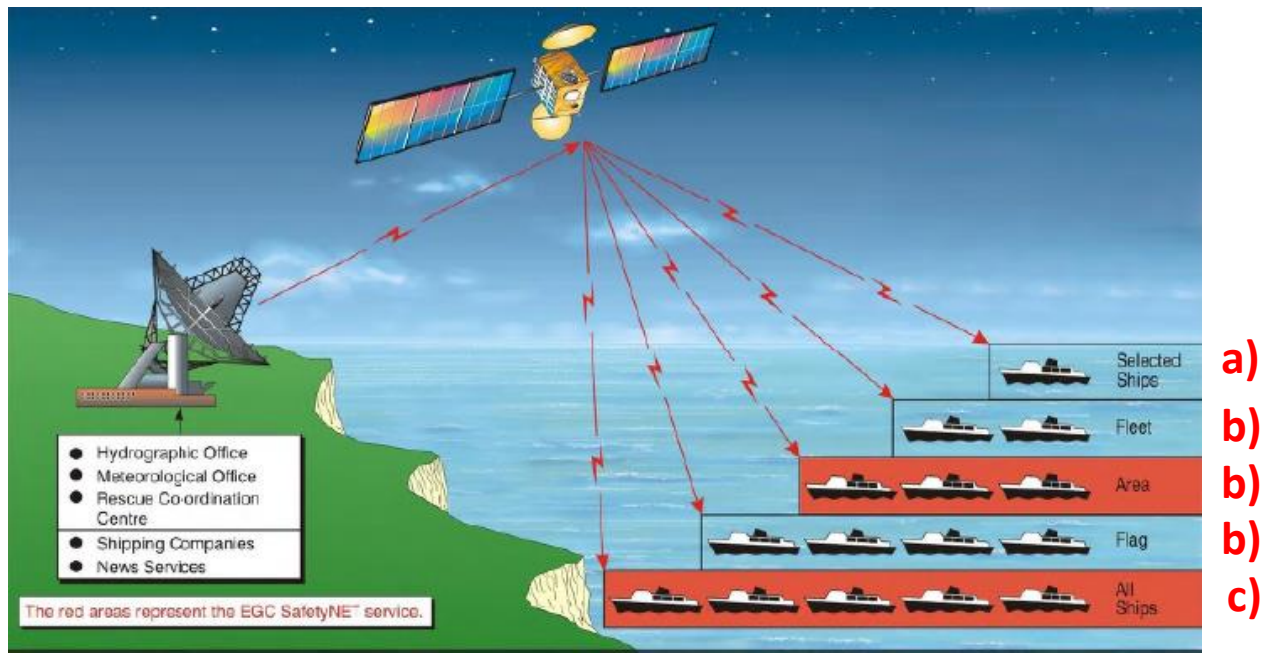
b)



c)

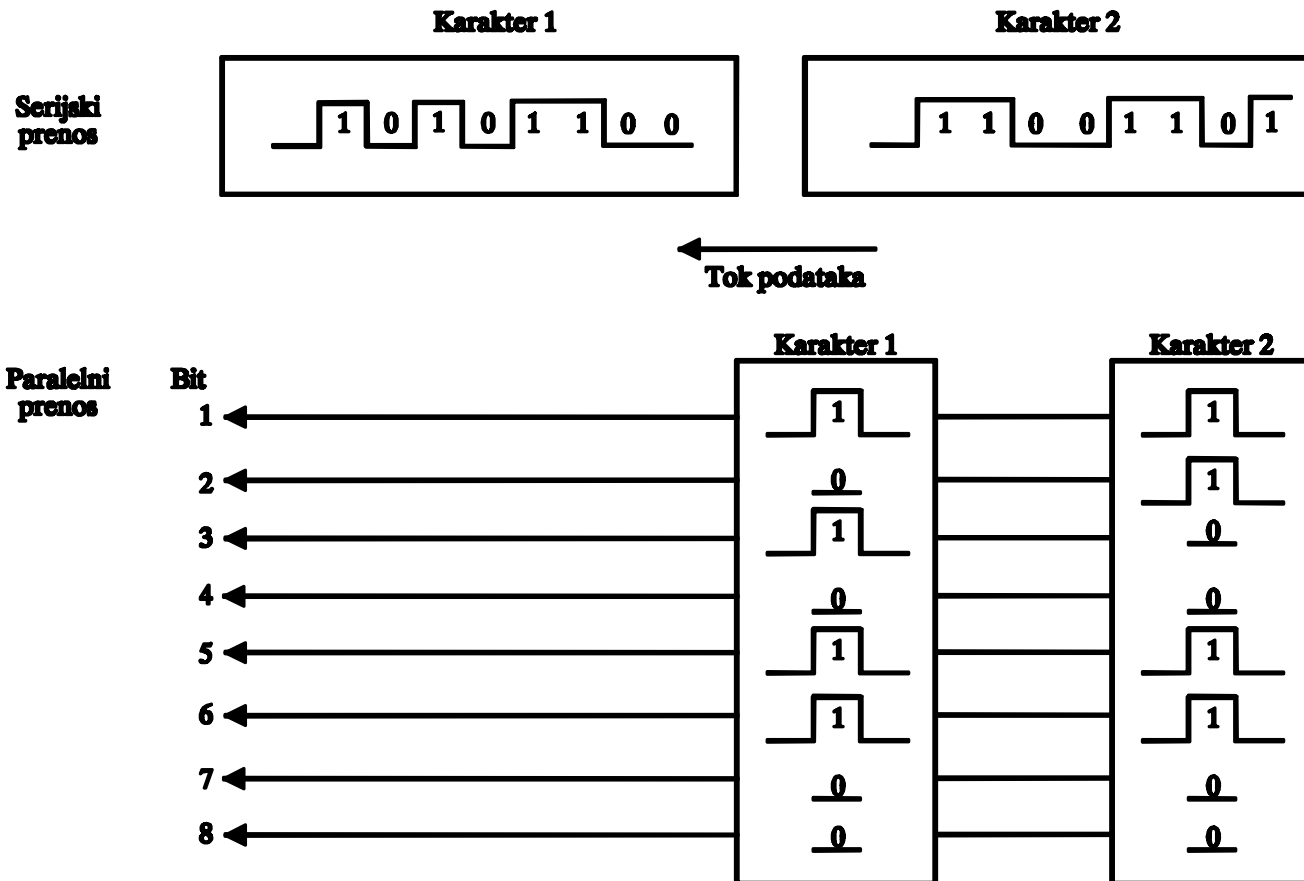
# Vrste prenosa

- U zavisnosti od toga kojem broju korisnika (komunikacionih stanica) se šalje poruka, razlikujemo:
  - Prenos od tačke do tačke** (*point-to-point transmission*) – gdje se poruka šalje samo jednom korisniku
  - Prenos prema grupi korisnika** (*multipoint transmission*) – poruka se šalje određenoj grupi korisnika
  - Difuzni prenos** (*Broadcast transmission*) – poruka se šalje svim korisnicima u određenoj mreži ili u određenoj oblasti pokrivanja telekom. sistema



# Vrste prenosa

- Kod digitalnih sistema prenosa se može napraviti podjela i u zavisnosti od toga da li se prenos podataka vrši **serijski** (jedan po jedan simbol se prenosi linkom) ili **paralelno** (više simbola se prenosi istovremeno).



# Medijumi za prenos

---

- Medijumi za prenos se generalno mogu podijeliti na:

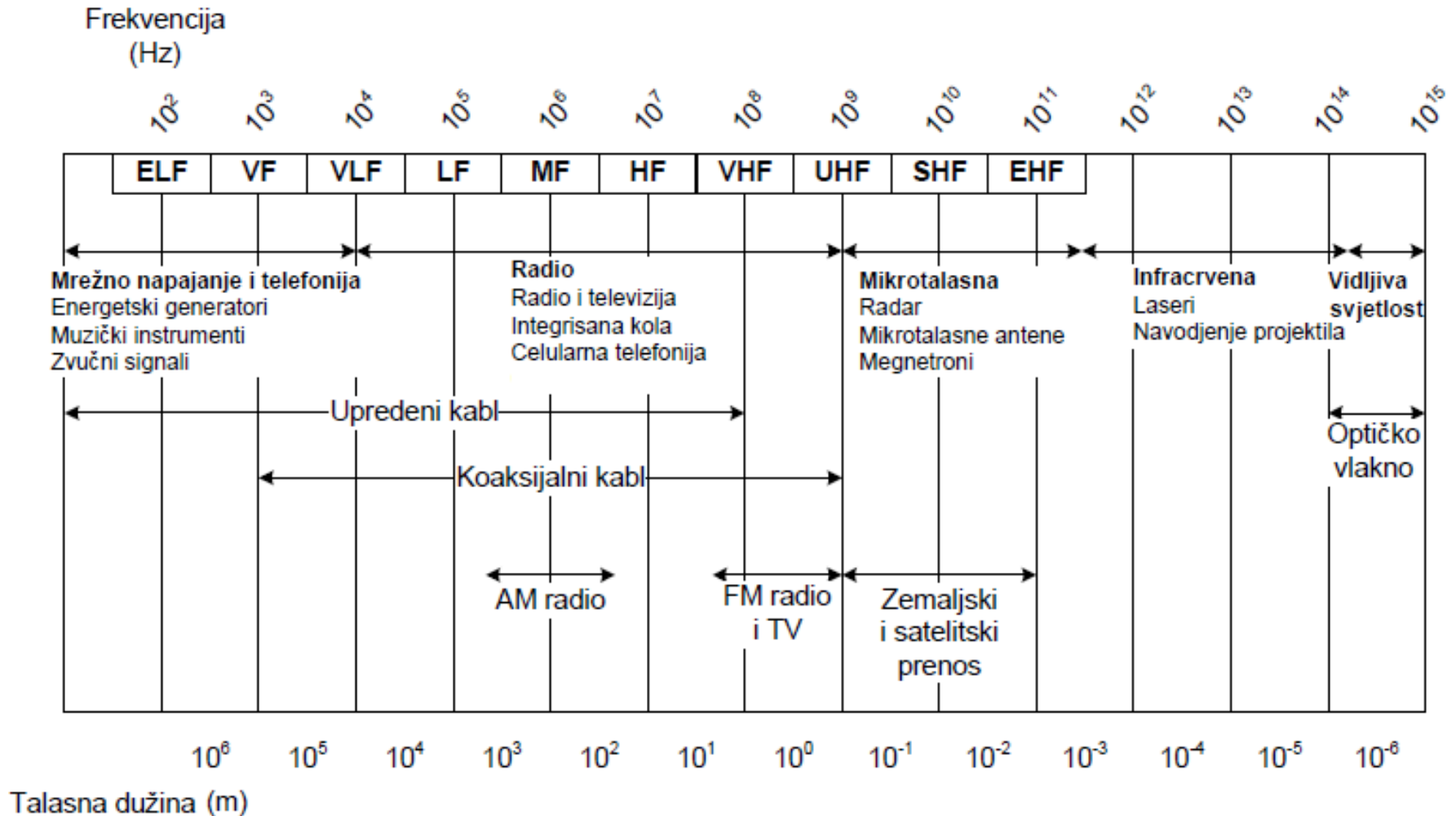
## 1. Vođene

- Talasi su vođeni kroz medijum od čvrstog materijala, kao što je bakarna parica, koaksijalni kabal ili kabal sa optičkim vlaknima.

## 2. Nevođene

- Atmosfera i slobodni prostor su primjeri medija kojima se ostvaruje nevođena komunikacija, putem slobodnog prostiranja elektromagnetnog talasa.

# Propusni opsezi pojedinih medijuma za prenos



# Uvodni pojmovi

- Frekvencija predstavlja broj ciklusa periodičnog signala u jedinici vremena, a računa se kao inverzna vrijednost periode signala,  $f=1/T$
- Jedinica za frekvenciju je **Hz** (Herc). Veće jedinice su **kHz** (kilo-Herc), **MHz** (mega-Herc), **GHz** (giga-Herc)
- Veza frekvencije i talasne dužine:  $\lambda = v \cdot T = v/f$
- $\lambda$  – talasna dužina [m]
- $v=c$  – za slobodni prostor, to je brzina prostiranja svjetlosti (300 000 km/s)

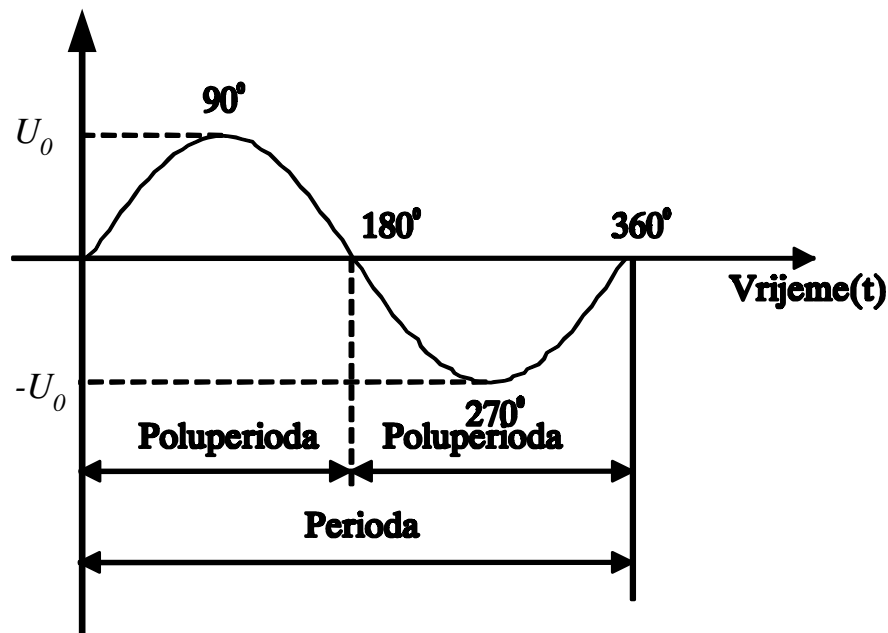
$$u_0(t) = U_0 \sin(2\pi f_0 t + \varphi)$$

$U_0$  - Amplituda

$T$  – Perioda

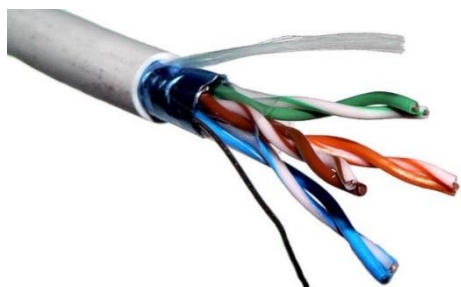
$f_0 = 1/T$  – Frekvencija

$\varphi$  - faza

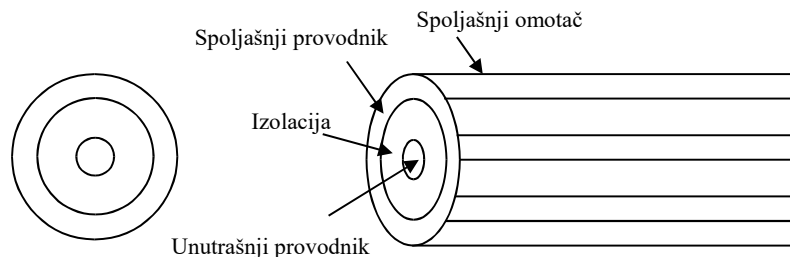
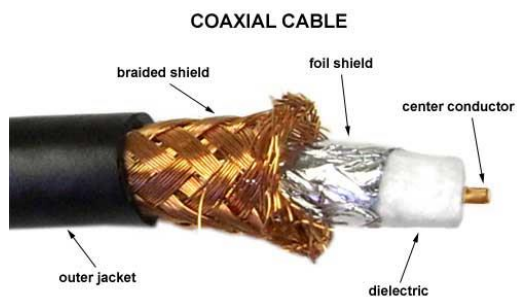




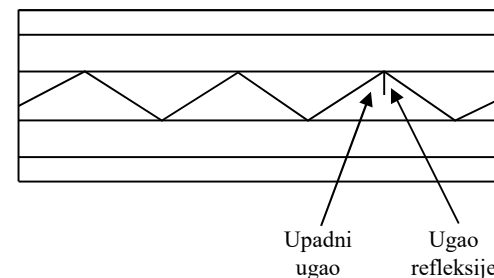
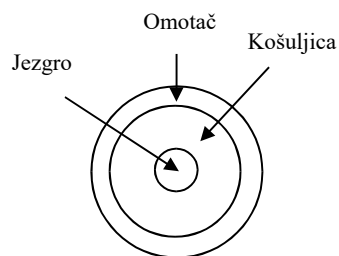
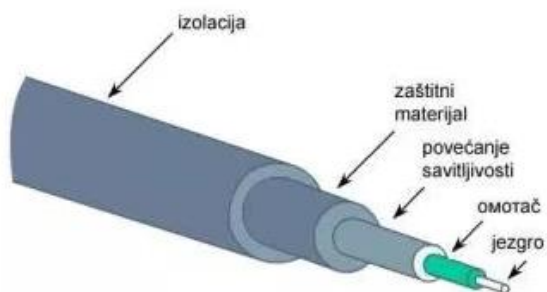
# Vođeni medijumi za prenos



a)



b)



c)

*Vođeni medijumi za prenos*

*a) Upredena parica; b) Koaksijalni kabl; c) Optičko vlakno*

# Medijumi za prenos

---

- Izuzimajući kablove sa optičkim vlaknima, kod ostalih vođenih medijuma za prenos, poruka se prenosi varijacijama naponskih ili strujnih nivoa signala. Osnovne karakteristike ovih vođenih medijuma za prenos, na osnovu kojih se može vršiti njihovo poređenje, su:
  1. Slabljenje signala po jedinici dužine,  $\alpha_p$ , [dB/m]
  2. Širina propusnog opsega,  $B$ , [Hz],
  3. Kašnjenje po jedinici dužine,  $\tau_p$ , [s].

# Medijumi za prenos

---

- Kao mjera koja pokazuje relativnu vrijednost dva signala u telekomunikacijama koristi se jedinica **decibel (dB)**. Decibel se definiše izrazom:

$$dB = 10 \log \frac{P_A}{P_B}$$

- Kako je snaga proporcionalna kvadratu napona (ili struje), kada je u pitanju relativni odnos dva napona, decibel se definiše kao:

$$dB = 20 \log \frac{U_A}{U_B}$$

- Iz prethodnih definicija je jasno da se slabljenje signala definiše kao logaritamski odnos snage (napona) signala na ulazu u telekomunikacioni sistem, i snage (napona) signala na njegovom izlazu:

$$a = 10 \log \frac{P_{ul}}{P_{izl}} = 20 \log \frac{U_{ul}}{U_{izl}}$$

# Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

---

- Kablovi sa upredenim paricama (*twisted pair cable*) se sastoji od parova izolovanih bakarnih žica koje su obmotane (upredene) jedna oko druge i označene različitim bojama. Radi fizičke zaštite, parice su obuhvaćene omotačem od PVC-a ili teflona (ukoliko kablovi treba da bude vatrootporni).
- Provodnici se upredaju da bi se smanjio uticaj elektromagnetnih smetnji (interferencije) iz okoline na signal koji se prenosi. Broj upredanja po jedinici dužine čini dio specifikacije kabla, jer sa smanjenjem koraka upredanja, povećava se otpornost kabla na elektromagnetne smetnje. Za linkove veće dužine, korak upredanja se kreće između 5cm i 15cm.

# Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

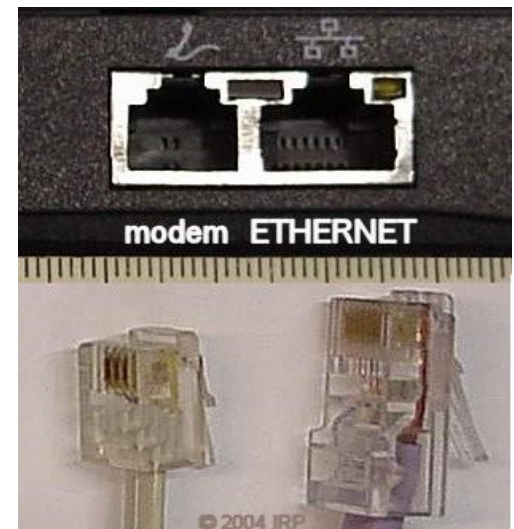
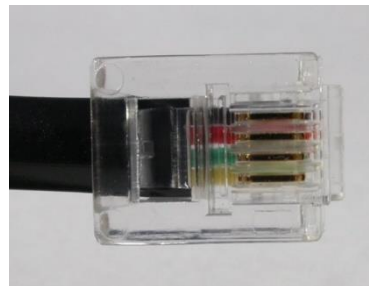
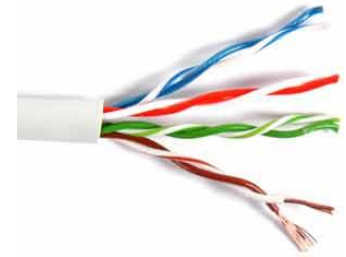
---

---

- Predstavljaju najčešće upotrebljavan medijum za prenos u lokalnim računarskim mrežama (LAN).
- Upotreba u javnim telefonskim mrežama, za prenos govora i za prenos podataka (DSL – *Digital Subscriber Line*)
- Privatne telefonske centrale povezuju korisničke uređaja kablovima sa upredenim bakarnim paricama.
- Njihova prednost ogleda se u lakoći postavljanja i održavanja, kao i veoma niskoj cijeni.
  - Danas je moguće ostvariti brzine prenosa od više desetina Gb/s na kratkim rastojanjima
- U poređenju sa drugim vođenim medijumima za prenos, kabal sa upredenim bakarni paricama ima manji domet, propusni opseg i manje brzine prenosa podataka.
  - Pri prenosu analogni signala potrebni su pojačavači na svakih 5-6km, a pri prenosu digitalnih signala, potrebni su ripiteri na 2-3km
  - Za prenos analognih signala moguće je koristiti opseg do 1MHz.

# Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

- Postoje dvije osnovne varijante ovih kablova u realizaciji sa 4 parice:
  1. **neoklopljeni - UTP (*Unshielded Twisted Pair*)**,
  2. **oklopljeni – STP (*Shielded Twisted Pair*)**.
- Završni konektor kabla sa 4 upredene parice je **RJ-45 konektor** sa 8 pinova. Za telefonske linije se koristi kabal sa 2 upredene parice, koji završava sa **RJ-11 konektorom** sa 4 pina

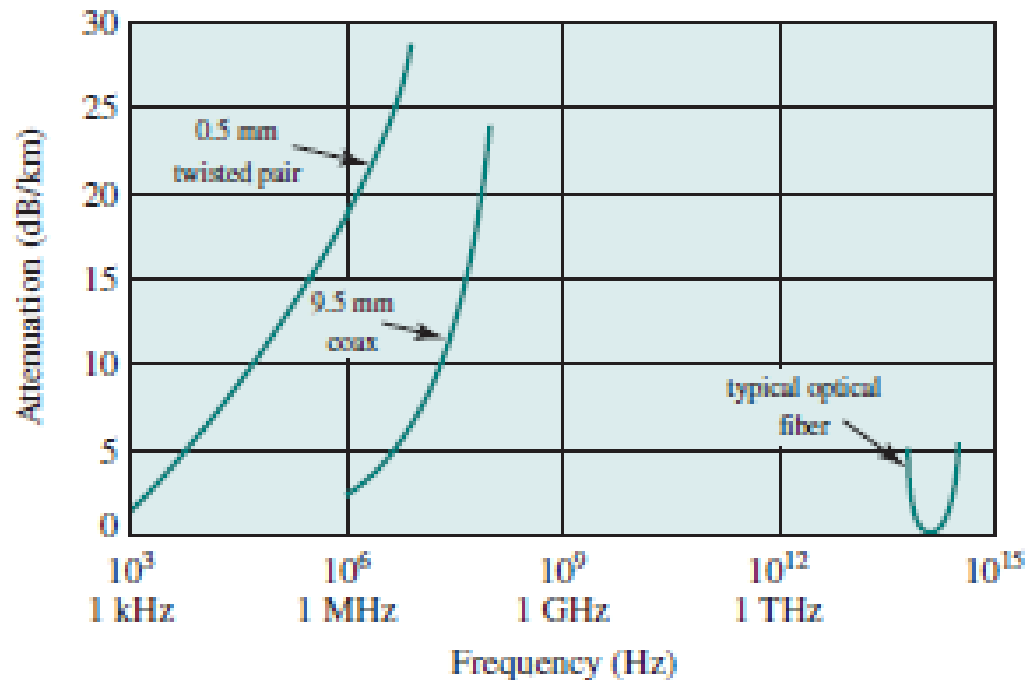


# Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

- UTP kablovi su jeftiniji, fleksibilniji za rukovanje i imaju i dalje široku primjenu, iako su im karakteristike lošije od STP kablova.
- Kablovi sa upredenim bakarnim paricama se dijele u **7 kategorija**, od kojih prvih 5 kategorija pripadaju UTP kablovima

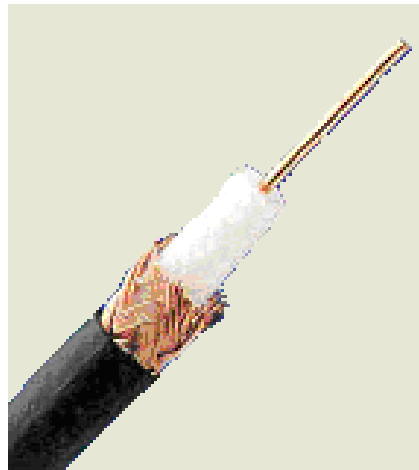
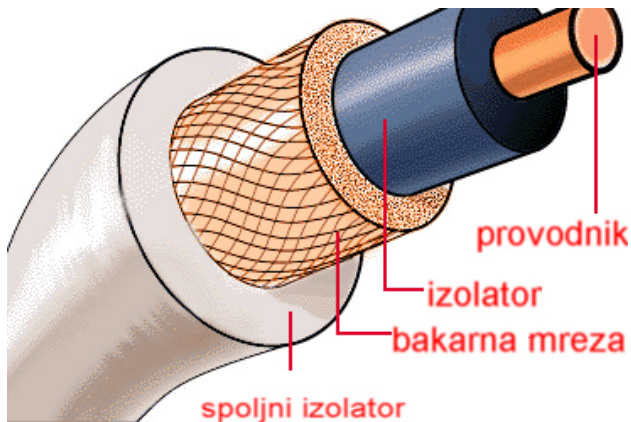
## Kategorije:

- Cat 3 – 16 MHz
- Cat 5e – 100 MHz
- Cat 6 – 250 MHz
- Cat 6a – 500 MHz
- Cat 7 – 600 MHz
- Cat 7a – 1000 MHz



# Koaksijalni kablovi

- Koaksijalni kabal se sastoji od dva koncentrično postavljena provodnika. Spoljašnji provodnik je šupalj, pa se između njih postavlja neki dielektrični materijal ili izolatorski prstenovi. Oko spoljnog provodnika se nalazi zaštitni omotač.
- Zbog svoje konstrukcije i oklopa, koaksijalni kabl je veoma otporan na razne oblike degradacije signala (npr.interferencija sa signalima iz okoline), što znači da koaksijalni kablovi omogućavaju prenos kroz okruženja sa izraženim električnim šumom

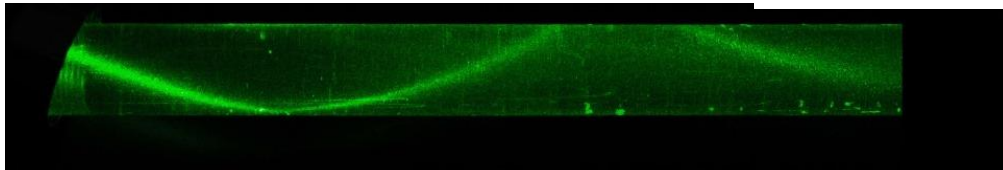
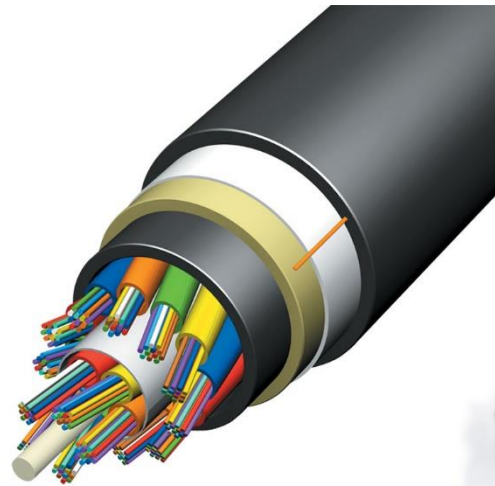




# Kablovi sa optičkim vlaknima

---

- Prenosi se svjetlosni zrak, koji uvijek ostaje unutar jezgra optičkog vlakna (reflektuje se od košuljice).
- Optičko vlakno se pravi od stakla ili posebne plastike.
- Kod predajnika se koristi LED (*light-emitting diode*) ili laser, a glavni dio prijemnika je foto-detektor.



# Kablovi sa optičkim vlaknima

---

- Optička vlakna imaju brojne prednosti u odnosu na druge fiksne medijume, kada je prenos podataka u pitanju.
  - **Veća brzina prenosa.** Svjetlost se optičkim vlaknom prostire brzinom oko 300 miliona metara u sekundi.
  - **Veći kapacitet prenosa.** Protoci i do Tb/s ( $10^{12}$  b/s) se mogu realizovati optičkim vlaknima, dok za upredene parice gornja granica za sada iznosi 40Gb/s, ali na veoma kratkim rastojanjima
  - **Elektromagnetna izolacija.** Optička vlakna ne stvaraju elektromagnetnu interferenciju i nisu osjetljiva na spoljašnju interferenciju i atmosferska pražnjenja (ukoliko su vlakna organizovana u okviru kabla koji nije armiran).
  - **Manje slabljenje.** Slabljenje raste sa rastojanjem sporije nego u slučaju prenosa električnim medijumima, čime se omogućava postavljanje ripitera na većim razmacima
  - **Nema problema preslušavanja i refleksije,** prisutnih kod upredenih parica i koaksijalnih kablova.
  - **Manja vjerovatnoća greške.** Vjerovatnoće greške reda  $10^{-9}$  su tipične, u odnosu na  $10^{-6}$  za koaksijalne kablove

# Kablovi sa optičkim vlaknima

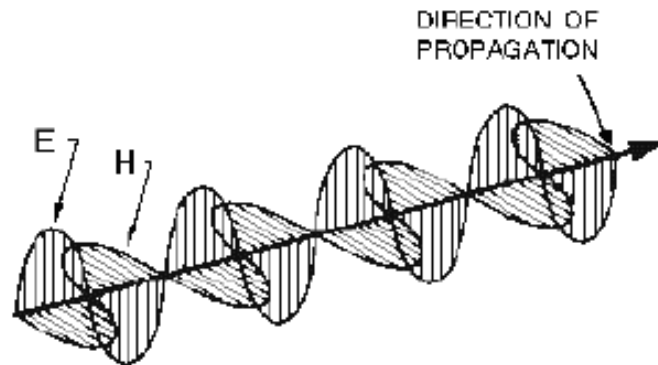
---

- Prednosti optičkih vlakana:
  - **Manji su i lakši.** Tipično, kablovi sa optičkim vlaknima imaju deset puta manju težinu od koaksijalnih kablova, tanji su i lakši za ugradnju.
  - Optička vlakna su otporna na koroziju i vlagu.
  - Troškovi održavanja su manji nego za električne kablove. Takođe je i srednje vrijeme između otkaza znatno duže
- Optička vlakna su danas sve zastupljeniji medijum za prenos zbog svojih brojnih dobrih osobina.
  - Svi linkovi koji čine okosnicu interneta, magistralne pravci telekomunikacionih kompanija, čak i veze između rutera unutar zgrada, tj. sve veze gdje je potrebna velika brzina i pouzdan prenos podataka koriste ovaj medijum za prenos, ako to mogućnosti dozvoljavaju.
  - Tendencija je da se kablovima sa optičkim vlaknima ide do krajnjih korisnika (**FTTH** - *fiber to the home*), ili što je moguće bliže krajnjim korisnicima (**FTTB** – *fiber to the building* ili **FTTC** – *fiber to the curb*), da bi se omogućio širokopojasni pristup Internetu, HD TV servisi, itd.

# Elektromagnetni talas

---

- **Elektromagnetni talas (EMT)**, ili radio talas, predstavlja oblik energije koji emituje predajna antena, a koji u sebi sadrži komponentu električnog polja ( $E$ ) i komponentu magnetnog polja ( $H$ )
- EM energija koju emituje predajna antena se u vidu sfere širi u prostoru. Svaki dio te sfere je normalan na pravac prostiranja EM energije, i naziva se **talasni front**
- Obično su sve tačke na talasnom frontu na istoj udaljenosti od predajne antene, i sve komponente  $E$  polja (kao i komponente  $H$  polja) su u fazi



$E$  i  $H$  komponente radio talasa

# Antene

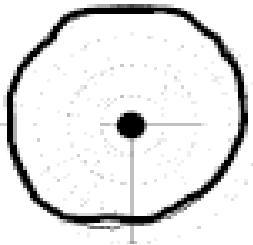
---

- **Antena** – konvertuje električnu energiju u elektromagnetni (EM) talas na strani predajnika
- Prijemna antena konvertuje elektromagnetni talas u električnu energiju
  - Ista antena se u većini sistema koristi za predaju i za prijem
- Bilo koji provodni materijal će se ponašati kao antena na proizvoljnoj frekvenciji
- Razlog zašto se koriste antene specifičnog dizajna je u cilju kreiranja kontrolisanog dijagrama zračenja
  - Ukupna emisiona snaga ostaje ista
- **Bez odgovarajuće, pravilno instalirane antene, i najbolji predajni i prijemni uređaji su beskorisni**
- Neke od bitnih karakteristika antene su: **dijagram (usmjerenost) zračenja, pojačanje, radni opseg, karakteristična impedansa, polarizacija,...**

# Antene

---

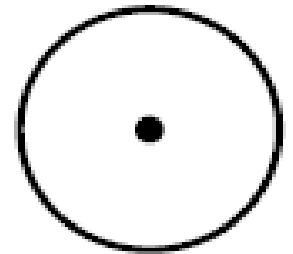
- U zavisnosti od dijagrama zračenja, antene se mogu podijeliti na:
  - **Omni-direkzione antene** – emituju EM energiju u svim pravcima
  - **Direkzione antene** – imaju usmjereno zračenje
- Kao teorijski model antene koja emituje EM energiju podjednako u svim pravcima koristi se **izotropna antena**



a)



b)



c)

Dijagrami zračenja u horizontalnoj ravni : a) Omni-direkzione antene;  
b) Direkzione antene; c) Izotropne antene

# Antene

---

---

- U opštem slučaju, učestanosti ispod 1GHz su pogodnije za omnidirekciono zračenje, dok se na višim frekvencijama lakše ostvaruje usmjereno zračenje.
- Na nižim i srednjim frekvencijama, radio talasi mogu prodirati kroz zidove, stakla, i slične prepreke, što se prednost ukoliko treba ostvariti prijem signala i unutar objekata.
  - Sa druge strane ovo može biti nedostatak, u slučajevima kada se zahtijeva da se komunikacija izoluje i ostane sam unutar objekta, ili samo izvan objekta, da bi se smanjio nivo interferencije.

# Klasifikacija podopsega

---

- U odnosu na namjenu, svi opsezi se dijele na:
  - **Nelicencirane** – za čije korišćenje se ne plaća nikakva nadoknada i
  - **Licencirane.**
- **Nelicencirani opsezi – ISM** (*Industrial, Science, Medical*)
  - U ISM opsezima funkcionišu sve **WLAN mreže, bežični telefoni, bluetooth veze, zigbee senzorske mreže**
- U nelicenciranim opsezima je strogo ograničena izračena snaga