UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Računarske komunikacije

Prof. dr Enis Kočan (enisk@ucg.ac.me)
Saradnik: Dr Slavica Tomović (slavicat@ucg.ac.me)

SADRŽAJ KURSA

1. Uvod. Osnovni principi računarskih komunikacija
2. Signali. Vrste prenosa signala. Harmonijska analiza signala
3. Sistemi prenosa. Izobličenja pri prenosu signala
4. Obrada signala kodiranjem. Uticaj šuma na prenos signala
5. Obrada signala modulacijom. Osnovni tipovi digitalnih modulacija
6. **Medijumi za prenos**
7. Pravila strukturnog kabliranja
8. Tehnike multipleksiranja. Prenos višestrukim nosiocima
9. Detekcija i korekcija greške. Kontrolni protokoli na nivou linka
10. Tehnike za poboljšanje veze na bežičnom linku. Analiza kvaliteta prenosa (BER, PER, kapacitet sistema)
11. Osnovni parametri fizičkog sloja za IEEE 802.11 grupu standarda
12. Komunikaciona rješenja za IoT mreže
13. Trendovi u računarskim komunikacijama

Termin 6 - Sadržaj

- **Vrste medijuma za prenos**
- Kablovi sa upredenim bakarnim paricama
- Koaksijalni kablovi
- Kablovi sa optičkim vlaknima
- Bežični 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-Herz), GHz (giga-Herc)
- Veza frekvencije i talasne dužine: $\lambda = v \cdot T = v/f$
- λ – talasna dužina [m]
- $v=c$ – za slobodni prostor, to je brzina prostiranja svjetlosti (300 000 km/s)

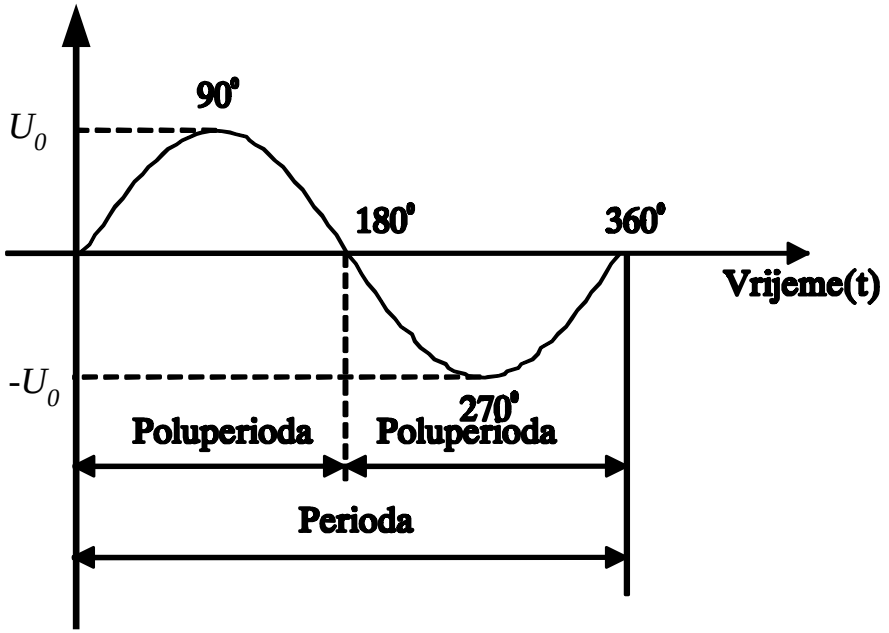
$$u_0(t) = U_0 \sin(2\pi f_0 t + \varphi)$$

U_o - Amplituda

T – Perioda

$f_0 = 1/T$ – Frekvencija

φ - faza



Klasifikacija podopsega

Tip talasa	Opis učestanosti	Oznaka	λ	f
Dugi talasi	Niske učestanosti	LF	10km-1km	30kHz-300kHz
Srednji talasi	Srednje učestanosti	MF	1km-100m	300kHz-3MHz
Kratki talasi	Visoke učestanosti	HF	100m-10m	3MHz-30MHz
Vrlo kratki talasi	Vrlo visoke učestanosti	VHF	10m-1m	30MHz-300MHz
Ultra kratki talasi	Ultra visoke učestanosti	UHF	1m-10cm	300MHz-3GHz
Super kratki talasi	Super visoke učestanosti	SHF	10cm-1cm	3GHz-30GHz

Medijumi za prenos

- Medijumi za prenos se generalno mogu podijeliti na:

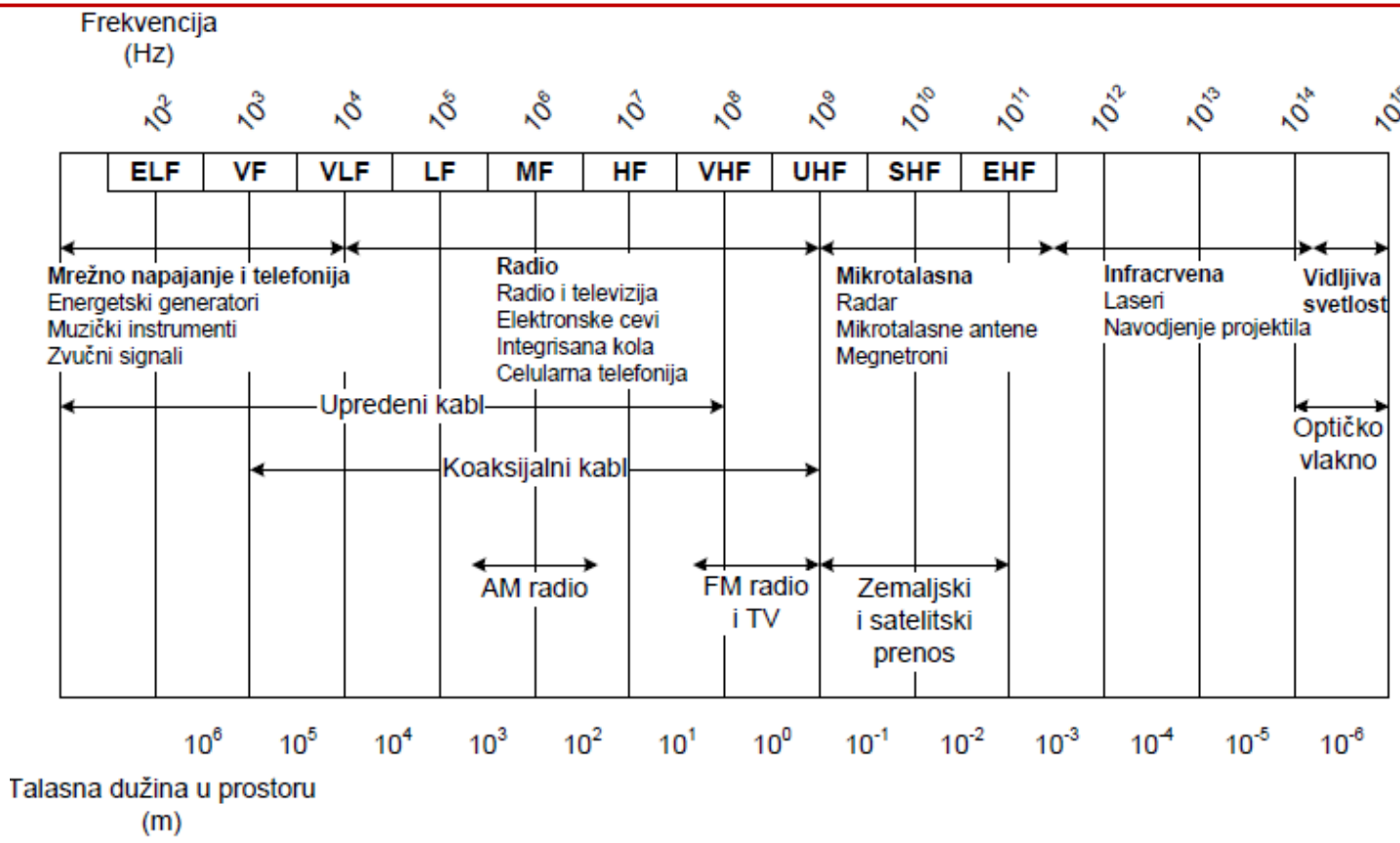
1. **Vođene**

- 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



ELF = ekstremno niske frekvencije

VF = govorne frekvencije

VLF = vrlo niske frekvencije

LF = niske frekvencije

MF = srednje frekvencije

HF = visoke frekvencije

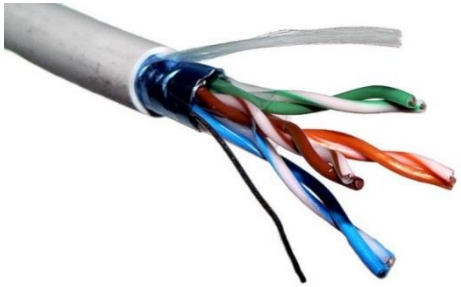
VHF = vrlo visoke frekvencije

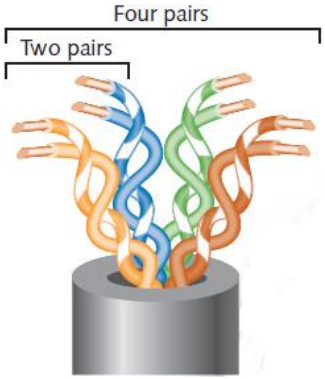
UHF = ultra visoke frekvencije

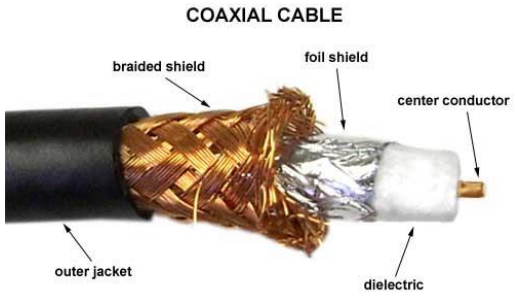
SHF = super visoke frekvencije

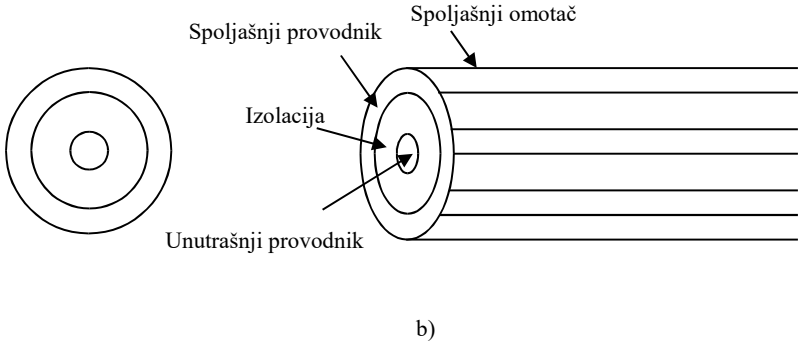
EHF = ekstremno visoke frekvencije

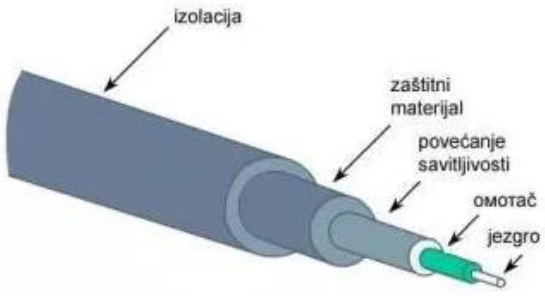
Vođeni medijumi za prenos

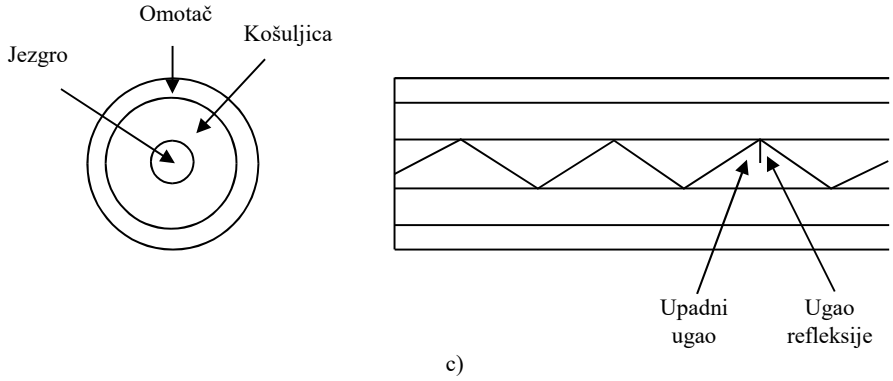












Vođeni medijumi za prenos

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

Vođeni medijumi za prenos

- Izuzimajući kablove sa optičkim vlaknima, kod ostalih vođenih medijuma za prenos, poruka se prenosi varijacijama naponskih ili strujnih nivoa signala.
- Osnovne karateristike ovih vođenih medijuma za prenos, na osnovu kojih se može vršiti njihovo poređenje, su:
  1. Slabljenje signala po jedinici dužine, α_p, [dB/m]
  2. Širina propusnog opsega, B, [Hz],
  3. Kašnjenje po jedinici dužine, τ_p, [s].
- Pored toga, na brzinu prenosa i domet koji se ostvaruje nekim linkom, utiču i nesavršenosti medijuma za prenos, intereferencija, šum,...

Medijumi za prenos

- Kao mjera koja pokazuje relativnu vrijednost odnosa snaga 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:

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

Vođeni medijumi za prenos

- Karakteristike vođenih medijuma za prenos

	Propusni opseg	Tipično slabljenje	Tipično kašnjenje
Upredena bakarna parica (za analogni prenos govora)	0 – 3,5 kHz	0,2 dB/km na 1kHz	50 μs/km
Upredena bakarna parica (višeparični kabal)	0 – 1 MHz	0,7 dB/km na 1kHz	5 μs/km
Koaksijalni kabal	0 – 500 MHz	7 dB/km na 10MHz	4 μs/km
Optičko vlakno	186 – 370 THz	0,2 do 0,5 dB/km	5 μs/km

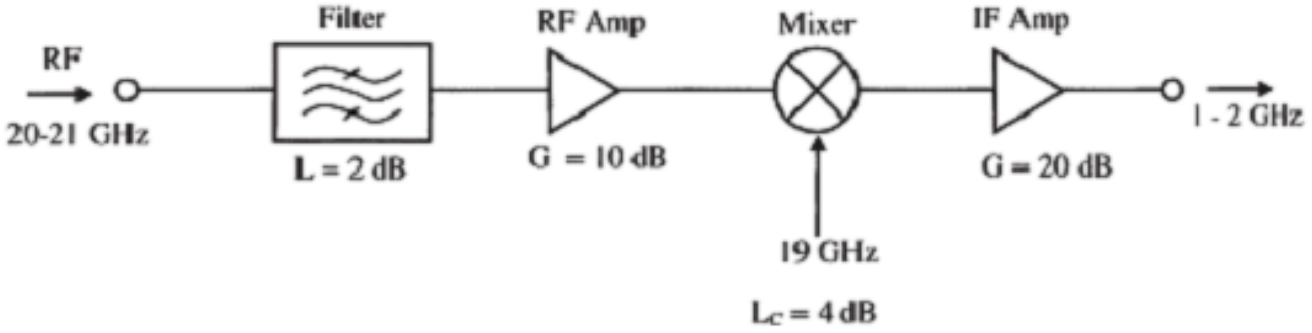
Primjeri

- Veza između predajnika i prijemnika jednog telekomunikacionog sistema realizovana je korišćenjem dva različita medijuma za prenos, pri čemu prvi ima dužinu od 150m, i podužno slabljenje od 4dB/100m, a drugi ima dužinu od 3km i podužno slabljenje od 0,4dB/km. Na spoju ova dva različita tipa medijuma za prenos, sklop za konverziju/prilagođenje unosi dodatnih 1dB slabljenja.

  a) Izračunati ukupno slabljenje signala između predajnika i prijemnika.
  b) Odrediti max. nivo emisionog signala, ako se zna da je signal na prijemu imao max. naponski nivo od 0,1mV.

Primjeri

- Odrediti ukupno pojačanje (slabljenje) za dio radio prijemnika prikazanog na slici.
  - Ako je ulazni signal napona 2μV, odrediti vrijednost napona signala na izlazu iz ovog dijela telekomunikacionog sistema



Napomena: Sa G su označena pojačanja pojačavača, a sa L slabljenja koja unosi pasivni sklopovi

Termin 6 - Sadržaj

- Vrste medijuma za prenos
- **Kablovi sa upredenim bakarnim paricama**
- Koaksijalni kablovi
- Kablovi sa optičkim vlaknima
- Bežični prenos

Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

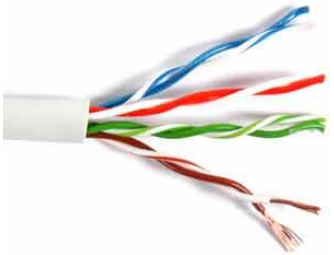
- Kabal sa upredenim paricama (*twisted pair cable*) se sastoji od parova izolovanih bakarnih žica koje su obmotane (upredene) jedna oko druge i označene različitim bojama.
- Radi fizičke zaštite, parice su obuhvaćene omotačem od PVC-a ili teflona (ukoliko kabal treba da bude vatrostalan).
- Provodnici 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 elektromagentne smetnje.

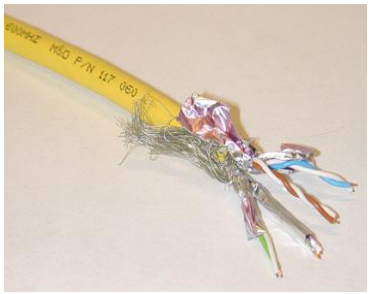
Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

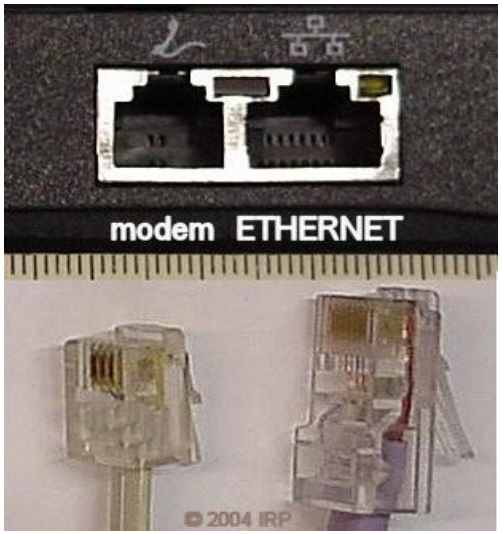
- Predstavljaju najćešće upotrebljavan medijum za prenos u lokalnim računarskim mrežama (LAN).
- Upotreba u javnim telefonskim mrežama, za prenos govora i za prenos podataka (DSL – *Digital Subscriber Line*)
- Privatne telefonske centrale povezuju korisničke uređaja kablovima sa upredenim bakarnim paricama.
- 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 bakarnim paricama ima manji domet, propusni opseg i manje brzine prenosa podataka.
  - Pri prenosu analognih 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.

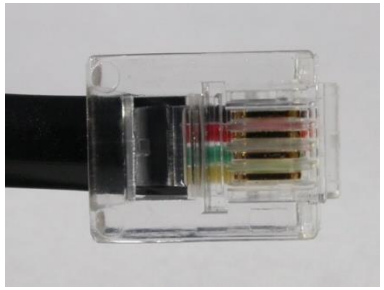
Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

- 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







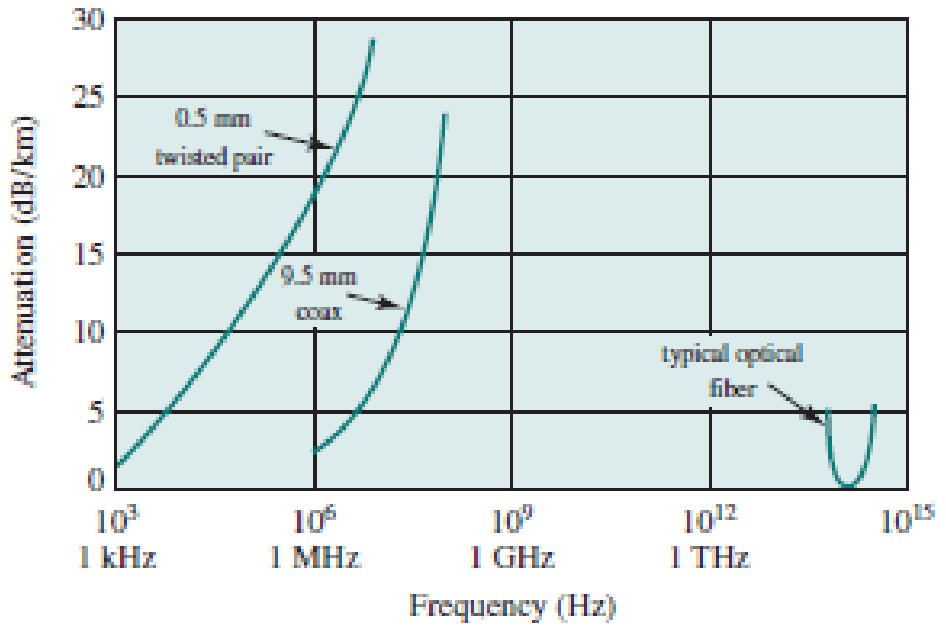


Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

- 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 8 kategorija, od kojih prvih 5 kategorija pripadaju UTP kablovima
- Kategorija 8 kablova se koristi samo za rastojanja do 30m (u *data* centrima), a na opsegu širine **2GHz** podržava brzine prenosa od 25Gb/s i 40Gb/s

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

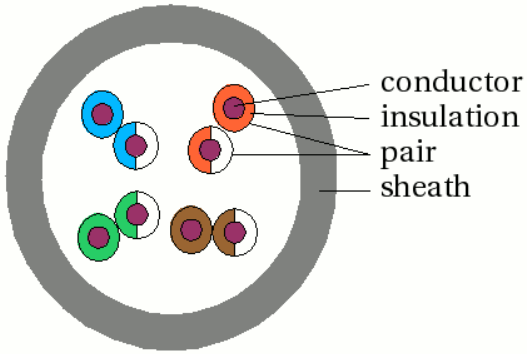


Kategorije kablova sa upredenim bakarnim paricama

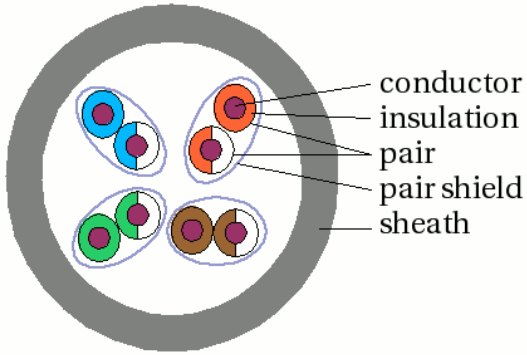
- Kablovi **kategorije 3** i odgovarajući konektori, podržavaju brzinu prenosa od 16Mb/s za rastojanja do 100m.
- Kablovi **kategorije 5** i konektori, podržavaju brzinu prenosa od 100Mb/s za rastojanja do 100m.
- Kablovi **kategorije 5e** i konektori, podržavaju brzinu prenosa do 1Gb/s za rastojanja do 100m, sa mogućnošću podrške brzina do 10Gb/s na manjim rastojanjima.
- Kablovi **kategorije 6** i konektori, podržavaju brzinu prenosa do 10Gb/s za rastojanja do 100m.
- **Kategorija 7** (10Gb/s na kanalu od 600MHz) i **7a** (10Gb/s na kanalu od 1GHz) nisu zvanično prihvaćene od strane ANSI/TIA 568.2 standarda

Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

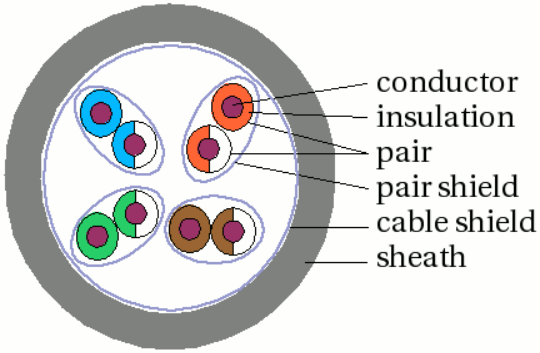
UTP

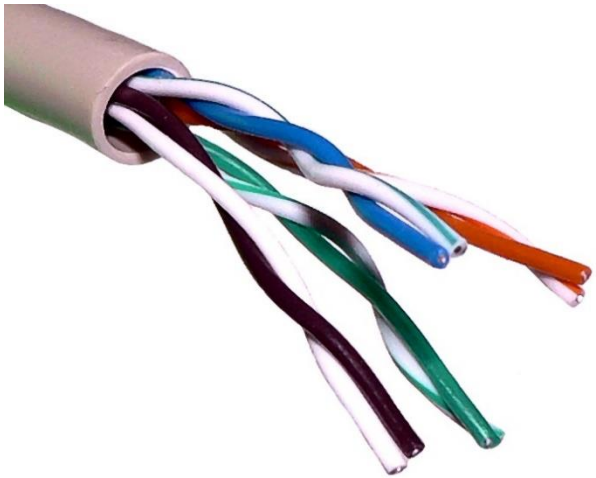


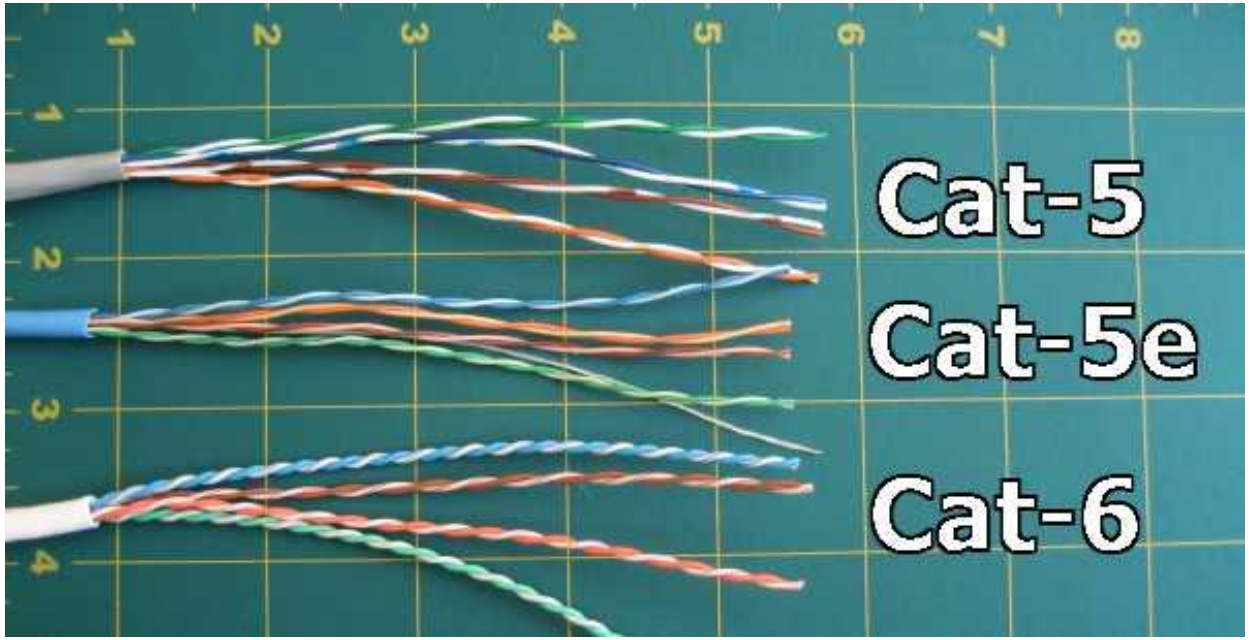
STP



S/STP







Kablovi sa upredenim bakarnim paricama

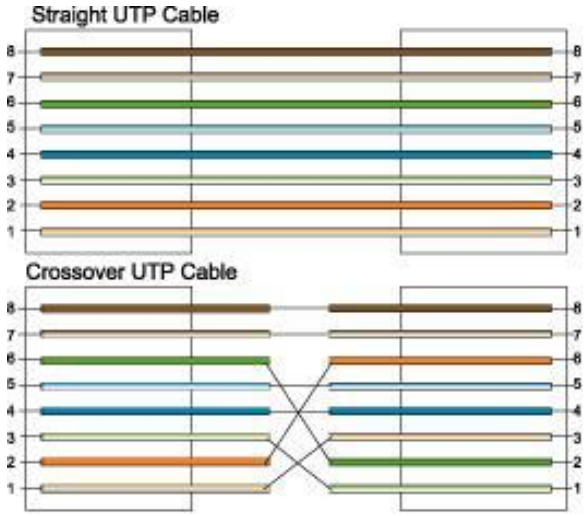
Category	ISO Channel Class	Maximum Bandwidth	Maximum Ethernet Data Rate	Cabling System	Connector Type
6	E	250MHz	1000Mbps	Unshielded or shielded	RJ45
6A	E_A	500MHz	10Gbps	Unshielded or shielded	RJ45
7*	F	600MHz	10Gbps	Shielded only	Non-RJ45 (IEC 60603-7-71 and IEC 61076-3-104)
7A*	F_A	1000MHz	10Gbps	Shielded only	Non-RJ45 (IEC 60603-7-71 and IEC 61076-3-104)
8	8.I and 8.II	2000MHz	25Gbps 40Gbps	Shielded only	RJ45

* Category 7 and 7A are not recognized by ANSI/TIA-568-C.2

Ravan i ukršten kabal

- Svaki od osam provodnika UTP kabla se postavlja u RJ-45 konektor po tačno utvrđenom raporedu (po jednom od standarda **TIA/EIA 568B ili 568A**). Iglice konektora obilježene su sa lijeva na desno.
- Ako je raspored iglica na oba kraja kabla isti radi se o **ravnom kablu (*straight-through cable*)** koji se koristi za povezivanje dva uređaja različitog tipa (npr. računara sa Ethernet hub-om ili switch-em).
- Promjenom redosljeda parica za prijem i slanje signala na različitim krajevima kabla dobija se **ukršteni kabal (*cross-over cable*)** koji se koristi za povezivanje uređaja istog tipa (npr. direktno povezivanje dva računara).

Ravan i ukršten kabal



Broj iglice	Raspored žica za 568B standard	Raspored žica za 568A standard
1	Bijelo-narandžasta	Bijelo-zelena
2	Narandžasta	Zelena
3	Bijelo-zelena	Bijelo-narandžasta
4	Plava	Plava
5	Bijelo-plava	Bijelo-plava
6	Zelena	Narandžasta
7	Bijelo-braon	Bijelo-braon
8	Braon	Braon

Kliješta za krimpovanje

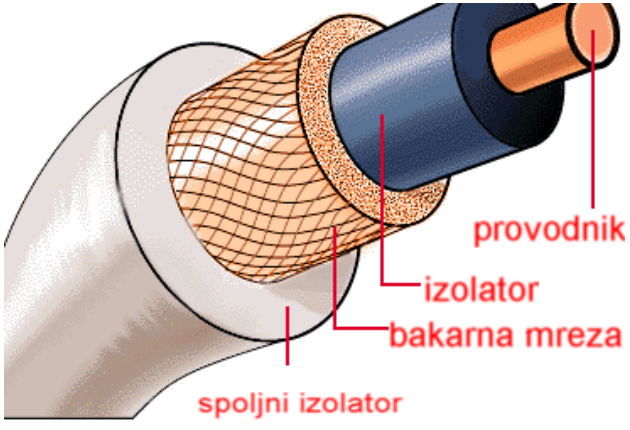
Tester kabla

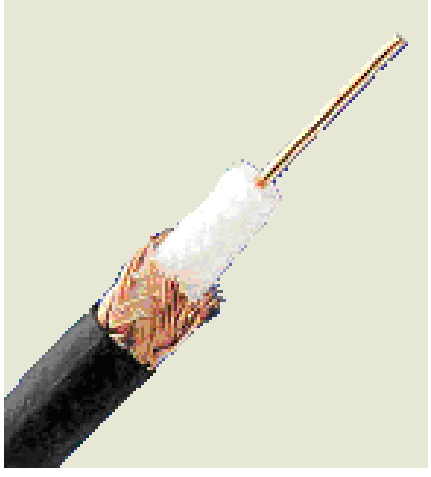
Termin 6 - Sadržaj

- Vrste medijuma za prenos
- Kablovi sa upredenim bakarnim paricama
- **Koaksijalni kablovi**
- Kablovi sa optičkim vlaknima
- Bežični prenos

Koaksijalni kablovi

- Koaksijalni kabal se sastoji od dva koncetrično 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





Koaksijalni kablovi

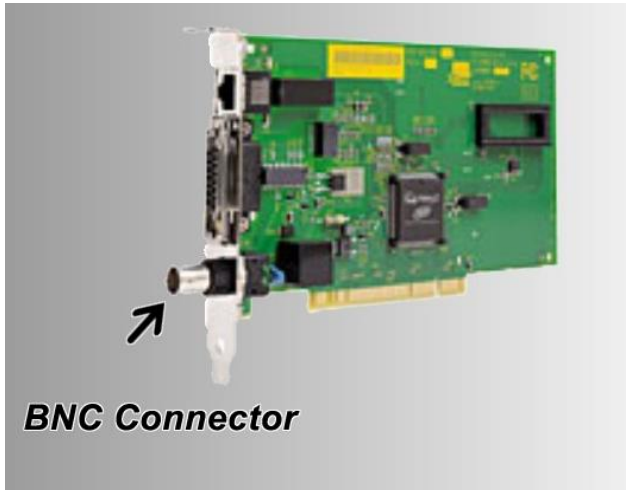
- Jedan od bitnih parametara ovih kablova je njihova **karakeristična impedansa**. Dimenzije kabla, zajedno sa tipom primijenjenog izolatora određuju impedansu ovog voda.
- Koaksijalni kablovi su danas gotovo potpuno potisnuti iz upotrebe u računarskim mrežama. Razlog tome je što kablovi sa upredenim bakarnim paricama omogućuju mnogo veće brzine prenosa i jeftiniji su.
- Ranije su se upotrebljavale dvije vrste koaksijalnh kablova za povezivanje stanica u računarskim mrežama:

  - **RG-58** (*thinwire*) tanki 50-omski kabl - korišćen je za povezivanje manjih grupa računara (u kancelarijama i laboratorijama) i omogućavao je brzinu prenosa do 10 Mb/s na segmentu dužine do 185m.

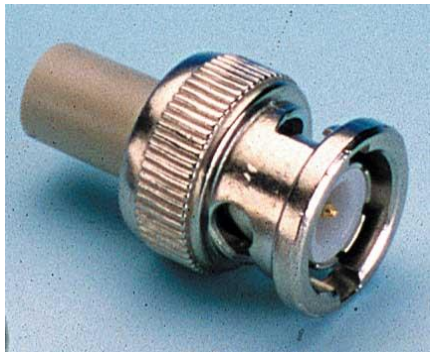
  - **RG-11** (*thickwire*) - nešto deblji 75-omski kabal koji je korišćen kao *backbone* kabl za distribuciju Ethernet signala kroz veće zdgrade između spratova, i omogućavao je maksimalan domet do 500m pri brzini prenosa od 10 Mb/s

Koaksijalni kablovi

- Mrežne kartice su morale imati BNC (*British National Connector*) konektor, pri čemu bi se na kartici poslednjeg računara u nizu (bus topologija) morao postaviti završni otpornik, kako se signal ne bi reflektovao nazad u mrežu. Na krajevima koaksijalnih kablova se takođe postavljaju BNC konektori.



BNC konektor na NIC kartici



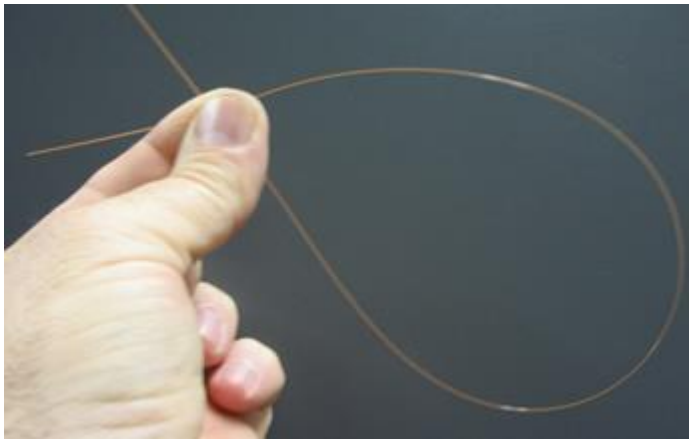
BNC konektori **a)** T tipa; **b)** N tipa

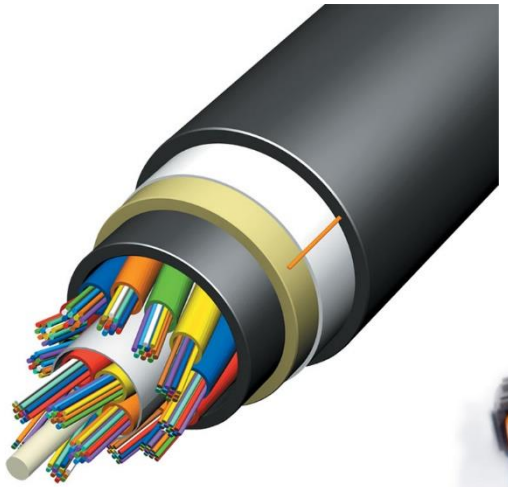
Termin 6 - Sadržaj

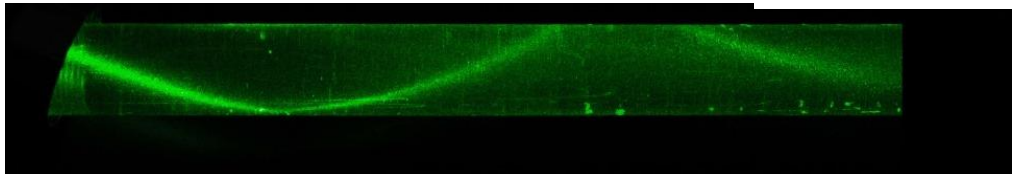
- Vrste medijuma za prenos
- Kablovi sa upredenim bakarnim paricama
- Koaksijalni kablovi
- Kablovi sa optičkim vlaknima
- Bežični prenos

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.







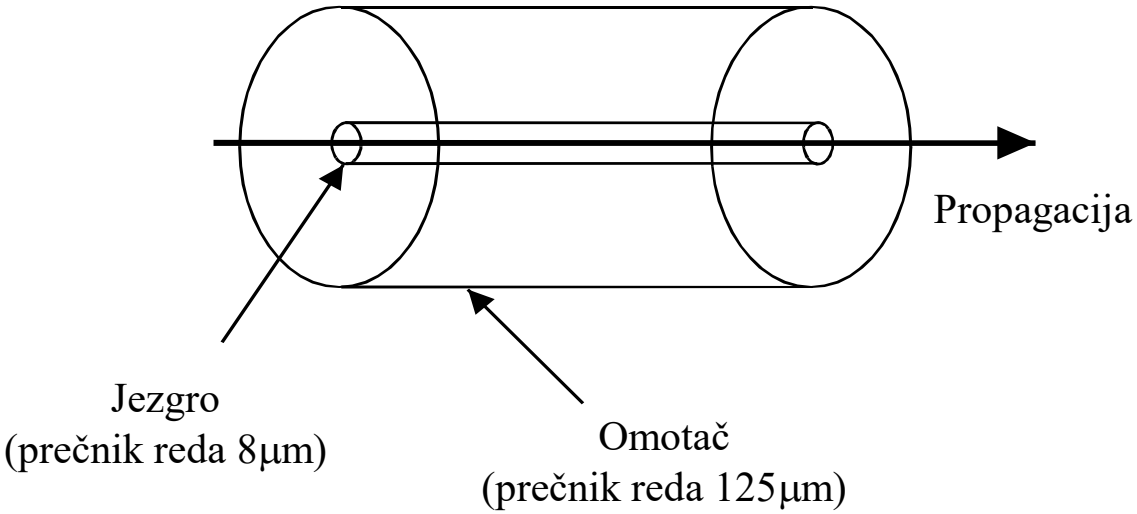
Kablovi sa optičkim vlaknima

- Indeks prelamanja svjetlosti jezgra je uvijek veći od indeksa prelamanja omotača. Indeks prelamanja (n) neke sredine je odnos brzine prostiranja svjetlosti u slobodnom prostoru (c=3·10^8 m/s) i u toj sredini (v):

$$n=c/v$$

- U odnosu na način prostiranja svjetlosti duž vlakna, razlikuju se:
  - **monomodna** i
  - **multimodna** vlakna.
- Kod monomodnih vlakana postoji samo jedna putanja prostiranja svjetlosti duž jezgra. Za smanjivanje broja refleksija od ivice jezgra, potrebno je da jezgro bude što je moguće manje (reda 8μm), što stvara probleme u proizvodnji.
- Multimodna vlakna, imaju veći prečnik jezgra i veći broj putanja prostiranja dobijenih refrakcijom svjetlosnog zraka. Postojanje više putanja prostiranja različitih dužina, a time i različitih vremena potrebnih za prelazak vlakna, dovodi do toga da se pojedinačni elementi signala (impulsi) rasipaju u vremenu. Ova pojava zove se **modalna disperzija**

Kablovi sa optičkim vlaknima



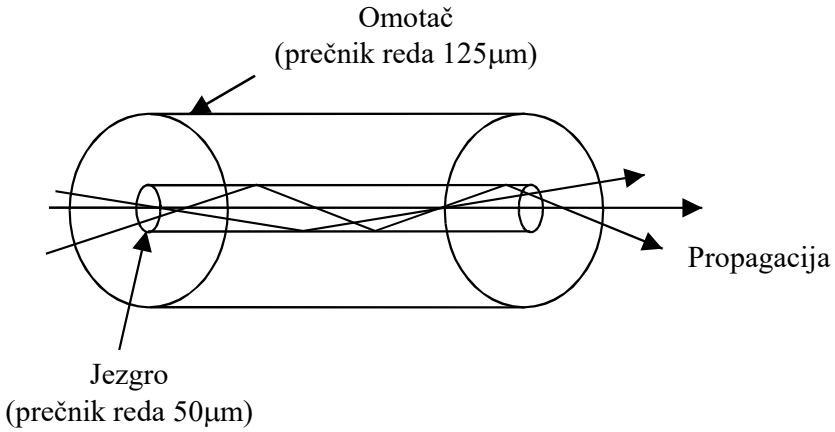
Prostiranje svjetlosti duž jezgra kod monomodnih vlakana

- Tipične vrijednosti slabljanja monomodnog optičkog vlakna se kreću u opsegu **od 0,3 do 0,4 dB/km**.
- U praksi se uobičajeno sreću dvije vrste multimodnih vlakana:

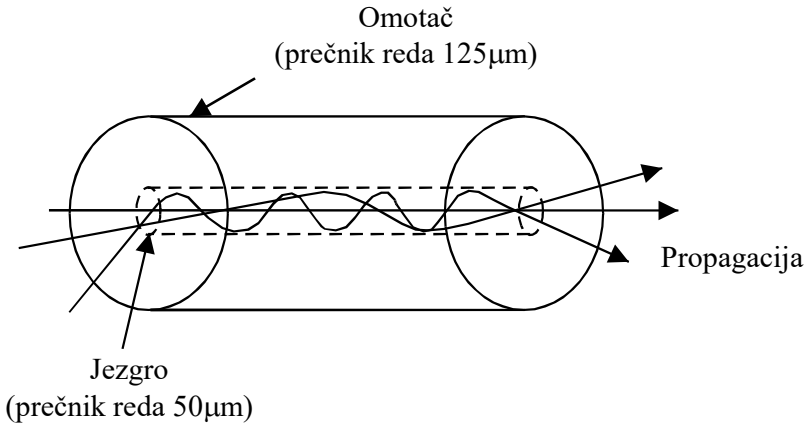
  - **dvoslojna** i

  - **gradijentna**.

Kablovi sa optičkim vlaknima



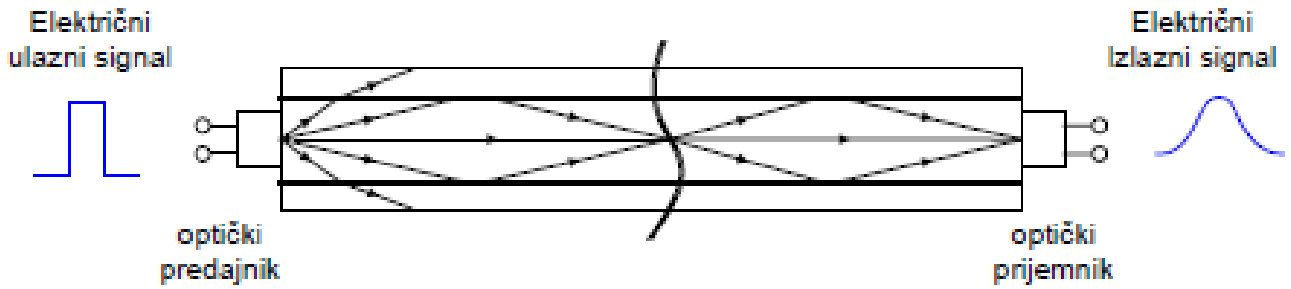
- Kod multimodnog dvoslojnog optičkog vlakna, jezgro ima konstantan indeks prelamanje svjetlosti



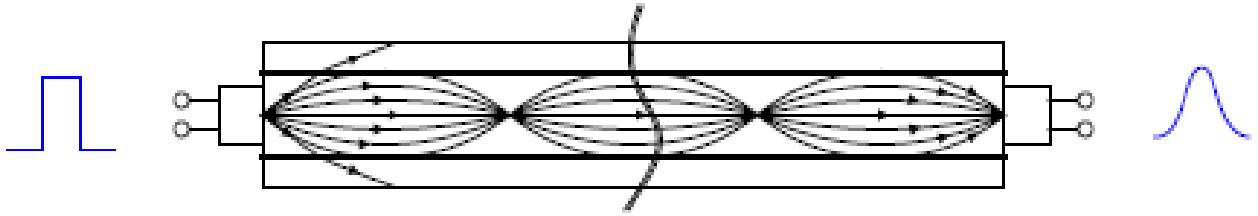
- Kod multimodnog gradijentnog optičkog vlakna, indeks prelamanja svjetlosti jezgra nije konstantan, već se mijenja od centra jezgra prema obodu, tako da se indeks prelamanje povećava što se više udaljava od centra jezgra

Putanje prostiranje svjetlosnih zraka kod dvoslojnih i gradijentnih multimodnih optičkih vlakana

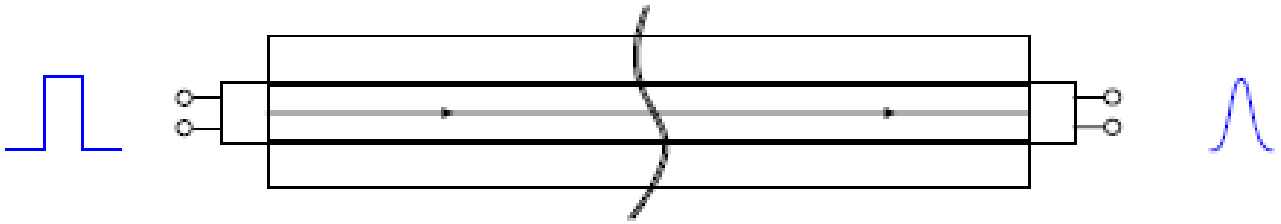
Kablovi sa optičkim vlaknima



i) *Multimode stepped index*



ii) *Multimode graded index*



iii) *Monomode*

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

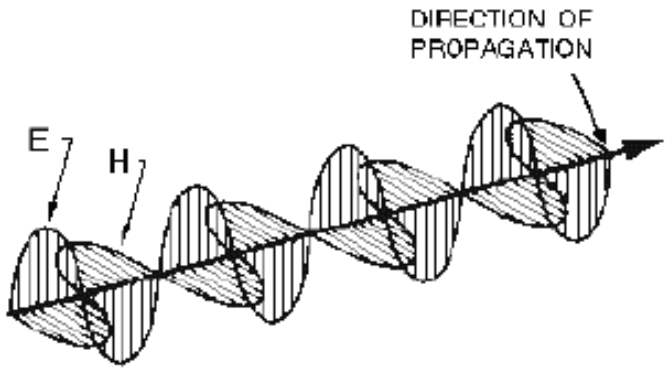
- Prednosti optičkih vlakana:
  - **Manji su i lakši**. Tipično, kablovi sa optičkim vlaknima imaju deset puta manju težinu od koaksijalnih kablova, tanji su i lakši za ugradnju.
  - Optička vlakna su otporna na koroziju i vlagu.
  - Troškovi održavanja su manji nego za električne kablove. Takođe je 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 korisnicma (FTTB – *fiber to the building* ili FTTC – *fiber to the curb*), da bi se omogućio širokopojasni pristup Internetu, HD TV servisi, itd.

Termin 6 - Sadržaj

- Vrste medijuma za prenos
- Kablovi sa upredenim bakarnim paricama
- Koaksijalni kablovi
- Kablovi sa optičkim vlaknima
- Bežični prenos

Elektromagnetni talas

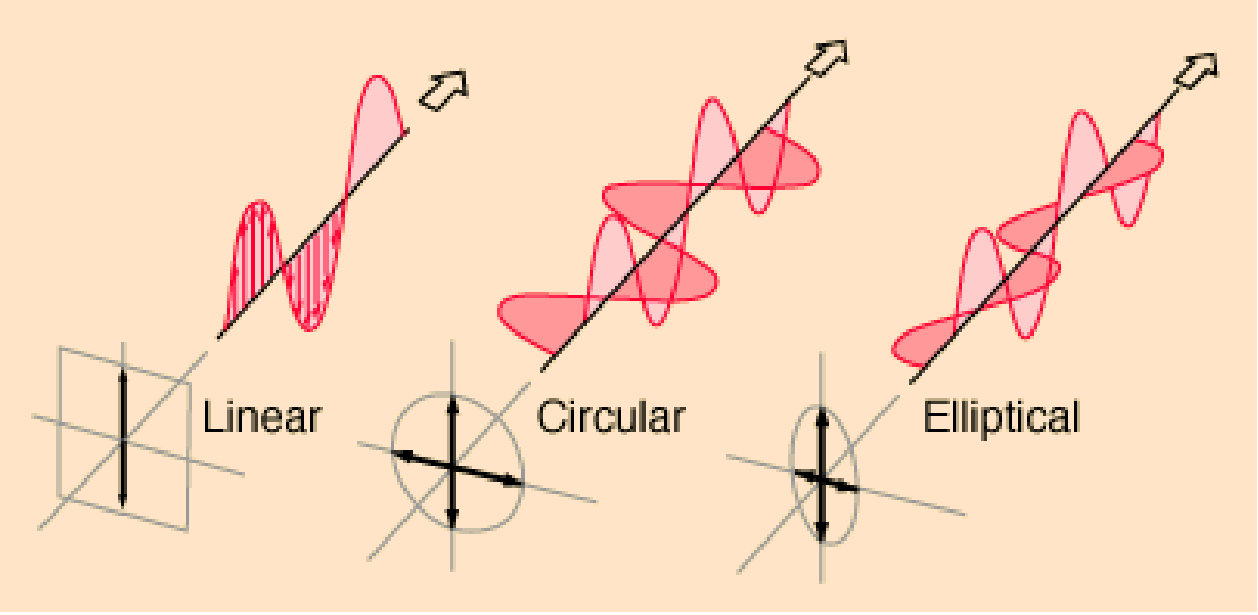
- Elektromagnetni talas (EMT), ili radio talas, predstavlja oblik energije koji emituje predajna antena, a koji u sebi sadrži komponentu električnog polja (*E*) i komponentu magnetnog polja (*H*)
- EM energija koju emituje predajna antena se u vidu sfere širi u prostoru. Svaki dio te sfere je normalan 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

Polarizacija radio talasa

- **Ravan polarizacije** radio talasa se uobičajeno predstavlja kao ravan u kojoj se komponenta električnog polja (*E*) prostire u odnosu na površinu Zemlje
- Da bi prijemna antena absorbovala što veću energiju iz radio talasa, neophodno je da bude postavljena u ravni polarizacije, tj. paralelno sa linijama električnog polja
- Elektromagnetni talas (EMT) može biti polarisan:
  - **Linearno,**
  - **Eliptično,**
  - **Cirkularno.**

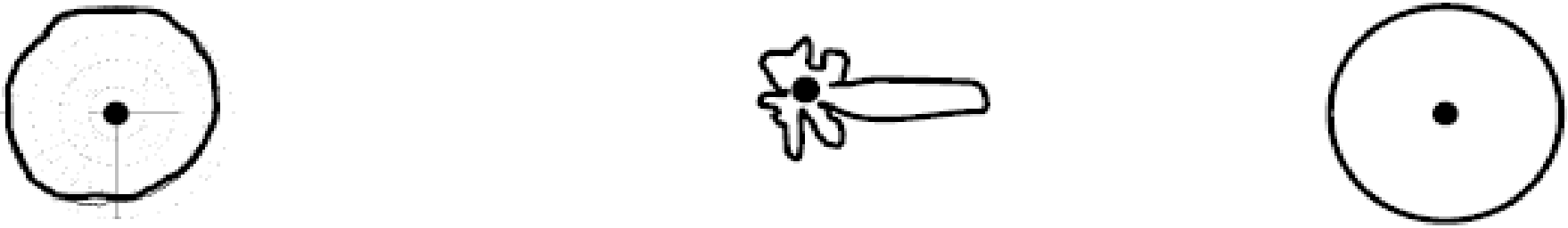


Antene

- **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

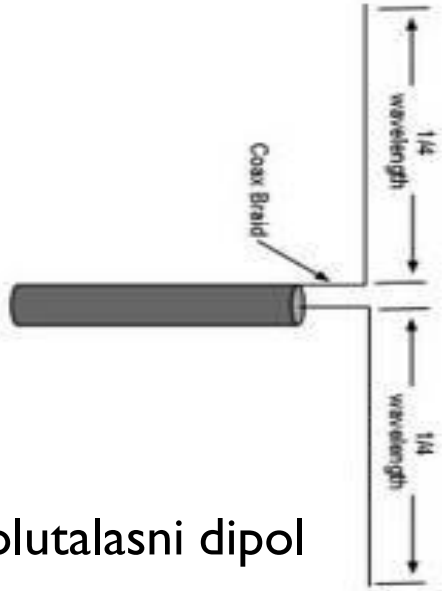
- U zavisnosti od dijagrama zračenja, antene se mogu podijeliti na:
  - Omni-direkcione antene – emituju EM energiju u svim pravcima
  - Direkcione antene – imaju usmjereno zračenje
- Kao teorijski model antene koja emituje EM energiju podjednako u svim pravcima koristi se izotropna antena



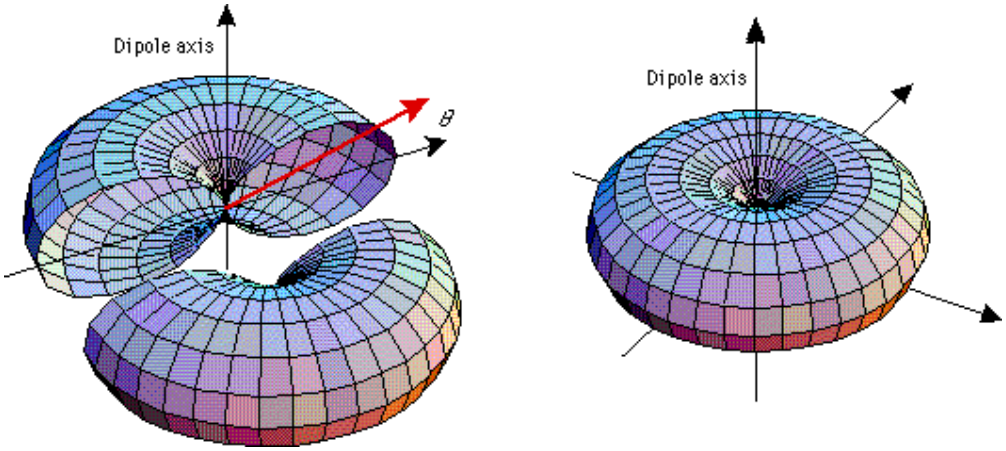
a) **b)** **c)**

Dijagrami zračenja u horizontalnoj ravni : **a)** Omni-direkcione antene;
b) Direkcione antene; **c)** Izotropne antene

Antenski dobitak



Polutalasni dipol



Dijagram zračenja polutalasnog dipola

$$\text{Slabljenje} = \log_{10} \frac{P_{in}}{P_{out}} \quad [\text{Bel}]$$

$$\text{Slabljenje} = 10 \log_{10} \frac{P_{in}}{P_{out}} \quad [\text{dB}]$$

$$\text{Slabljenje} = 20 \log_{10} \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad [\text{dB}]$$

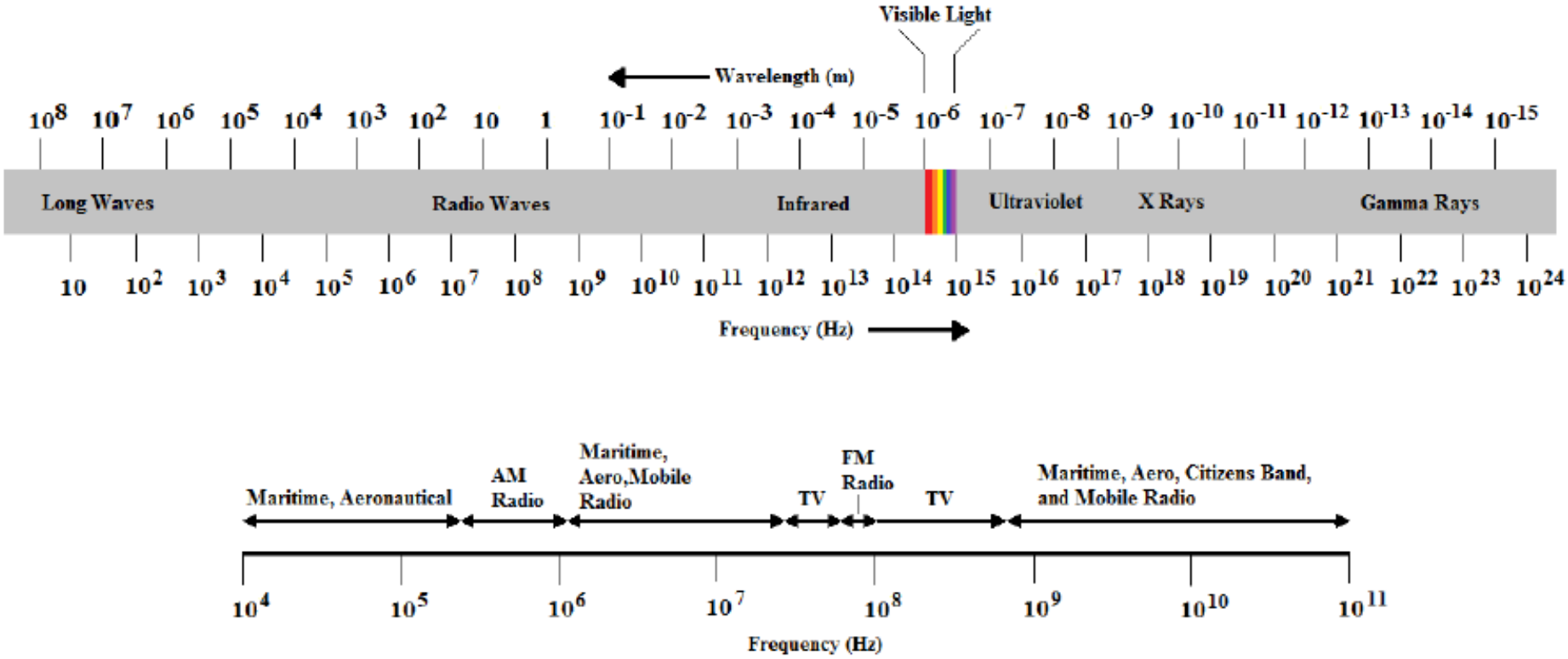
- Antenski dobitak (pojačanje antene) u odnosu na izotropnu antenu – **dBi**
- Antenski dobitak (pojačanje antene) u odnosu na polutalasnu dipol antenu - **dBd**

dBi = dBd + 2,15

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.

Elektromagnetni spektar



- Radio spektru pripadaju učestanosti od 3kHz do reda 300 GHz

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

Osnovne osobine

- Radio kanali koji se koriste u bežičnim računarskim mrežama (WLAN) spadaju u kanale sa vremenski promjenljivim parametrima.
- Mehanizam prostiranja signala je uglavnom nepredvidljiv
- Karakteristike prijemnog signala su promjenljive u vremenu i određuju se na statističkoj osnovi
- Pojave karakteristične za komunikacije preko vremenski promjenljivih radio kanala:
  - Prostiranje signala višestrukim putanjama (*Multipath* prostiranje),
  - interferencija (preklapanje sa signalima iz istog ili drugih sistema),
  - intersimbolska interferencija (ISI),
  - Doppler-ovo širenje uslijed mobilnosti,
  - šum, ...

Mehanizmi propagacije EMT

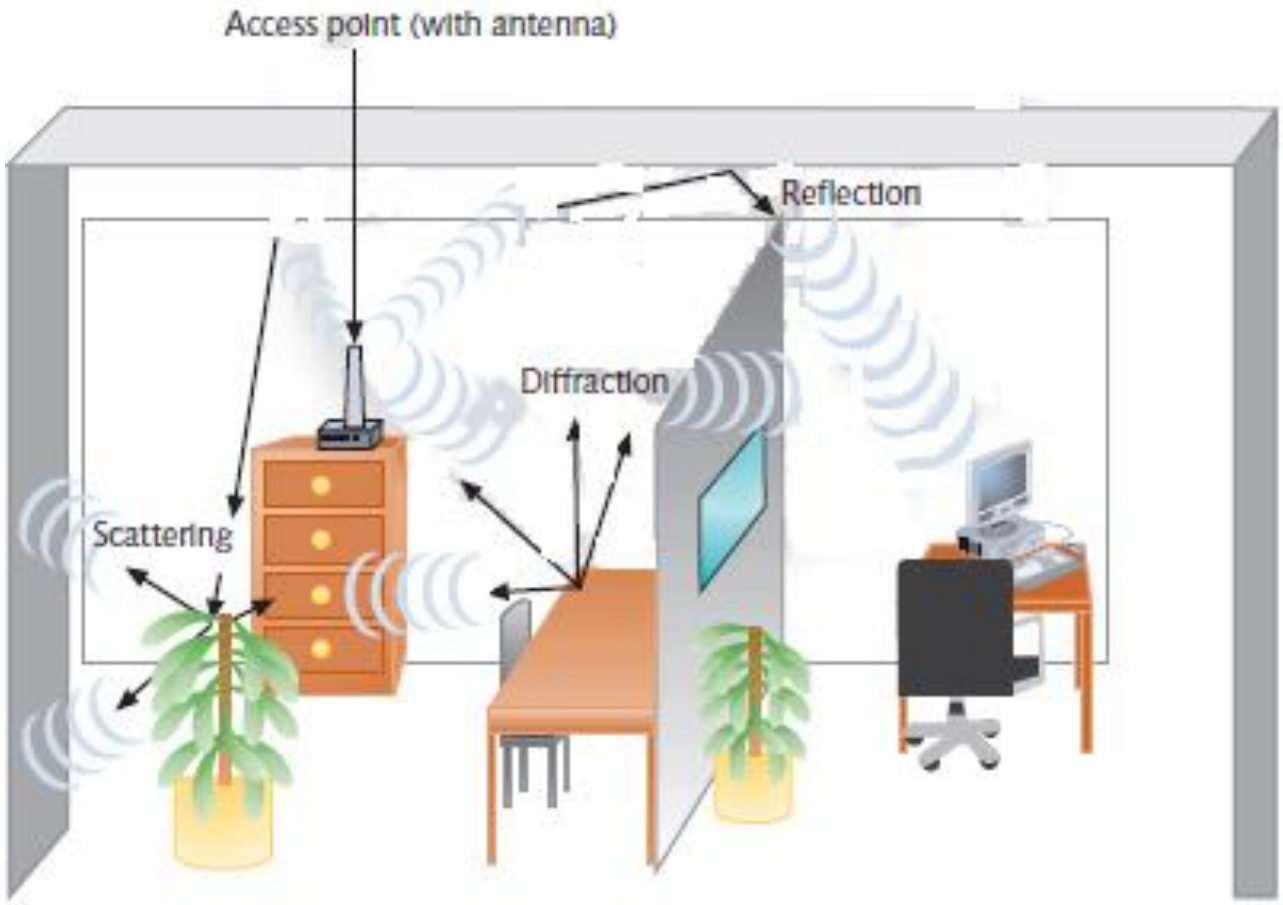
- Mehanizmi propagacije EMT između dvije tačke su:
  - **Refleksija** (od površina čije su dimenzije >>λ)
  - **Refrakcija** (povijanje talasa zbog nehomogenosti u medijumu)
  - **Difrakcija** (prelamanje talasa na ivici objekata dimenzija reda λ)
  - **Rasijanje (*scattering*)** (od mnoštva objekata čije su dimenzije <<λ)

- Pri interakciji EMT sa različitim objektima i površinama dolazi i do apsorpcije i promjene polarizacije EMT.

- EMT prolazi kroz različite prepreke (objekte), manje ili više oslabljen. I ova pojava je frekvencijski zavisna.

- Sve navedene pojave pri prostiranju EMT su **frekvencijski zavisne**

Mehanizmi propagacije EMT



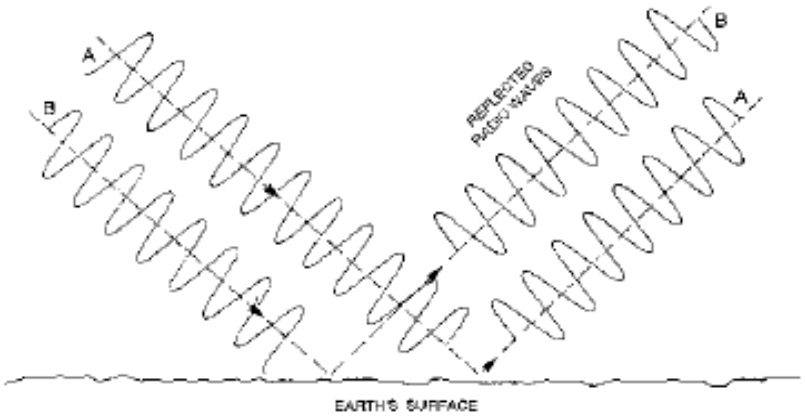
Mehanizmi propagacije EMT u *indoor* okruženju

Refleksija

- Predstavlja pojavu **odbijanja EMT od površina čije su dimenzije znatno veće od talasne dužine EMT, λ**.
- Veličina refleksije zavisi od karakteristika površine (provodnosti) i upadnog ugla EMT.
  - Refleksija je veća od materijala koji imaju bolju provodnost (metalne površine).
  - Površina Zemlje ima dobre refleksione karakteristike

- Pri refleksiji od ravnih površina dolazi do promjene faze EMT

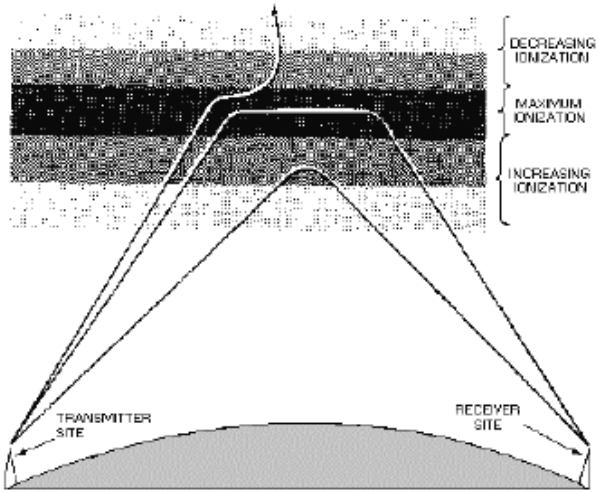
  ✓ Zavisi od polarizacije talasa i od upadnog ugla



Refrakcija i difrakcija

- **Refrakcija** predstavlja pojavu **promjene pravca prostiranja (povijanja) EMT pri prelasku iz jedne u druge sredinu** (ili pri promjeni karakteristike iste sredine), u kojima se razlikuju brzine prostiranja EMT.

  - EMT se uvijek povija prema sredini (medijumu) u kojoj je manja brzina prenosa v.

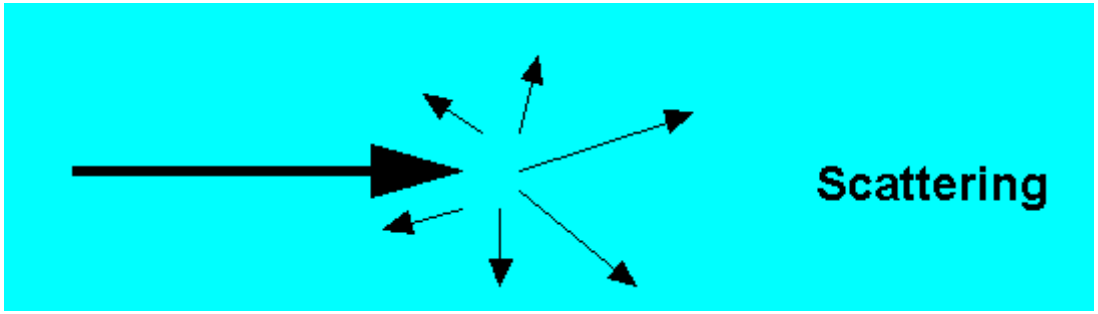


- **Difrakcija** predstavlja pojavu prelamanja EMT na ivicama objekata čije su dimenzije reda $\boldsymbol{\lambda}$, odnosno savijanja oko objekata.
- Difrakcija omogućuje ostvarivanje radio-komunikacije i u **NLOS** (***Non-line of Sight***) slučajevima, tj. kada ne postoji direktna vidljivost između predajnika i prijemnika.

Rasijanje

- Rasijanje *(scattering)* EMT se dešava kada EMT naiđe na mnoštvo objekata (nehomogenosti u sredini kojom se prostire) čije su dimenzije znatno manje od $\boldsymbol{\lambda}$, prilikom čega se energija upadnog EMT preraspodjeljuje u svim pravcima.

- Tačka rasijanja se može prikazati kao novi, ekvivalentni izvor EMT.
  - Rasijanje na UHF opsegu, kod mobilnih celularnih sistema se dešava na grubim površinama zidova, na lišću drveća, itd.
  - Do rasijanja može doći i na česticama u atmosferi



Slabljenje signala u slobodnom prostoru

- Pri prostiranju signala radio linkom, slabljenje signala raste sa porastom frekvencije, i sa porastom rastojanja.
  - U slučaju prostiranja u slobodnom prostoru (nema prepreka između predajnika i prijemnika) slabljenje raste sa kvadratom porasta rastojanja, i sa kvadratom porasta učestanosti.
- **Friisova formula** za primljenu snagu pri prostiranju u slobodnom prostoru:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}, \quad d > 0$$

G_t i G_r predstavljaju pojačanja predajne i prijemne antene, respektivno.