

Sve izmjene e biti pisane ovim fontom i bojom (oldgateLANEoutline ili sl.),

neki dio teksta e biti highlightan(žuto), strelice, pokušaj slika itd. :)
ali nijedan originalan dio ne e biti brisan! (samo strelice i sl. ne e biti zelene nego crvene)

Elektroničke komunikacije

Sve primjedbe, greške, možda dodatne komentare koje imate vi u bilj. pa da ih dodam i sve što može pomo i poboljšanju ovoga javite na PM!

Predavači: *prof.dr.sc. Borivoj Modlic*
prof.dr.sc. Sonja Grgić
doc.dr.sc. Gordan Šišul

Zavod za radiokomunikacije,
zgrada C, 11. i 12. kat

By:egislav



**Predavanja i ostali materijali o
predmetu dostupni su na:**

<http://www.fer.unizg.hr/predmet/elekom>

Ovo su sad one gluposti...

Organizacija nastave i ispita

Sadržaj predavanja

- Uvod. Model komunikacijskog sustava. Izvori informacija (zvuk, slika, podaci). Digitalni signali u osnovnom pojasu frekvencija. Smetnje u komunikacijskom kanalu, kapacitet kanala. Značajke prijenosnih medija.
- Osnovni pojmovi o modulaciji. Sistematizacija modulacijskih postupaka. Modulacija amplitude (AM). Modulacija faze (PM), modulacija frekvencije (FM). Demodulacija. Utjecaj šuma.
- Diskretna modulacija amplitude (ASK). Diskretna modulacija frekvencije (FSK), koherentna i nekoherentna demodulacija. Diskretna modulacija faze (PSK). Modulacijski postupci s minimalnim razmakom frekvencija (MSK i GMSK). Kvadratura diskretna modulacija amplitude (QAM). Kvaliteta modulacije. Postupci sinkronizacije i obnove nosioca.

Sadržaj predavanja

- Frekvencijski multipleks ortogonalnih podnosilaca (OFDM). Modulacija impulsnog signala. Modulacija amplitude impulsa (PAM). Modulacija trajanja/širine impulsa (PDM). Modulacija položaja/faze impulsa (PPM). Modulacija frekvencije impulsa (PFM).
- Komunikacijska mreža. Vrste mreža. Mreže s komutacijom kanala i komutacijom paketa. Tehnike multipleksiranja. Komunikacijski protokol. Slojevi mreže. Referentni model OSI. Referentni model TCP/IP.

Sadržaj predavanja

- Javna komutirana telefonska mreža (PSTN). Telefonske modemske veze. Digitalne pretplatničke linije. Asimetrična digitalna pretplatnička linija (ADSL). Optičke pristupne tehnologije.
- Lokalne mreže. Ethernet. Radijske lokalne mreže (WLAN). Bluetooth.
- Mreže širokih područja (WAN) s komutacijom paketa. Protokol X.25. Komutacija okvira. Mreže s asinkronim načinom prijenosa (ATM). Mobilne komunikacije. Čelijski sustavi. Dvosmjerna komunikacija, FDD, TDD. Tehnike višestrukog pristupa: FDMA, TDMA, CDMA. Mreže vrste GSM, UMTS.

Opće kompetencije

- Svrha predmeta je usvajanje temeljnih znanja o prijenosu informacija u različitim komunikacijskim sustavima.
- Student će steći potpuni uvid u analogne i digitalne modulacijske postupke, njihove značajke i načine primjene u implementaciji usluga.
- Student će razumjeti mogućnosti i ograničenja različitih prijenosnih sustava i bit će sposoban provesti odabir parametara modulacijskog postupka za realizaciju pojedine usluge u određenom komunikacijskom sustavu.

Literatura

- B.Modlic, I.Modlic, *Modulacije i modulatori*, Školska knjiga, 1995.
- R.Horak, *Communications Systems and Networks*, Wiley, 2002.
- L.Goleniewski, *Telecommunications Essentials*, Addison-Wesley, 2001.
- R. E. Ziemer, W. H. Tranter, *Principles of Communications*, Wiley, 2008.
- A.Leon-Garcia, I.Widjaja, *Communication Networks: Fundamentals Concepts and Key Architectures*, McGraw-Hill, 2004.
- J. G. Proakis, M. Salehi, *Fundamentals of Communication Systems*, Prentice Hall, 2005.

Sadržaj laboratorijskih vježbi

Popis laboratorijskih vježbi

- Vježba 1. Modulacija amplitude (AM)
- Vježba 2. Diskretna modulacija faze (PSK), optimalni prijamnik
- Vježba 3. Modulacijski postupak s minimalnim razmakom frekvencija (GMSK)
- Vježba 4. Frekvencijski multipleks ortogonalnih podnosilaca (OFDM)
- Vježba 5. Nesimetrična digitalna pretplatnička linija (ADSL)

Kako položiti ispit iz Elektroničkih komunikacija?

Kontinuirana provjera znanja kroz semestar

- laboratorijske vježbe + međuispit + završni ispit

Ispitni rok

- laboratorijske vježbe + ispit

Kako položiti ispit iz Elektroničkih komunikacija?

Laboratorijske vježbe

- laboratorijske vježbe održavat će se na 12. katu zgrade C u turnusu koji je protivan turnusu predavanja
- na laboratorijske vježbe je potrebno doći:
 - pripremljen (proučiti upute za odgovarajuću vježbu)
 - s napisanom domaćom zadaćom
- domaća zadaća zadana je u uputama za pojedinu vježbu i sastoji se od dva zadatka ili pitanja koje je potrebno riješiti odnosno odgovoriti u pisanom obliku
- tijekom vježbi, asistenti će pregledati domaće zadaće

Kako položiti ispit iz Elektroničkih komunikacija?

Laboratorijske vježbe

- nakon što obradi pojedinu vježbu, svaki student treba kolokvirati vježbu
- kolokvij pokriva gradivo koje je vezano uz upute za dotičnu vježbu, domaću zadaću za tu vježbu te rad i rezultate dobivene na vježbi
- na pojedinoj laboratorijskoj vježbi može se postići 0 - 2 boda
- ukupan broj bodova koje se može ostvariti putem laboratorijskih vježbi je 10
- izostanak s pojedine vježbe donosi jedan negativan bod (-1)

Kako položiti ispit iz Elektroničkih komunikacija?

Međuispit

- međuispit se sastoji od 13 pitanja
- točan odgovor na pitanje donosi 3 boda
- ukupan broj bodova koje se može ostvariti na međuispitu je 39 bodova
- međuispit traje 90 minuta

Kako položiti ispit iz Elektroničkih komunikacija?

Završni ispit

- sastoji se od 17 pitanja
- točan odgovor na pitanje donosi 3 boda
- ukupan broj bodova koje se može ostvariti na završnom ispitu je 51 bod
- završni ispit traje 120 minuta

Kako položiti ispit iz Elektroničkih komunikacija?

Ispitni rok

- sastoji se od 30 pitanja
- točan odgovor na pitanje donosi 3 boda
- ukupan broj bodova koje se može ostvariti na ispitu je 90 bodova
- ispit traje 180 minuta

Kako položiti ispit iz Elektroničkih komunikacija?

Ukupni broj bodova za kontinuiranu provjeru znanja

- Međuispit - do 39 bodova (13 pitanja)
- Završni ispit - do 51 bod (17 pitanja)
- Laboratorijske vježbe - do 10 bodova (5 vježbi + domaće zadaće)
- Ukupni broj bodova - do 100 bodova
- Student je položio ispit ako je ukupno ostvario **50** ili više bodova
 - Ocjenjivanje se provodi u skladu sa sljedećom tablicom

X - broj bodova	Ocjena
$100 \leq X \leq 90$	5
$90 < X \leq 76$	4
$76 < X \leq 62$	3
$62 < X \leq 50$	2
$X < 50$	1

Kako položiti ispit iz Elektroničkih komunikacija?

Ukupni broj bodova za ispitni rok

- Laboratorijske vježbe - do 10 bodova (5 vježbi + domaće zadaće)
- Pismeni ispit – do 90 bodova (30 pitanja)
- Ukupni broj bodova - do 100 bodova
- Student je položio ispit ako je ukupno ostvario **50** ili više bodova
 - Ocjenjivanje se provodi u skladu sa sljedećom tablicom

X - broj bodova	Ocjena
$100 \leq X \leq 90$	5
$90 < X \leq 76$	4
$76 < X \leq 62$	3
$62 < X \leq 50$	2
$X < 50$	1

Uvod

Što je komunikacija? **pro itat na brzinu**

- komunikacija je prijenos informacije
 - različiti oblici informacija
 - poštansko pismo, elektroničko pismo, govor, glazba, slika, ...
 - različiti mediji za prijenos informacija
 - olovka i papir, dimni signali, bakrena parica, elektromagnetski val, koaksijalni kabel, svjetlovod, ...
 - različito kašnjenje u prijenosu informacija
 - npr. kratko pismo može biti dostavljeno u nekoliko sekundi ili minuta putem elektroničke pošte, za dan ili dva žurnom poštanskom uslugom ili za tjedan dana običnom poštanskom uslugom
 - različita kvaliteta prijenosa informacija
 - npr. govor i glazba mogu biti raspoloživi u vrhunskoj CD-kvaliteti, uobičajenoj kvaliteti radijskih programa, telefonskoj kvaliteti ili vrlo niskoj kvaliteti npr. radijski uređaji u taksiju, tramvaju i sl.
- inženjeri vrednuju sve navedene parametre

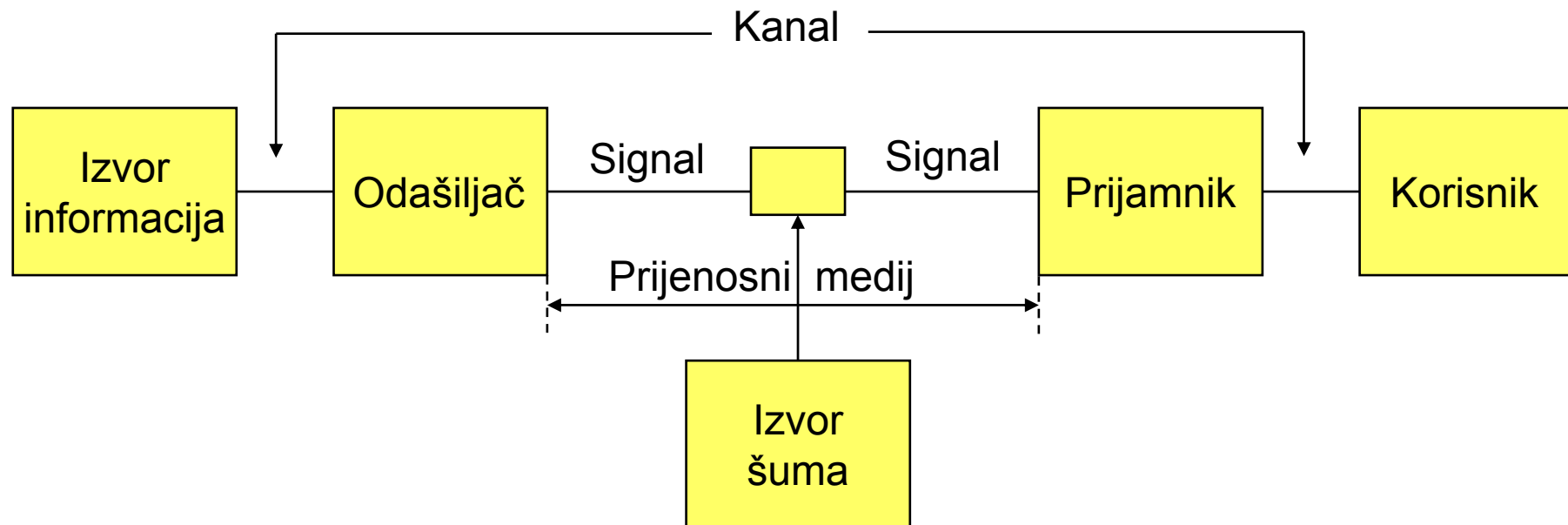
Što je informacija? **pro itat na brzinu**

- u filozofiji i matematici postoji više odgovara na to pitanje
 - informacija je podatak
 - npr. stanje bankovnog računa, telefonski broj, datoteka na računalu, ...
 - podatak u najužem smislu je predodčen slijedom binarnih simbola
 - informacija je smisao, značenje (*meaning*)
 - npr. značenje stanja bankovnog računa može biti da je stanje na njemu nedopušteni minus i da će račun biti zatvoren, značenje datoteke na računalu može biti da smo dobitnici na lutriji ili da smo dobili otkaz
 - informacija je podatak + smisao

Model komunikacijskog sustava

Što je komunikacijski sustav? ...

- sustav koji omogućava prijenos informacije između prostorno udaljenih točaka
- opći model komunikacijskog sustava



Opći model

pro itat na brzinu

- izvor informacija
 - osoba, objekt, uređaj i sl. koji generiraju informaciju koju treba prenijeti korisniku
 - informacija se može pojaviti u obliku pisane ili izgovorene riječi, glazbe, slike, nekih podataka i sl.
 - informacija može biti predstavljena kao slijed diskretnih elemenata, kao što su slova, brojevi, note i sl., koji se nazivaju simboli, ili kao funkcija jedne ili više varijabli
 - npr. u telefonskom prijenosu informacija je predstavljena kao funkcija vremena, u televiziji kao funkcija vremena i dviju prostornih koordinata, itd.
 - prijenosni sustav mora osigurati zadovoljavajuće uvjete prijenosa za bilo koju od mogućih poruka

Opći model

tako e

- odašiljač
 - provodi pretvorbu informacije u signal pogodan za prijenos
 - signal = električni ekvivalent informacije koja se prenosi
 - npr. u telefoniji se zvučni tlak prevara u električnu struju, u televiziji se raspored svjetlosnih jakosti, koje predstavljaju sliku, prevara u električni napon
- prijenosni medij
 - sredstvo kroz koje se signal prenosi od odašiljača do prijamnika
 - vođeni mediji - upletena parica, koaksijalni kabel, svjetlovod
 - nevođeni medij - slobodni prostor u kome se prenosi elektromagnetski val
 - pojave koje se ovdje događaju mogu promijeniti valni oblik električnog signala te dovesti do degradacije parametara cijelog sustava
 - npr. kod prijenosa zvuka čuje se pucketanje, u televizijskoj slici se vidi "snijeg" ili je slika dvostruka
 - ove pojave uzrokovane su šumom (izvor šuma je sastavni dio blok-sheme koja prikazuje opći model komunikacijskog sustava)

Opći model



- izvor šuma
 - pojave vezane uz šum su stohastičke prirode
 - zbog djelovanja šuma primljeni signal nije jednoznačno određen odaslanim signalom
- prijamnik
 - provodi pretvorbu primljenog električnog signala u informaciju
- korisnik
 - osoba, uređaj ili objekt kome je informacija namijenjena
- opći model komunikacijskog sustava se može primijeniti i na prijenos informacije putem električnog signala kao i na ostale komunikacijske sustave
 - npr. kad jedan čovjek govori drugome onda je mozak prvog čovjeka izvor informacije, a njegov govorni sustav odašiljač; prijenosni medij je prostor kroz koji se prenosi zvučni tlak; prijamnik je uho i sustav živaca drugog čovjeka, a korisnik je mozak toga drugog čovjeka

Točnost reprodukcije informacije **to svak zna :)**

- komunikacijski sustav treba omogućiti da se "izlaz" iz izvora informacija reproducira na mjestu koje odgovara korisniku
- pri tome se postavlja pitanje točnosti reprodukcije (Da li reprodukcija mora biti savršena ili ne?)
- razmatrajući primjere iz svakodnevnog života uviđamo da je komunikacija zadovoljavajuća iako reprodukcija nije savršena
- npr. za televizijsku sliku kažemo da je izvrsna iako znamo da nije onakva kao kad gledamo "živu" scenu; kod prijenosa govora u telefoniji zadovoljavajuća je primljena poruka iako ona nije u potpunosti istovjetna odaslanjoj (izgovorenoj na odašiljačkoj strani)
- *korisnik* određuje da li je reprodukcija informacije zadovoljavajuća i prihvatljiva

Definiranje mjerne jedinice decibel

Razina snage signala u decibelima (dB)

ovo sve treba znat

- Decibelima se izražava omjer npr. snaga, napona, struje i sl.
- Omjer snaga izražen u decibelima dobiva se kao:

$$\frac{P_2}{P_1} [\text{dB}] = 10 \log \frac{P_2 [\text{W}]}{P_1 [\text{W}]}.$$

- Ako se umjesto P_1 stavi neka referentna razina, npr. 1 W ili 1 mW, dobit će se snaga u jedinici koja se označuje dBW odnosno dBm, a što znači: decibela iznad 1 W odnosno decibela iznad 1 mW:

$$P[\text{dBW}] = 10 \log \frac{P[\text{W}]}{1 \text{ W}}; \quad P[\text{dBm}] = 10 \log \frac{P[\text{mW}]}{1 \text{ mW}}.$$

- Ovi izrazi poslužit će za pretvorbu snage izražene u vatima u snagu izraženu u dBW odnosno u dBm.

Razina snage signala u decibelima (dB)

- Snaga signala izražena u dBW ili u dBm može se pretvoriti u snagu izraženu u vatima pomoću inverznih izraza,

$$P[W] = 10^{\frac{P[dBW]}{10}} ;$$

$$P[mW] = 10^{\frac{P[dBm]}{10}} ;$$

$$P[W] = 10^{-3} \cdot 10^{\frac{P[dBm]}{10}} .$$

- Kako je,

$$P[mW] = P[W] \cdot 1000$$

onda izlazi,

$$P[dBm] = P[dBW] + 30 ,$$

odnosno,

$$P[dBW] = P[dBm] - 30 .$$

Razina snage signala u decibelima (dB)

- Primjeri:

0,1 W	↔	-10 dBW	=	20 dBm
0,25 W	↔	-6 dBW	=	24 dBm
0,5 W	↔	-3 dBW	=	27 dBm
1 W	↔	0 dBW	=	30 dBm
2 W	↔	3 dBW	=	33 dBm
4 W	↔	6 dBW	=	36 dBm
5 W	↔	7 dBW	=	37 dBm
8 W	↔	9 dBW	=	39 dBm
10 W	↔	10 dBW	=	40 dBm
25 W	↔	14 dBW	=	44 dBm
40 W	↔	16 dBW	=	46 dBm
100 W	↔	20 dBW	=	50 dBm
200 W	↔	23 dBW	=	53 dBm
1000 W	↔	30 dBW	=	60 dBm

znaju pitat na labosima, koliko je npr. duplo (3dB) i sl. Na ispitu se može s kalkulatorom, al ovo treba znat svatko ra unat

Izvori informacija i oblici signala

Oblici izvora informacije **bla,bla...**

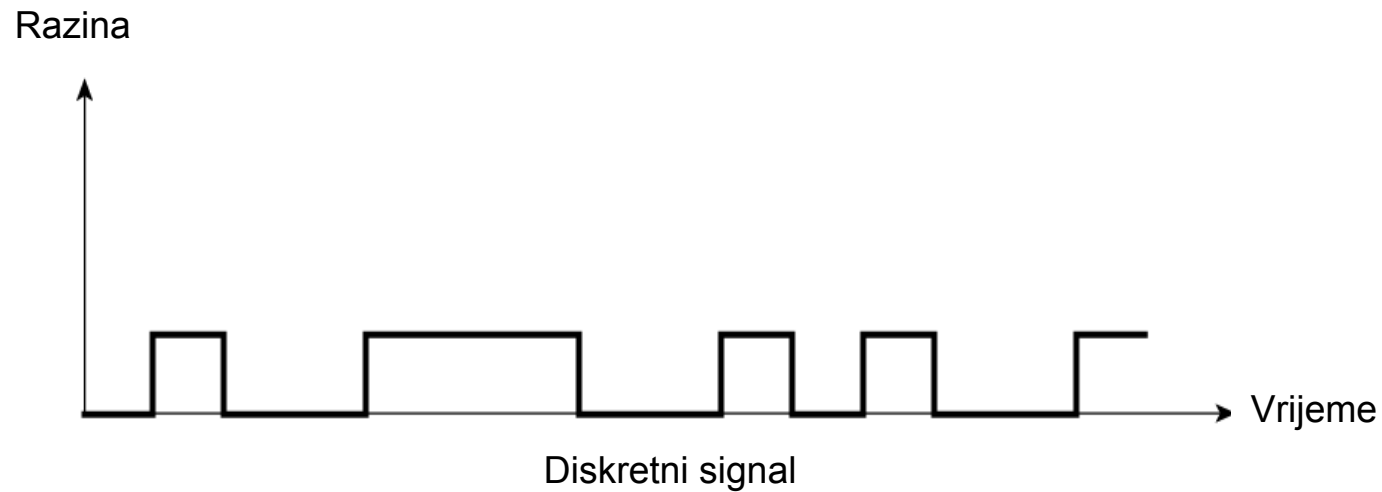
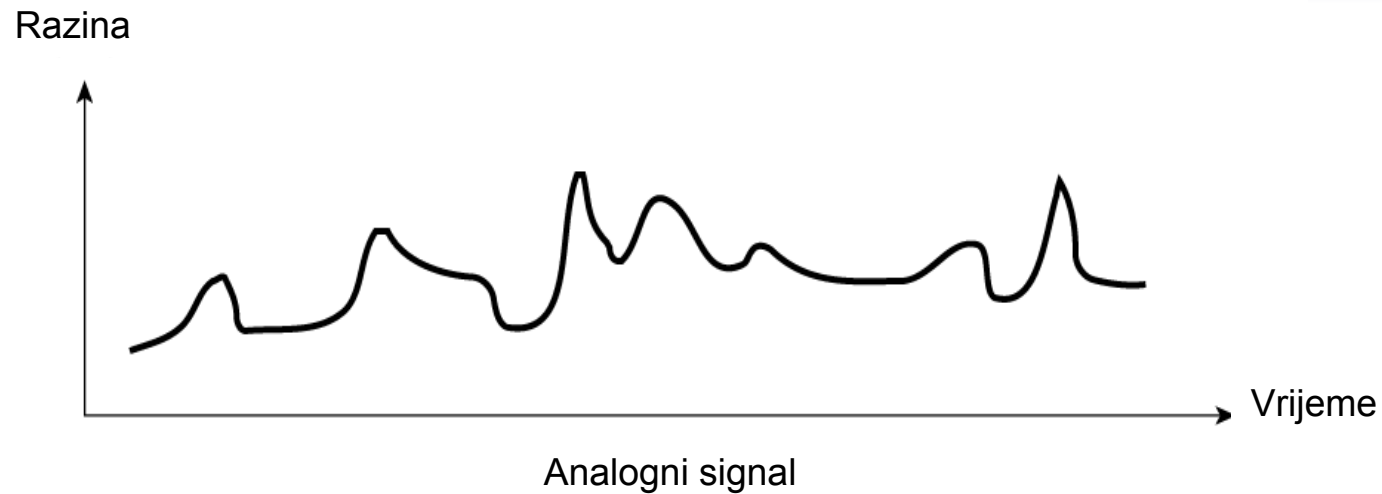
- izvori analogne informacije
 - kontinuirano generiraju vrijednosti u nekom vremenskom intervalu
 - takve informacije su govor odnosno zvuk, slika i sl.
- izvori digitalne informacije
 - generiraju diskretne vrijednosti
 - takve informacije su tekst, brojevi, i sl.
- za prijenos analogne informacije mogu se rabiti i analogni i digitalni signali, a isto vrijedi i za prijenos digitalne informacije
 - moguće je rabiti analogni signal za prijenos digitalne informacije
 - npr. faks, modemi za povezivanje računala putem telefonske mreže
 - moguće je rabiti digitalni signal za prijenos analogne informacije
 - npr. audio CD (*Compact Disc*), DVD, MP3

Oblici signala

niš što se ve ne zna

- signal predstavlja električni ili elektromagnetski prikaz informacije
- razmatranje signala u vremenskom području
 - analogni signal
 - kontinuirana promjena razine u vremenu
 - diskretni signal
 - vremenska promjena razine samo između određenih diskretnih vrijednosti

Analogni i diskretni signal



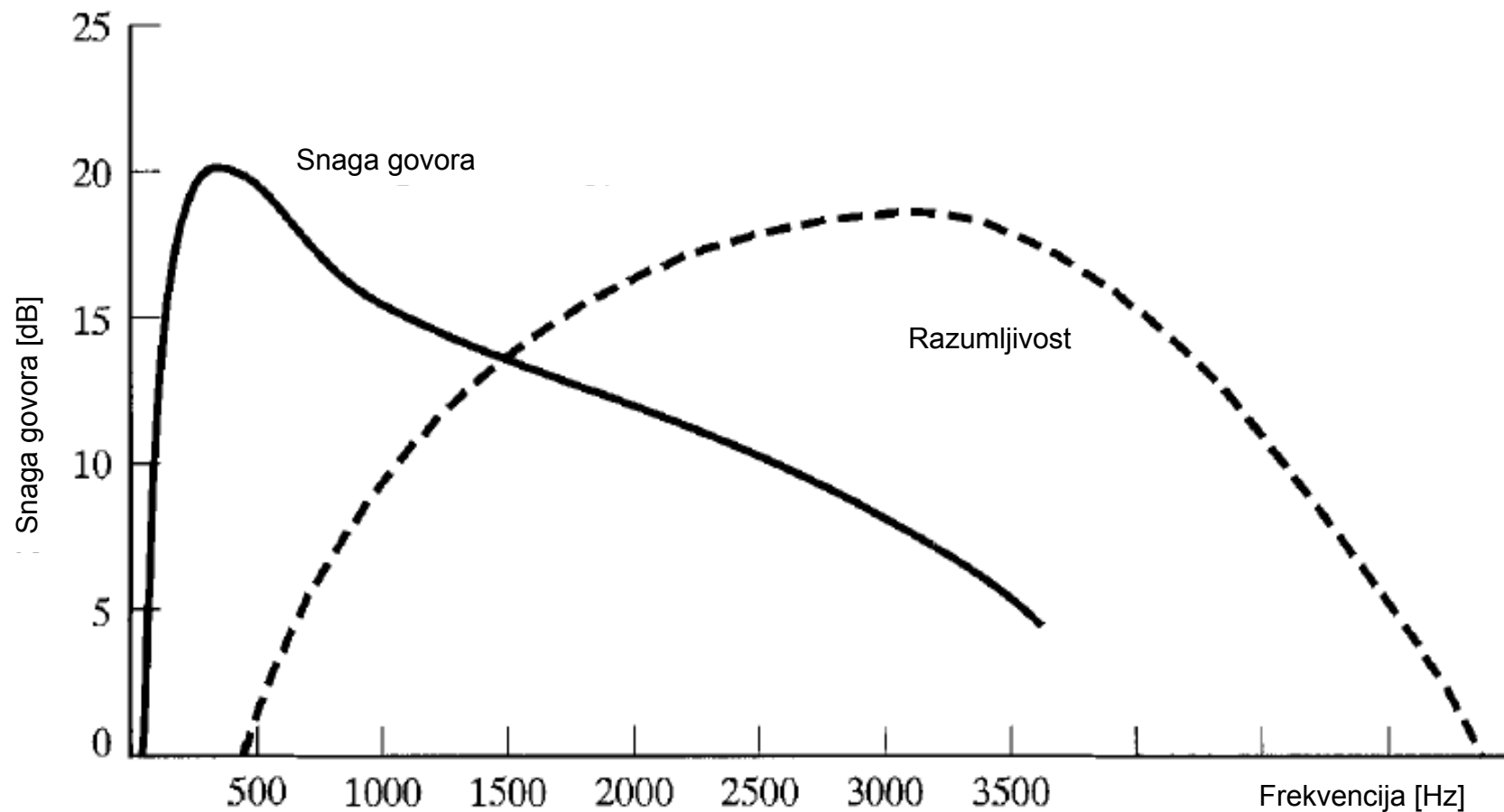
Signali govora i glazbe (audiosignali)

- ljudski slušni sustav je osjetljiv na frekvencijsko područje od 20 Hz do 20 kHz
- govor zauzima frekvencijsko područje od 100 Hz do 7 kHz
 - spektralna gustoća snage govora je veća u području niskih frekvencija
 - u frekvencijskom području do 1 kHz sadržano je prosječno više od 80% snage govora
 - za razumljivost govora je važno i područje viših frekvencija
 - ako se prenose frekvencije iznad 1 kHz razumljivost govora je prosječno veća od 85%
 - ako se prenose frekvencije do 1 kHz razumljivost govora je oko 40%

ovo je samo primjer da se pokaže da se signal može komprimirati, nemoraju se prenositi baš svi signali, više frekvencije se odbacuju kod telefona...

Signali govora i glazbe (audiosignali)

- ovisnost snage i razumljivosti govora



Signali govora i glazbe (audiosignali)

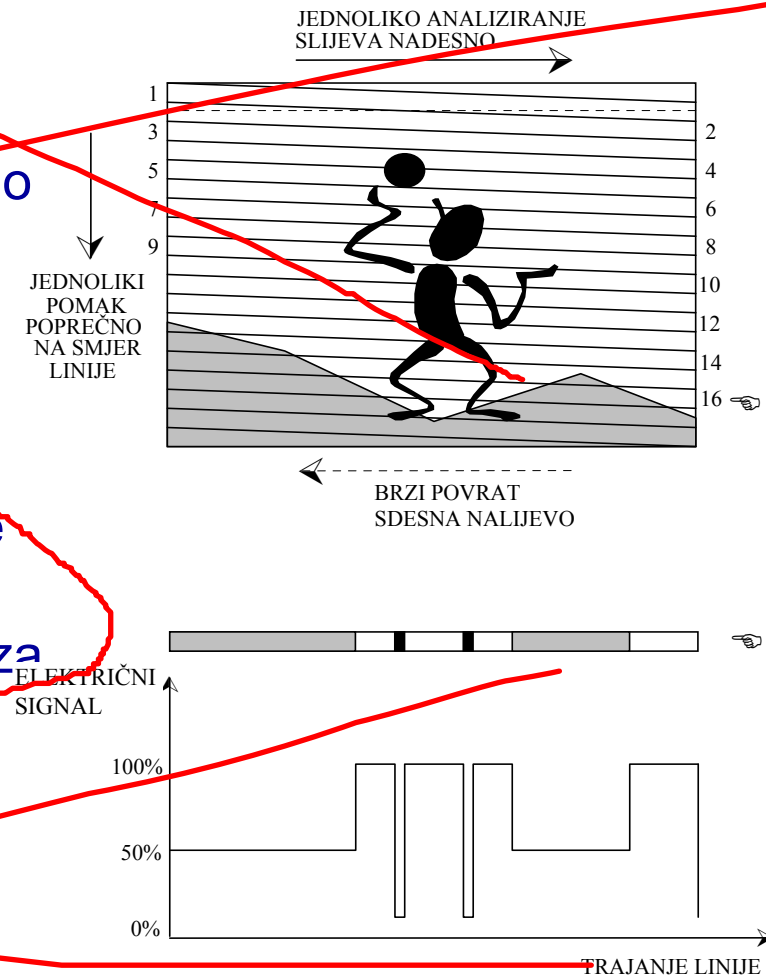


za obični telefon mogu se odbaciti više frekvencije, nemora kvaliteta zvuka biti super, dok je za sustave za reprodukciju glazbe potrebna veća kvaliteta-više frekvencije-više podataka-potrebnije veće brzine

- u telefonskom sustavu je širina pojasa signala govora ograničena na područje od 300 Hz do 3400 Hz, a zahtijevani odnos S/N je 30 – 40 dB
 - kompromis između dovoljne snage i razumljivosti govora
- u reprodukciji glazbe CD kvalitete rabi se frekvencijsko područje do 22 kHz, a zahtijevani odnos S/N je 90 dB
- za FM radijske programe frekvencijski pojas svakog od dva stereofonska kanala prostire se od 40 – 15 000 Hz

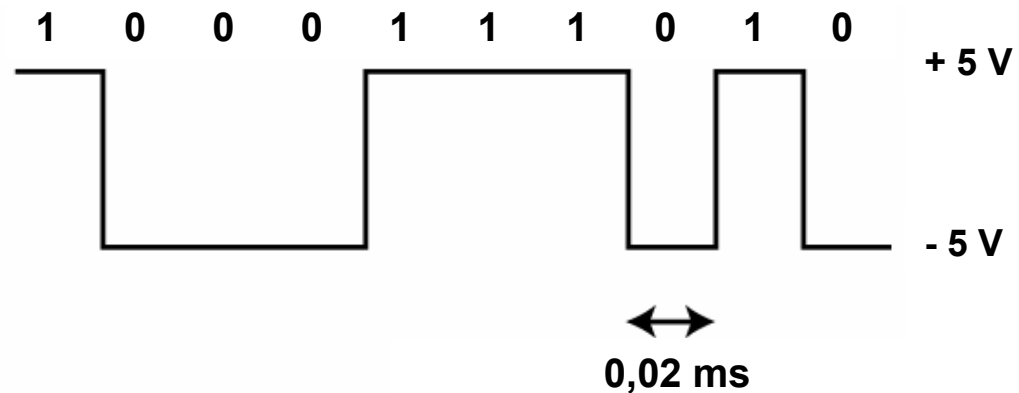
Signal slike (videosignal)

- videosignal nastaje u kameri gdje se provodi pretvorba optičke slike u električni signal
- optička slika se analizira po linijama u točno određenom rasporedu
- analiziranje u horizontalnom smjeru se provodi u ritmu horizontalne frekvencije f_H
- povećanjem broja linija raste kvaliteta slike ali raste i cijena prijenosnog sustava jer je potrebna veća frekventijska širina pojasa za prijenos videosignala
- u televiziji standardne kvalitete koristi se 625 linija, a širina pojasa videosignala iznosi 5 MHz



Signali podataka

- generiraju ih uglavnom računala
- informacija je diskretnog karaktera, a oblikuje se uz pomoć simbola iz konačnog skupa simbola
 - najčešće se rabi binarni kod u kome se kombiniraju dva stanja: 1 i 0
 - brzina prijenosa je određena trajanjem bita
- simboli se transformiraju u signale čiji je valni oblik definiran npr. s dvije naponske razine (jedna odgovara znaku "1", a druga znaku "0")



Brzina prijenosa = 50 kbit/s

Signali podataka

- npr. tekst kao oblik informacije u diskretnom obliku nije pogodan za pohranjivanje na računalu ili prijenos u komunikacijskim sustavima
 - slova i znakovi se prikazuju kao simboli sastavljeni od određenog broja bita
 - najčešće korišten kod je ASCII kod (*American Standard Code for Information Interchange*)
 - svako slovo ili znak se prikazuje jedinstvenom kodnom kombinacijom sastavljenom od 7 bita
 - moguće je prikazati 128 slova i znakova što je puno više od potrebnog broja slova i znakova
 - određene kodne kombinacije se rabe kao kontrolni znakovi i obavljaju specifične funkcije
 - ASCII kodirana slova i znakovi se pohranjuju u obliku kodne riječi sastavljene od 8 bita (8 bita = 1 bajt ili 1 oktet)
 - osmi bit je tzv. paritetni bit koji se rabi za detekciju pogreške
 - paritetni bit se postavlja tako da ukupan broj jedinica u svakom bajtu bude uvijek paran ili uvijek neparan ovisno o sustavu

Položaj bita

				0	0	0	0	1	1	1	1
				0	0	1	1	0	0	1	1
				0	1	0	1	0	1	0	1

b ₇	b ₆	b ₅	b ₄	b ₃	b ₂	b ₁							
0	0	0	0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	' p
0	0	0	0	1	0	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a q
0	0	1	0	0	1	0	STX	DC2	"	2	B	R	b r
0	0	1	1	0	1	1	ETX	DC3	#	3	C	S	c s
0	1	0	0	0	0	0	EOT	DC4	\$	4	D	T	d t
0	1	0	0	1	0	1	ENQ	NAK	%	5	E	U	e u
0	1	1	0	1	0	0	ACK	SYN	&	6	F	V	f v
0	1	1	1	1	1	1	BEL	ETB	'	7	G	W	g w
1	0	0	0	0	0	0	BS	CAN	(	8	H	X	h x
1	0	0	0	1	0	1	HT	EM	)	9	I	Y	i y
1	0	1	0	0	1	0	LF	SUB	*	:	J	Z	j z
1	0	1	1	1	1	1	VT	ESC	+	;	K	[	k {
1	1	0	0	0	0	0	FF	FS	,	<	L	\	l |
1	1	0	0	1	0	1	CR	GS	-	=	M	]	m }
1	1	1	1	0	1	0	SO	RS	.	>	N	^	n ~
1	1	1	1	1	1	1	SI	US	/	?	O	_	o DEL

This is the U.S. national version of
CCITT International Alphabet Number 5 (T.50).

Informacija i signal **važno, znat ćemo služi koji uređaj!**

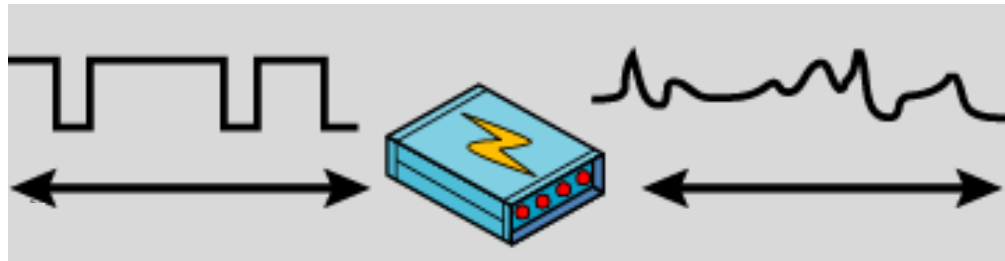
- pretvorba informacije u analogni signal

Analogna
informacija:
govorni
zvučni val



Telefon

Digitalna
informacija:
binarni
naponski
impulsi



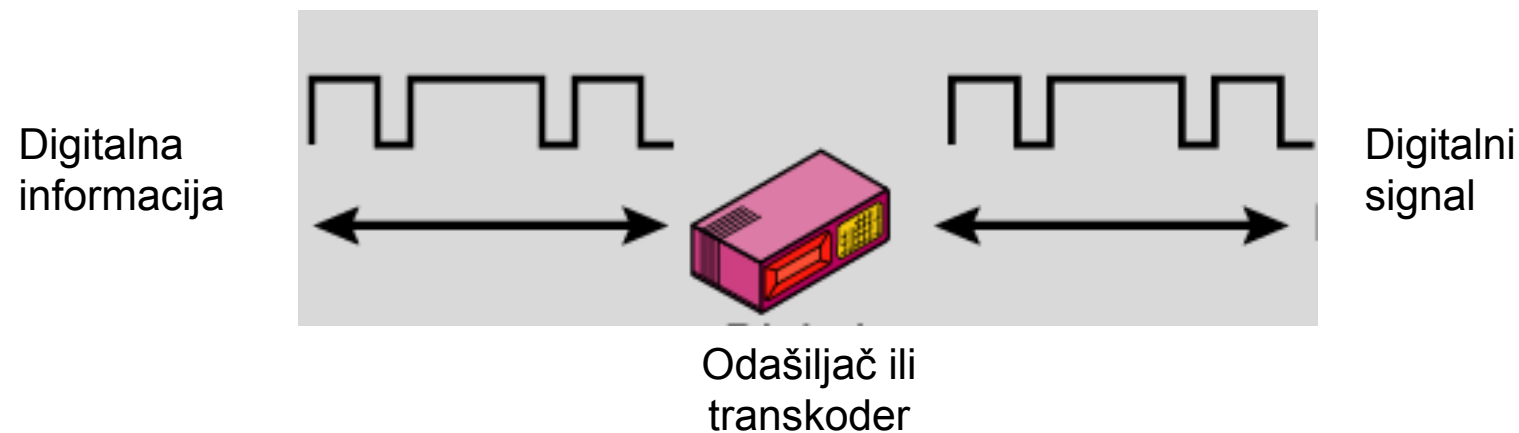
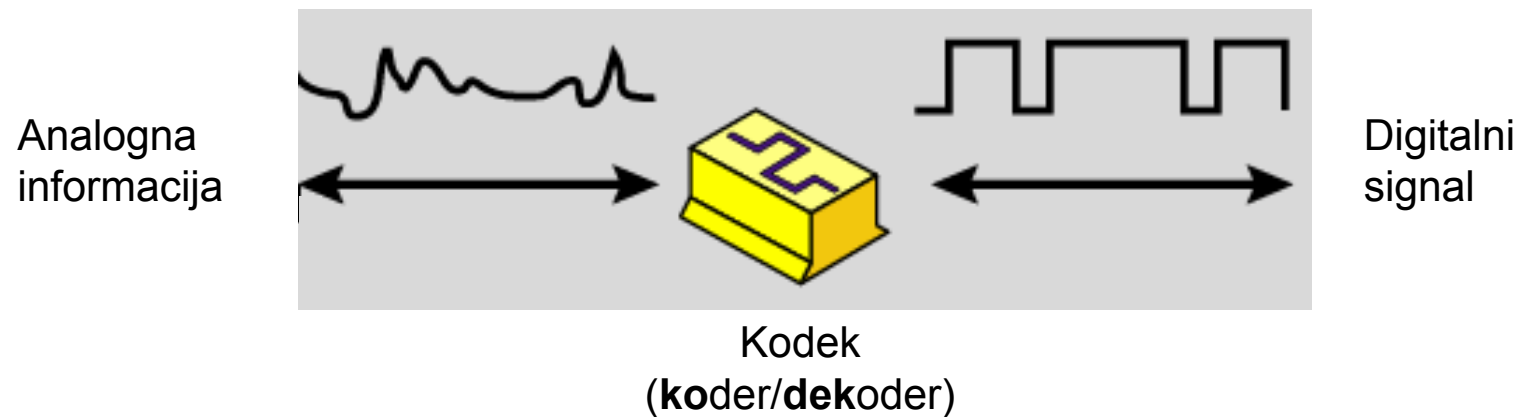
Modem
(**mod**ulator/**dem**odulator)

Informacija i signal

važno!



- pretvorba informacije u digitalni signal



Informacija i signal

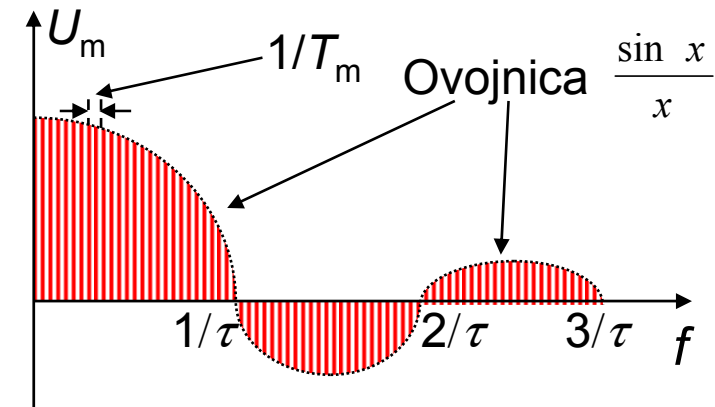
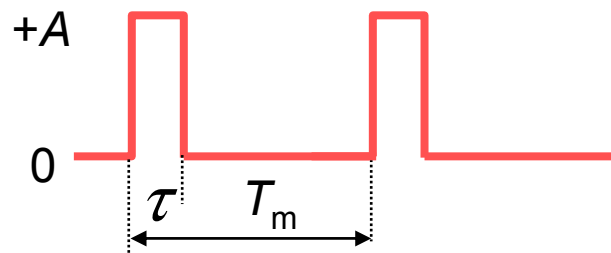
kod kodeka i modema informacija se mora kodirati, a kod transkodera i telefona - ne

	Analogni signal	Digitalni signal
Analogna informacija	Dvije mogućnosti za prijenos: (a) signal zauzima isto frekvencijsko područje kao analogna informacija, (b) analogna informacija je kodirana radi prebacivanja u drugo frekvencijsko područje.	Analogna informacija je kodirana uporabom kodeka, kako bi bila preoblikovana u digitalni signal.
Digitalna informacija	Digitalna informacija je kodirana uporabom modema, kako bi bila preoblikovana u analogni signal.	Dvije mogućnosti za prijenos: (a) signal zauzima dvije naponske razine za prikaz binarnih podataka digitalne informacije, (b) digitalna informacija je kodirana radi dobivanja digitalnog signala željenih značajki.

Digitalni signali u osnovnom pojasu frekvencija

Obilježja digitalnih signala

- Digitalna informacija, u pravilu binarna digitalna informacija, predložena je slijedom binarnih znakova «0» i «1».
- Valni oblik digitalnoga električkog signala sastoji se u osnovi od pravokutnih impulsa.
- Spektar periodičnoga pravokutnog signala dobiva se razvojem odgovarajuće funkcije u Fourierov red,



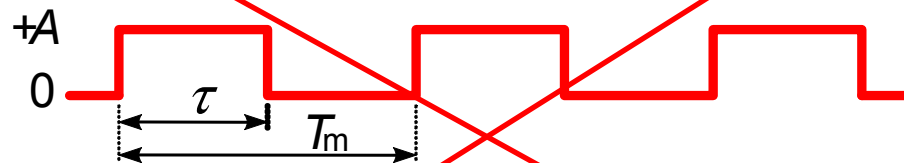
$$u_m(t) = \frac{A\tau}{T_m} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2A\tau}{T_m} \cdot \frac{\sin \frac{n\pi\tau}{T_m}}{\frac{n\pi\tau}{T_m}} \cdot \cos n \frac{2\pi t}{T_m}$$

nisu važni detalji,
samo znat da je
oblik $\sin x/x$

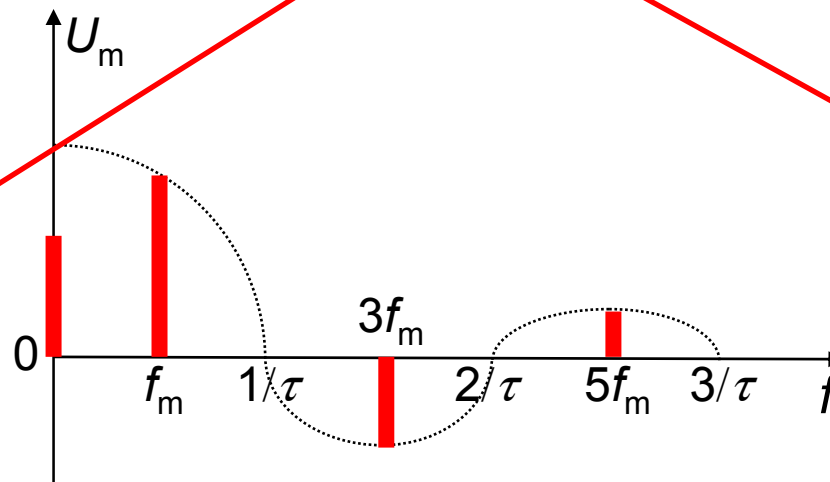
Obilježja digitalnih signala

- Kad je trajanje impulsa jednako polovici periode signala ($\tau = T_m/2$), izlazi,

$$u_m(t) = A \left(\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cos \frac{2\pi t}{T_m} - \frac{2}{3\pi} \cos 3 \frac{2\pi t}{T_m} + \frac{2}{5\pi} \cos 5 \frac{2\pi t}{T_m} - \dots \right).$$



nevažno



Linijski kodovi, formati digitalnih signala

- *Linijski kodovi* → prikazi binarnih znakova električkim signalom — *formati digitalnih signala*.
- Među velikim brojem različitih linijskih kodova valja odabrati onaj koji je najprikladnijih osobina za primjenu u konkretnom slučaju.
- Parametri o kojima ovisi odabir linijskog koda:
 - *Spektralna obilježja signala* trebaju biti prikladna za korišteni prijenosni kanal.
 - *Sinkronizacija digitalnih znakova* obično se obavlja uz pomoć sinkronizacijskih impulsa koji se regeneriraju iz primljenoga slijeda digitalnog signala.
 - Širina zauzetog pojasa frekvencija mora biti što manja. Ona se može smanjiti dodatnim filtriranjem ili uporabom linijskog koda s više razina signala.
 - *Niska vjerojatnost pogreške bita* koje nastaju zbog smetnji među dijelovima signala i djelovanja šuma.
 - *Sposobnost otkrivanja nastalih pogrešaka* osobitost je nekih linijskih kodova.
 - *Kompleksnost odgovarajućega elektroničkog sklopovlja i uređaja* ima veliki utjecaj na odabir linijskog koda.
- Sva ta obilježja nisu od jednake važnosti za svaku primjenu.

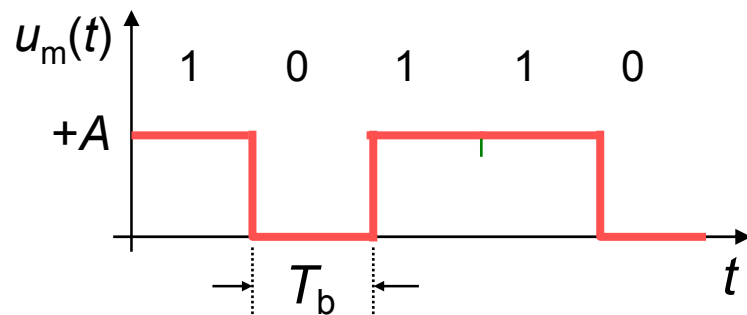
Linijski kodovi

ukratko: svaki kod ima svoju primjenu (prednosti i nedostatke)

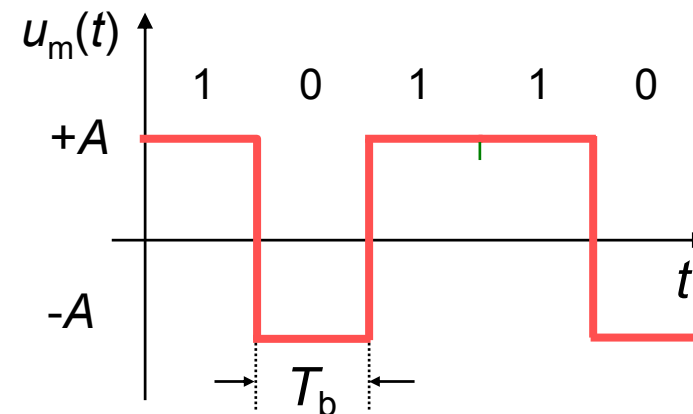
- Linijski kodovi odnosno formati digitalnih signala dijele se u dvije skupine koje se razlikuju po načinu pridruživanja binarnih znakova električnom signalu:
 - binarni znak je pridružen razini električnog signala,
 - binarni znak je pridružen promjeni razine električnog signala.
- Binarni se linijski kodovi sastoje od dva simbola:
 - električnog signala $s_0(t)$, koji se pridružuje znaku «0» i,
 - električnog signala $s_1(t)$, koji se pridružuje znaku «1».
- M -arni linijski kodovi sadrže M različitih simbola, **pri emu je broj simbola potencija broja 2**

Primjeri binarnih linijskih kodova

- **NRZ-kod** (NRZ, *Non Return to Zero*) prirodni je način prikazivanja binarnih znakova.
 - Znak «0» predodčen je niskom razinom pravokutnog signala u cijelom intervalu znaka.
 - Znak «1» predodčen je visokom razinom pravokutnog signala u cijelom intervalu znaka.



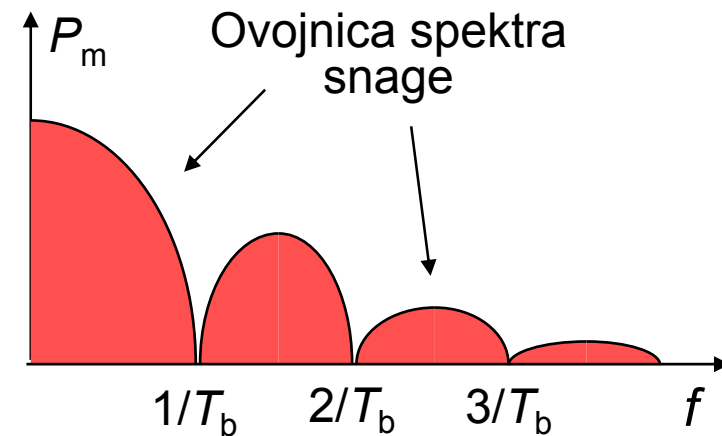
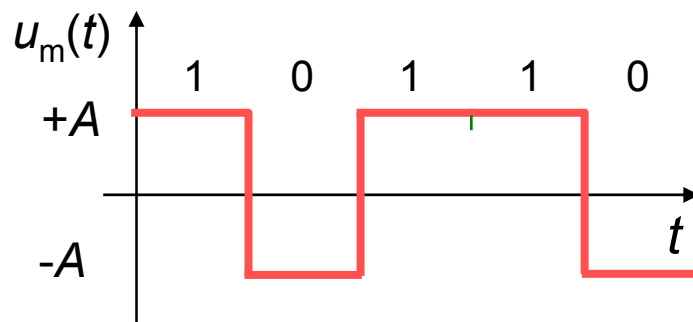
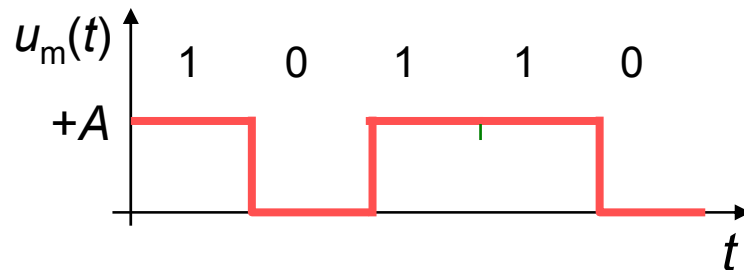
Unipolarni oblik NRZ-koda



Bipolarni oblik NRZ-koda

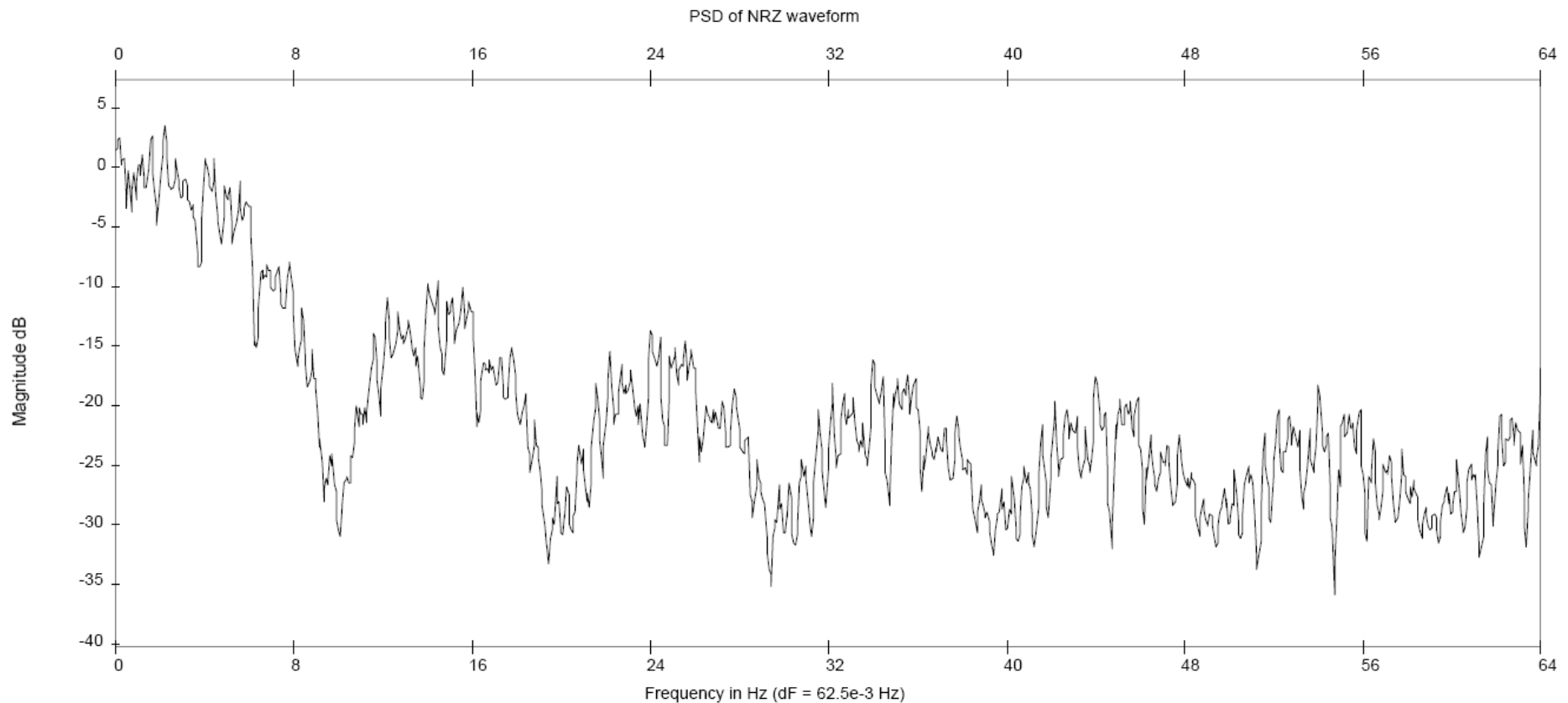
Primjeri binarnih linijskih kodova

- **NRZ-kod** (*nastavak*).
 - NRZ-signal sadrži istosmjernu komponentu. Ona se može smanjiti uporabom bipolarnog oblika signala.
 - Postoje problemi oko sinkronizacije kad se javlja duži slijed znakova iste vrste. Potrebni su posebni taktni impulsi.



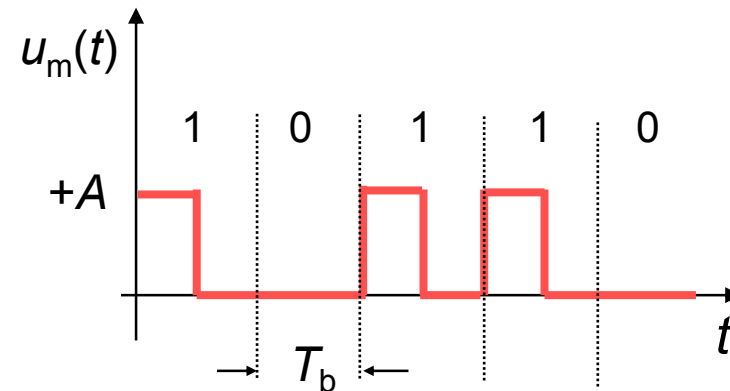
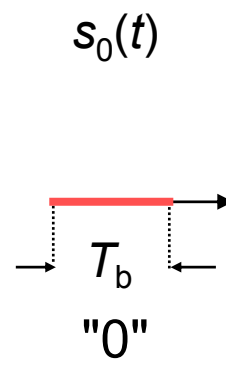
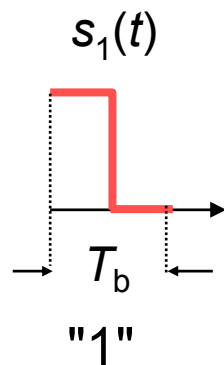
Primjeri binarnih linijskih kodova

- NRZ-kod (*nastavak*).



Primjeri binarnih linijskih kodova

- **RZ-kod (RZ, Return to Zero)** olakšava problem sinkronizacije.
 - Unipolarni RZ-kod:
 - Znak «1» predodčen je visokom razinom pravokutnog signala u prvoj polovici intervala znaka «1», dok se u drugoj polovici tog intervala vraća na nisku razinu odnosno na razinu nula.
 - Znak «0» predodčen je niskom razinom, odnosno razinom nula pravokutnog signala u cijelom intervalu tog znaka.

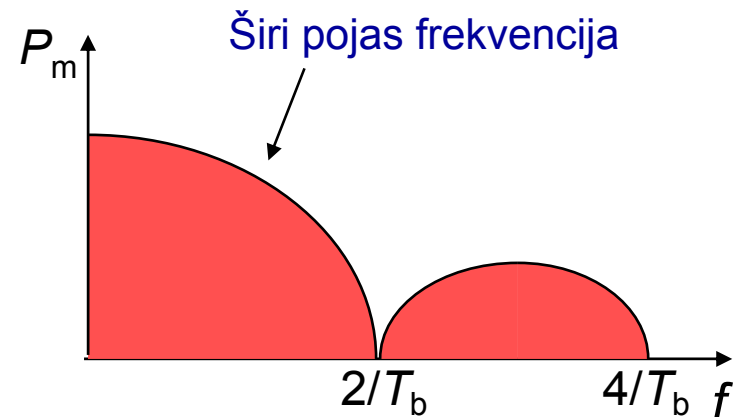
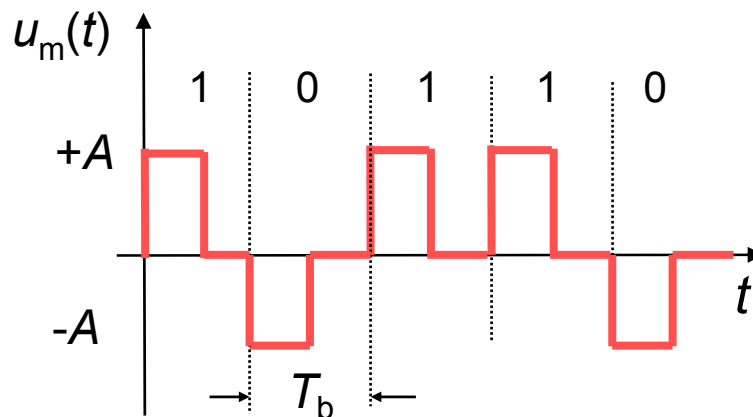


Primjeri binarnih linijskih kodova

- RZ-kod (*nastavak*).

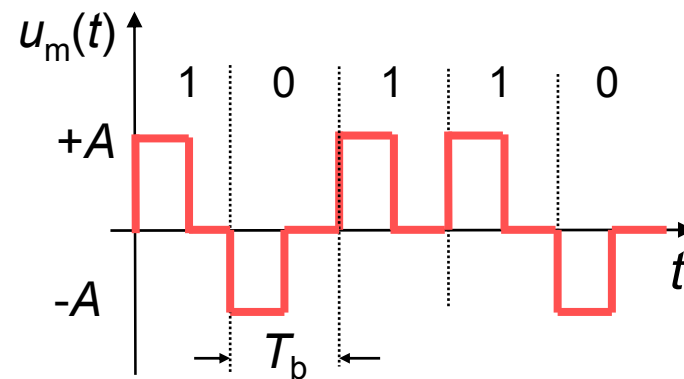
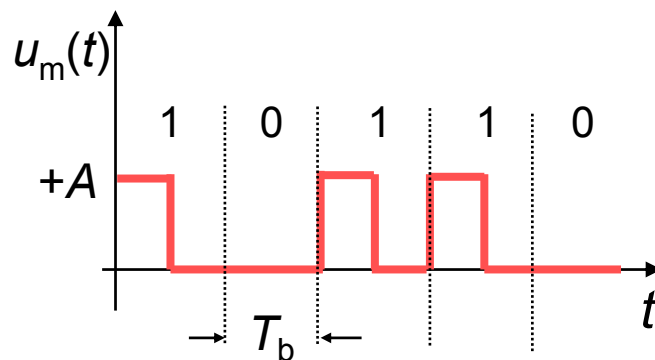
- Bipolarni RZ-kod:

- Znak «1» predložen je visokom razinom pravokutnog signala u prvoj polovici intervala znaka «1», dok se u drugoj polovici tog intervala vraća na nisku razinu odnosno na razinu nula kao i kod unipolarne vrste.
- Znak «0» predložen je niskom odnosno negativnom razinom, dok se u drugoj polovici tog intervala vraća na razinu nula.
- Bipolarni RZ-signal poprima tri diskretne razine → *kvaziternarni signal*.



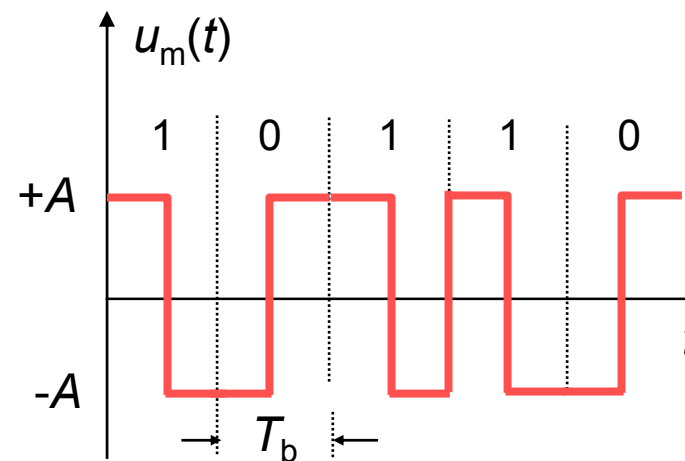
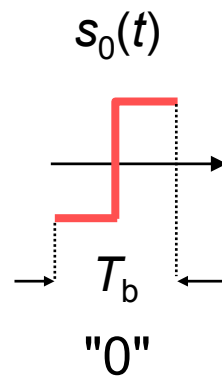
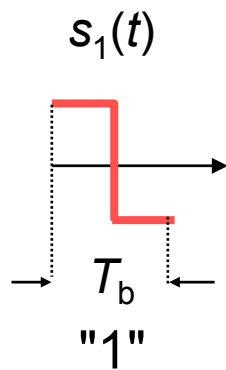
Primjeri binarnih linijskih kodova

- RZ-kod (*nastavak*).
 - Razina RZ-signalu mijenja se i kod pojave slijeda sukcesivnih znakova «1», a kod koda bipolarne vrste i kod slijeda sukcesivnih znakova «0».
 - RZ-signal sadrži istosmjernu komponentu i zauzima veću širinu pojasa od odgovarajućeg NRZ-signalu.
 - Osjetljiviji je na šum i zahtijeva nešto složenije sklopovlje.
 - Olakšana je sinkronizacija bita. Nisu potrebni posebni taktni impulsi.



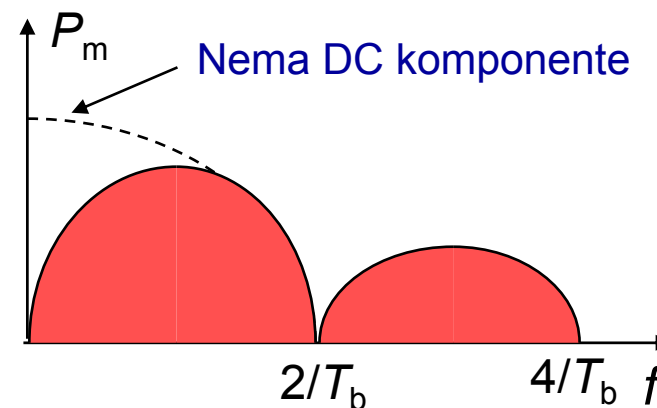
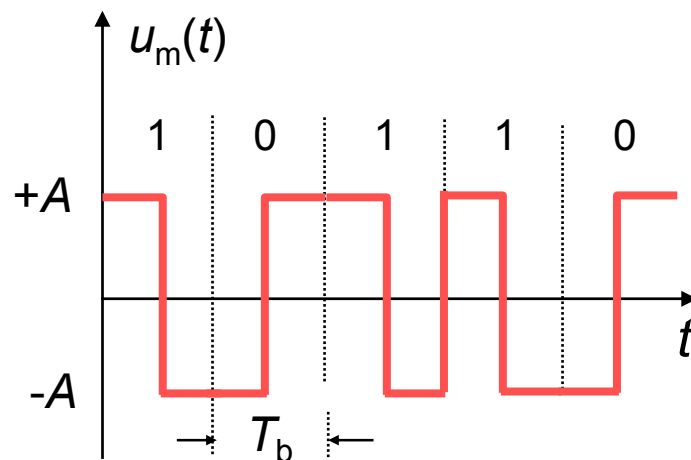
Primjeri binarnih linijskih kodova

- **Manchester kod** obilježava promjena razine signala u sredini intervala svakog znaka.
 - Znak «0» predodčen je porastom razine signala u sredini znaku pripadajućeg intervala, tj. niska je razina u prvoj polovici, a visoka u drugoj polovici intervala binarnog znaka.
 - Znak «1» predodčen je snižavanjem razine signala u sredini znaku pripadajućeg intervala, tj. visoka je razina u prvoj polovici, a niska u drugoj polovici intervala binarnog znaka.



Primjeri binarnih linijskih kodova

- Manchester kod (*nastavak*).
 - Signal Manchester linijskog koda nema istosmjernu komponentu što mu je i najznačajnija osobina.
 - Nisu potrebni posebni takti impulsi za sinkronizaciju, ali su odgovarajući sklopovi nešto složeniji.



M-arni linijski kodovi

- Nasuprot binarnim signalima stoje tzv. *M-arni digitalni signali*.
- Oni poprimaju M diskretnih razina,
($M = 2^w$, $w = 1, 2, 3, \dots$).
- Svakoj od M razina pridružuje se, $w = \log_2 M$
binarnih znakova (bitova).
- U nastavku je primjer kvaternarnoga linijskog koda.

Primjer kvaternarnoga linijskog koda ...

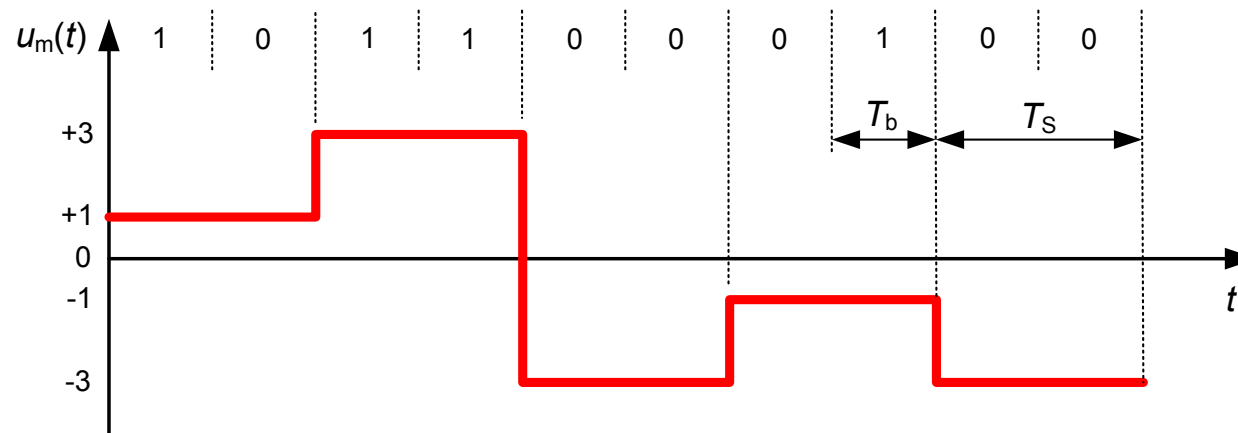
- *Kvaternarni digitalni signal* poprima četiri diskretne razine.
 - Razine su označene npr. s -3, -1, +1 i +3.
 - On sadrži 4 simbola.
 - Svakoj razini kvaternarnog signala pridružuju se dva bita, *dibit*, npr. prema sljedećem pravilu,

«00» → -3

«10» → +1

«01» → -1

«11» → +3



Diferencijalno kodirani linijski kodovi **važno, a lako!**

- Linijski kodovi iz druge skupine (informacija je u promjeni razine signala) nastaju diferencijalnim kodiranjem izvornoga binarnog slijeda. Primjeri:
 - Linijski kod s *diferencijalno kodiranim znakom «1»* obilježava promjena razine signala na početku svakog intervala kojem je pridružen znak «1».
 - Linijski kod s *diferencijalno kodiranim znakom «0»* obilježava promjena razine signala na početku svakog intervala kojem je pridružen znak «0».
- Ovi linijski kodovi nastaju npr. NRZ-prikazom diferencijalno kodiranoga izvornog binarnog slijeda. Primjeri:
 - *Diferencijalnim kodiranjem «jedinice»* mijenja se binarni znak u diferencijalno kodiranom slijedu pri pojavi znaka «1» u izvornom slijedu. Pri pojavi znaka «0» ponavlja se prethodni znak.
 - U slijedu s *diferencijalno kodiranom «nulom»* mijenja se znak pri pojavi znaka «0», dok se pri pojavi «1» znak diferencijalno kodiranog slijeda ne mijenja.

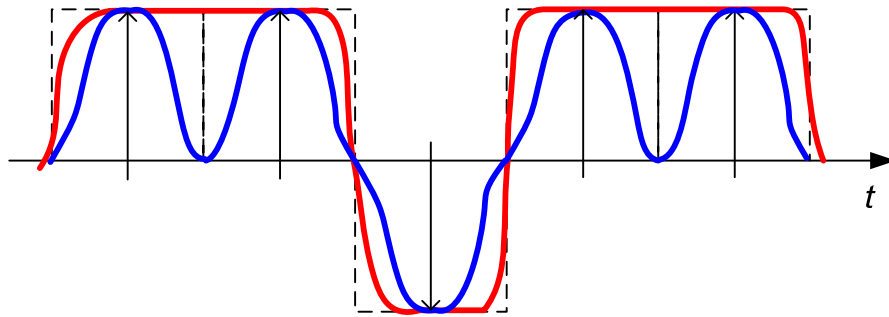
Izvorni niz		1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
Niz s diferencijalno kodiranim «1»	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0
Niz s diferencijalno kodiranim «0»	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0

Prijenos digitalnog signala u osnovnom pojasu frekvencija

Osnovni pojmovi i obilježja prijenosa

- Pojam «*osnovni pojas frekvencija*» označuje pojas frekvencija izvornoga informacijskog signala. **(nemodulirani signal)**
- Signal u osnovnom pojasu frekvencija je električni signal linijskog koda kojim su predloženi binarni podaci odnosno slijed «0» i «1». Računalo je na primjer izvorom digitalnog signala u osnovnom pojasu frekvencija.
- Prijenos digitalnih podataka preko fizičkoga komunikacijskog kanala ograničavaju dva neizbježna faktora:
 - *smetnje* odnosno *interferencija među simbolima* digitalnog signala (ISI, *Intersymbol Interference*) koje nastaju zbog nesavršenosti frekvencijske karakteristike prijenosnog kanala i,
 - *šum u kanalu* pod kojim se podrazumijeva neželjeni slučajni električni signal koji se javlja na izlazu prijenosnog kanala zajedno s korisnim informacijskim signalom.
- Pravokutni impuls, koji je osnova svih linijskih kodova, zauzima pojas frekvencija beskonačne širine. **($\sin x/x$ je beskona ne širine pojasa)**
- Prijenosni je kanal konačne širine pojasa → potrebno je ograničiti širinu pojasa digitalnog signala — filtrirati digitalni signal.

Utjecaj širine pojasa na digitalni signal



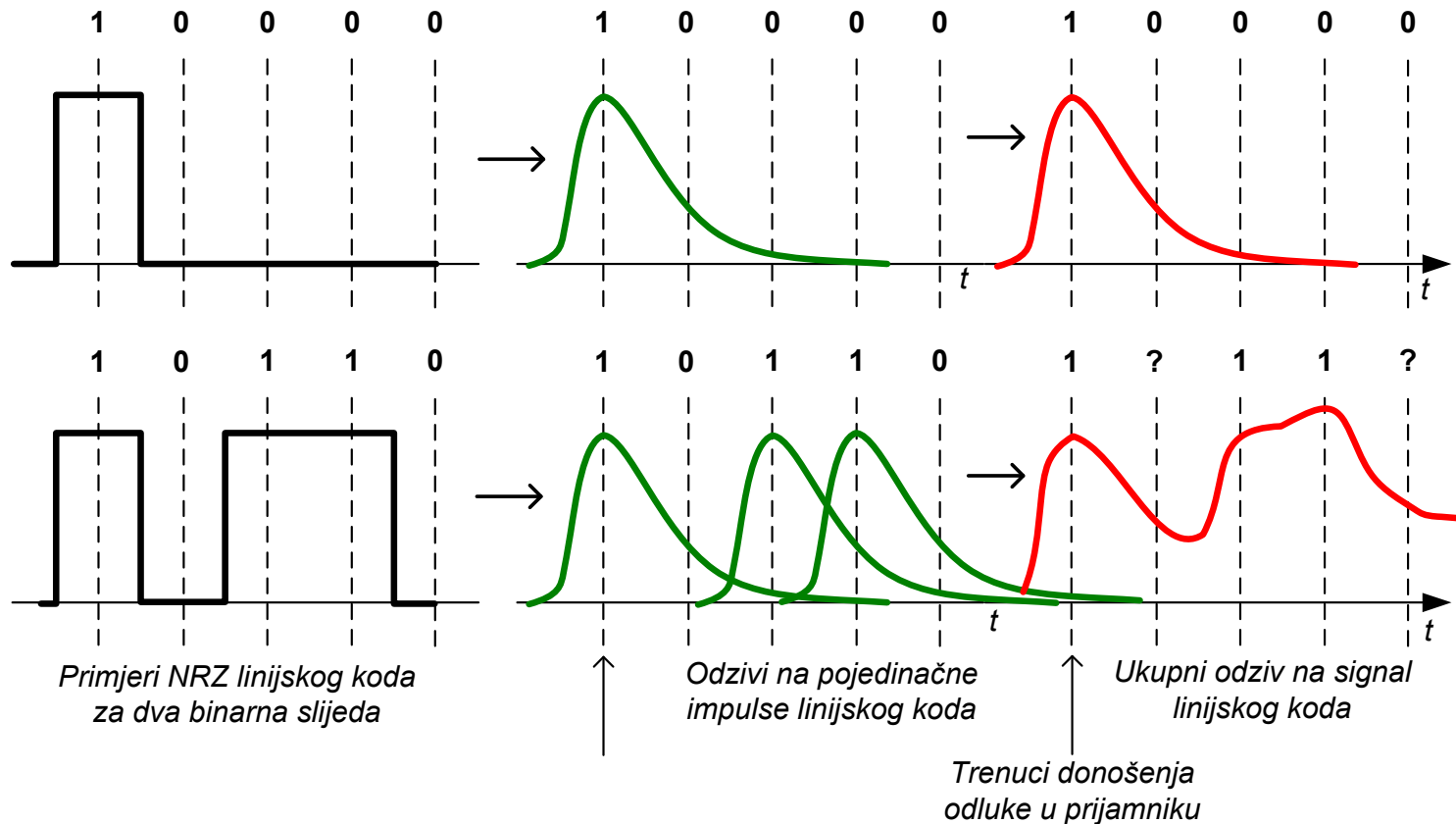
- Digitalnom signalu konačne širine pojasa kontinuirano se mijenja razina između diskretnih stanja.
- Bitna je samo razina signala u trenucima donošenja odluke o primljenom binarnom znaku.

(u to kama uzimanja uzoraka)

- Filtar za ograničavanje širine pojasa obavlja *oblikovanje impulsa digitalnog signala*. **(impuls više nije pravokutan nego je zaobljen kao na sl.)**
- Propusti li se pravokutni impuls kroz sustav konačne širine pojasa, impuls se proširuje u vremenu, tako da će se dio tako proširenog impulsa pojaviti i u intervalima susjednih impulsa (znakova).
- Prošireni impuls djeluje na signal u susjednim intervalima i stvara smetnju u susjednim intervalima, a moguće je i preko više intervala → nastaje smetnja odnosno interferencija među simbolima – ISI.

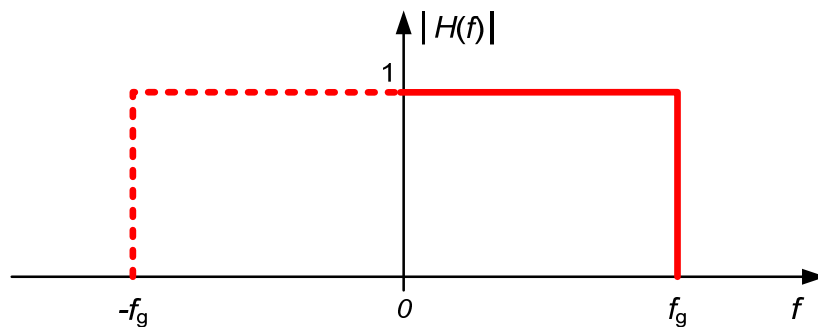
Filtriranje digitalnog signala važno za shvatit

Posljedice ograničavanja širine pojasa digitalnog signala



- Negativni upliv ISI odražava se na potencijalno netočnom prepoznavanju pojedinih binarnih znakova na prijamnoj strani.

Filtriranje digitalnog signala



Idealni niskopropusni filter:

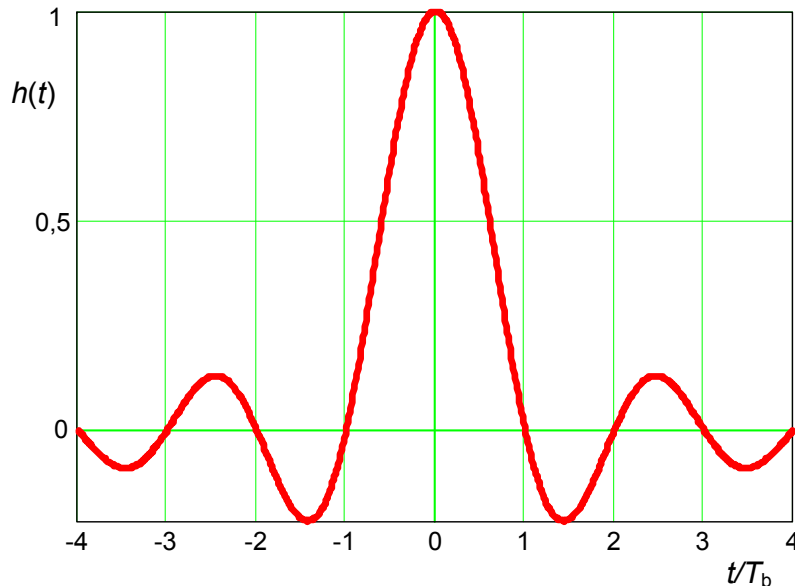
- Idealni filter — pravokutna frekvencijska karakteristika, granična frekvencija filtra f_g .

$$|H(j2\pi f)| = \begin{cases} 1, & \text{za } |f| \leq f_g, \\ 0, & \text{za } |f| > f_g. \end{cases}$$

- Diracov impuls na ulazu filtra stvara odziv oblika,

$$h(t) = F^{-1}\{H(j2\pi f)\} = 2f_g \frac{\sin(2\pi f_g t)}{2\pi f_g t}.$$

Filtriranje digitalnog signala



simbolima.

- Idealni filter granične frekvencije f_g omogućuje prijenos $2f_g$ simbola u sekundi bez smetnji među njima ← 1. Nyquistov teorem – teorem minimalne širine pojasa.

nevažno

Idealni niskopropusni filter (nastavak):

- Nul-točke impulsnog odziva su u trenucima,

$$k \cdot \frac{1}{2f_g} = k \cdot T_b, \quad k = \pm 1, \pm 2, \dots$$

- Ako bi se drugi impuls pojavio u trenutku nultočke impulsnog odziva, onda ne bi nastala smetnja među

Filtriranje digitalnog signala

Idealni niskopropusni filter (nastavak):

- Nyquistova brzina prijenosa R_N predstavlja najvišu ostvarivu brzinu rada bez smetnji među simbolima u sustavu s idealnom frekvencijskom prijenosnom karakteristikom.

$$R_N = 2 \cdot f_g.$$

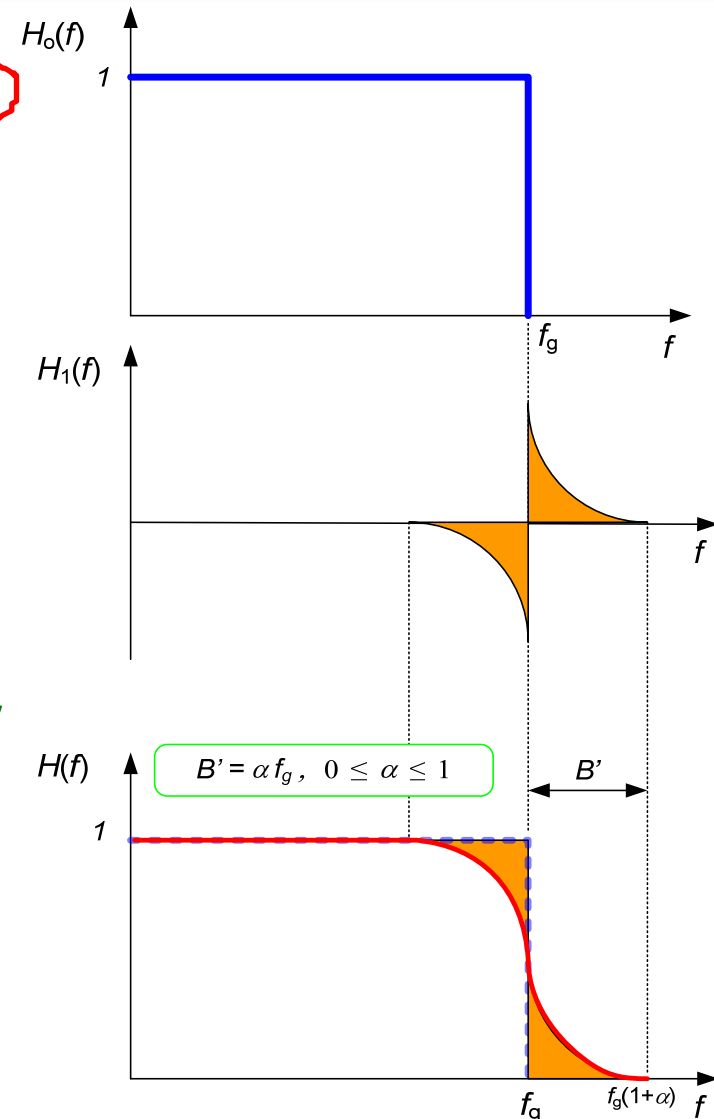
- Spektralna učinkovitost postupka R_b/B** → broj prenesenih bita u sekundi po jedinici širine pojasa, tj. po Hz. Mjeri se u jedinicama bit/s/Hz.
- Najviša teorijski ostvariva spektralna učinkovitost prijenosa u osnovnom pojasu frekvencija iznosi onda 2 bit/s/Hz.
- Idealni Nyquistov filter ne može se praktično izvesti.

Filtriranje digitalnog signala

- 2. Nyquistov teorem – teorem simetrije → bilo koji idealni filter širine pojasa f_g konvoluiran s proizvoljnom simetričnom funkcijom s linearnom fazom oko f_g daje isti nulti ISI kao i idealni filter.
- Filtrirani signal zauzima veću širinu pojasa od minimalno potrebne širine, ali moguća je praktična izvedba filtra.

Niskopropusni filter s kosinusnim zaobljenjem karakteristike -realni filter

- U digitalnim sustavima često se koristi filter s zaobljenjem frekvencijske karakteristike po zakonu kosinus kvadrat funkcije (filter s kosinusnim zaobljenjem).

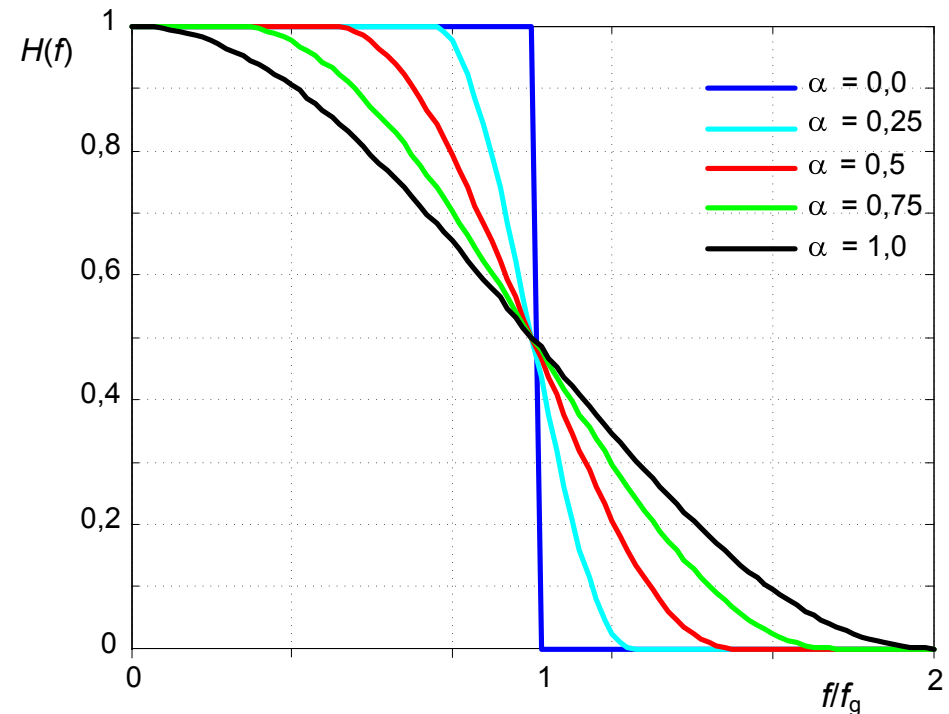


Filtriranje digitalnog signala

$$|H(j2\pi f)| = \begin{cases} 1, & \text{za } 0 \leq f \leq f_g(1 - \alpha), \\ \cos^2 \frac{\pi}{4\alpha f_g} [f - f_g(1 - \alpha)], & \text{za } f_g(1 - \alpha) \leq f \leq f_g(1 + \alpha), \\ 0, & \text{za } f_g(1 + \alpha) \leq f \leq \infty. \end{cases}$$

totalno nevažno

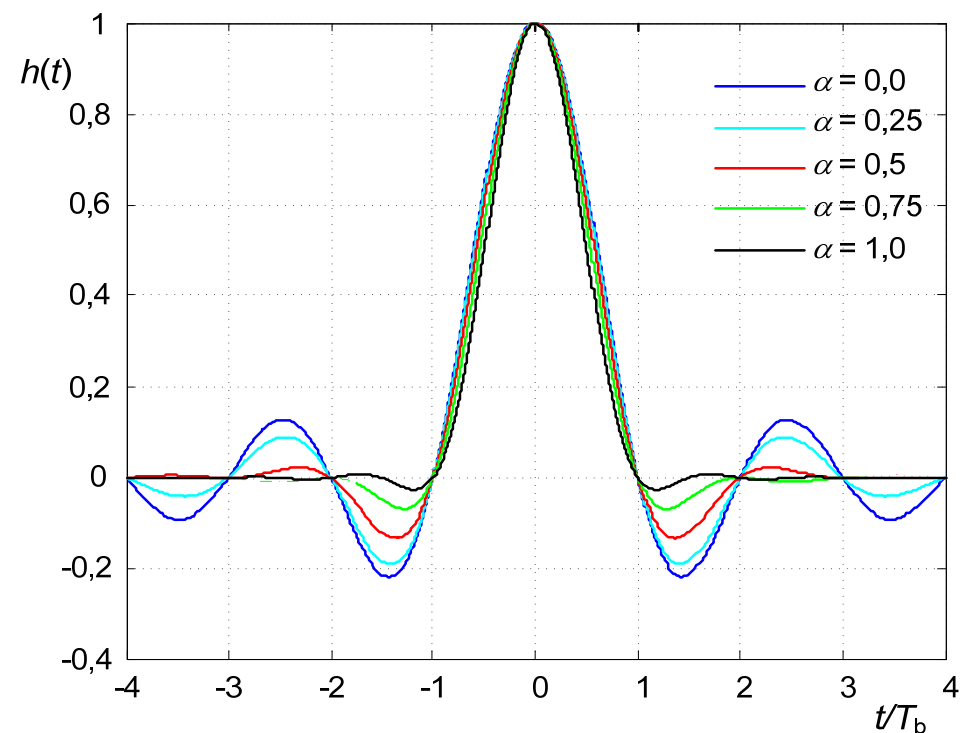
- Veličina α naziva se **faktorom zaobljenja** ili **faktorom strmine filtra**. On pokazuje relativno povećanje širine pojasa u odnosu na minimalnu vrijednost.
- Impulsni odziv takvog filtra dobiva se inverznom Fourierovom transformacijom frekvencijske prijenosne karakteristike $H(j2\pi f)$.



Filtriranje digitalnog signala

- Zaobljenjem karakteristike filtra ne mijenja se položaj nul-točaka impulsnog odziva → uvjeti za prijenos bez smetnji među simbolima su ispunjeni kao i kod idealnog filtra.
- Primjenom filtra s kosinusnim zaobljenjem postiže se konačna širina pojasa digitalnog signala bez unošenja smetnji među simbolima i za realno izvodiive filtre.
- U praksi se koriste filtri s faktorima zaobljenja najčešće do oko 0,4.

$$h(t) = \frac{\sin(2\pi f_g t)}{2\pi f_g t} \cdot \frac{\cos(2\pi \alpha f_g t)}{1 - (4\alpha f_g t)^2}$$



Filtriranje digitalnog signala

primjer:

- Kad je $\alpha = 0,4$ onda je širina pojasa $B = 1,4 \cdot f_g$ pa to daje,
Spektralna učinkovitost $= \frac{2}{1,4} = 1,43 \text{ bit/s/Hz}$.
- Na frekvenciji $f_g(1 + \alpha)$ filter za oblikovanje morao bi teorijski potpuno prigušiti ulazni signal (beskonačno prigušenje). U praksi se zadovoljavamo prigušenjem od **35 dB** na toj frekvenciji.
- Radi potrebe za filtriranjem digitalnog signala prije odašiljanja kao i nakon prijama funkcija filtriranja $H(j2\pi f)$ se raspodjeljuje na odašiljački i na prijamni dio komunikacijskog sustava.
- Odašiljački i prijamni filter jednakih su frekvencijskih karakteristika koje odgovaraju,
drugom korijenu od $H(j2\pi f)$, tj. $\sqrt{H(j2\pi f)}$,
pa ukupna funkcija filtriranja u odašiljaču i prijamniku odgovara karakteristici s kosinusnim zaobljenjem.

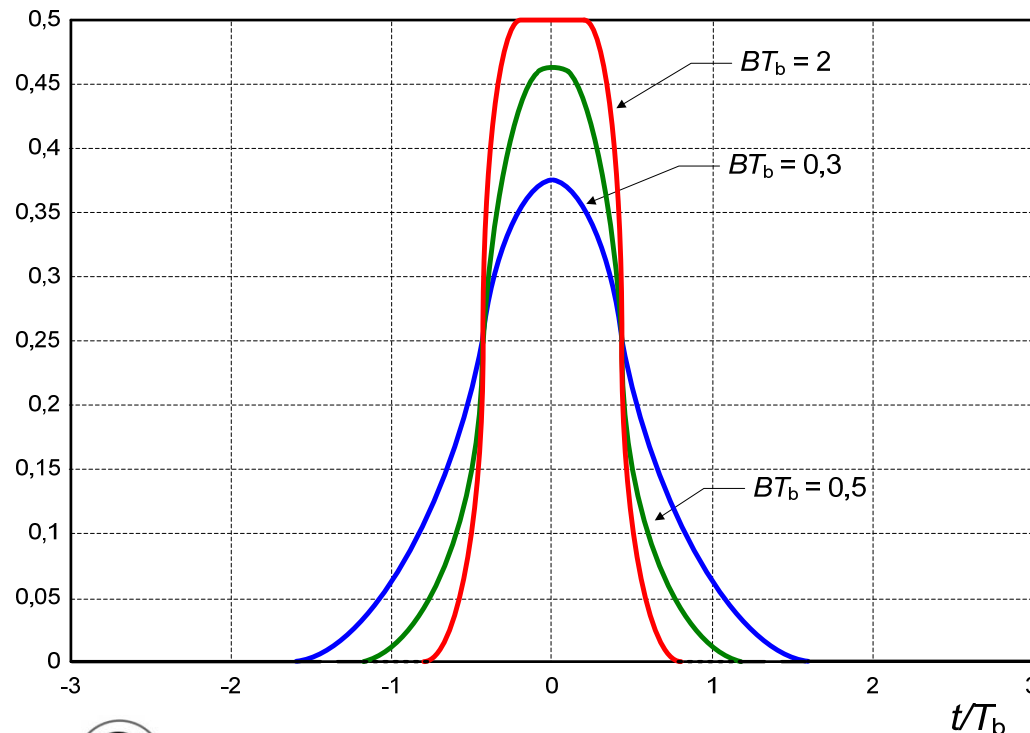
nevažno

Gaussov niskopropusni filter

- Impulсни je odziv Gaussova filtra,

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma T_b} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2 T_b^2}}, \quad \text{gdje je, } \sigma = \frac{\sqrt{\ln 2}}{2\pi B T_b}.$$

- B označena je tzv. 3-dB širina pojasa Gaussovog filtra.

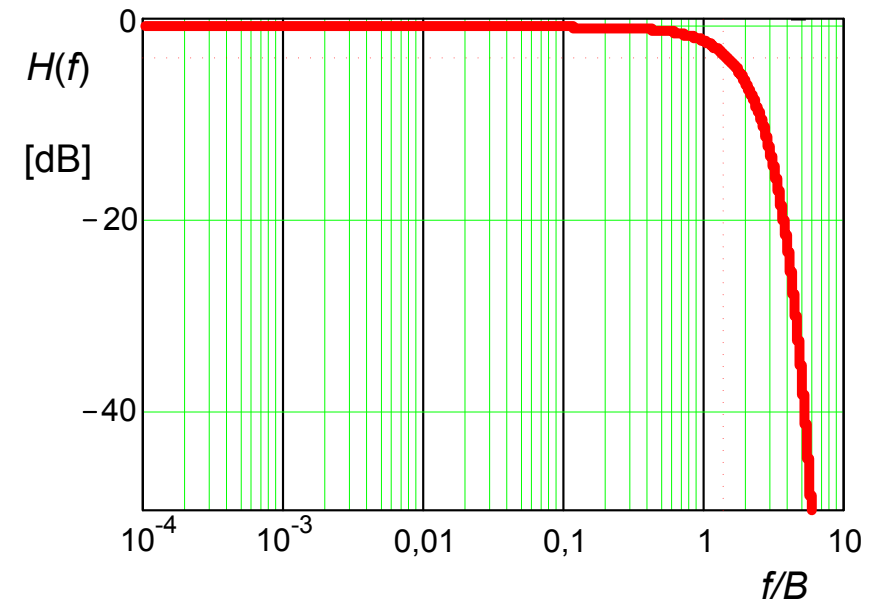


- Konvolucijom funkcije impulsnog odziva Gaussovog filtra $h(t)$ i funkcije pravokutnog signala kojim se predočuje jedan bit dobiva se odziv Gaussovog filtra na realne linijske kodove prema slici.

Gaussov niskopropusni filter

- Frekvencijska je prijenosna karakteristika određena funkcijom,

$$H(j2\pi f) = F\{h(t)\} = e^{-\left(\frac{f}{B}\right)^2 \frac{\ln 2}{2}}.$$



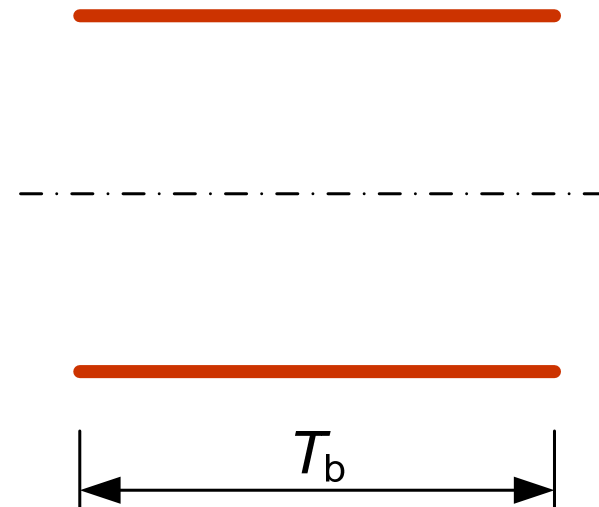
- Filter definira tzv. normirana širina pojasa filtra koja je jednaka $B \cdot T_s$, odnosno $B \cdot T_b$ u binarnih signala.
- Kod malih širina pojasa Gaussova filtra impuls na njegovu izlazu se proširuje na intervale susjednih simbola → nastaje ISI.

zapravo niš važno, postoji gaussov filter raznih širina $B \cdot T$ i to je to :)

Dijagram oka

važno!

- **Dijagram oka** služi za procjenu kvalitete digitalnoga signala.
- Dijagram oka nastaje preklapanjem velikog broja intervala bita (simbola) jedan preko drugog.
- Dijagram oka može se dobiti na zaslonu osciloskopa ako se analizirani digitalni signal privede y-pločicama, a vremenska baza sinkronizirana s taktnim impulsima x-pločicama. Perioda vremenske baze mora biti neki višekratnik od T_b .
- Dijagram oka idealno pravokutnoga digitalnog signala odgovara dvjema horizontalnim crtama.



Uzorak

Nefiltrirani NRZ-signal

Filtrirani NRZ-signal

000

001

010

011

100

101

110

111

ZBROJENO

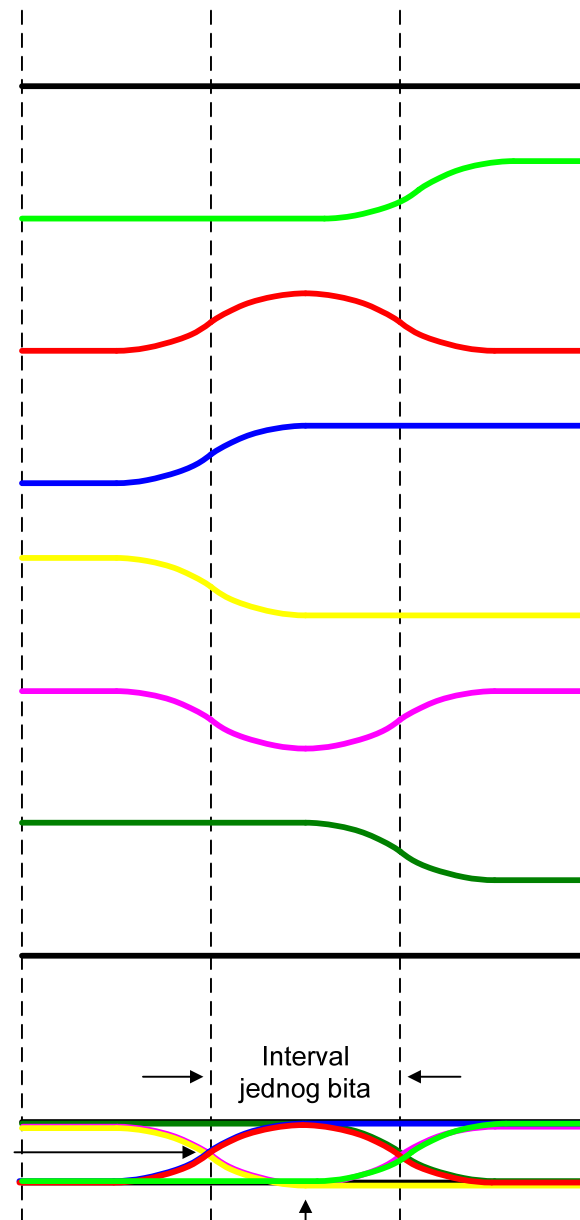
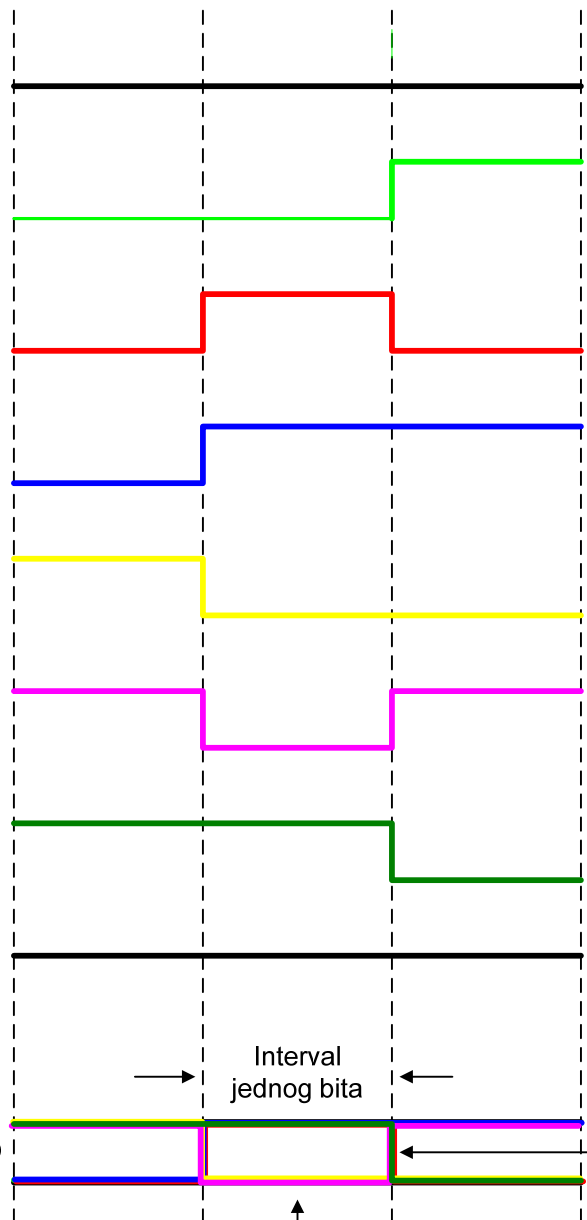
Interval
jednog bita

Trenutak
uzorkovanja

DIJAGRAM
OKA

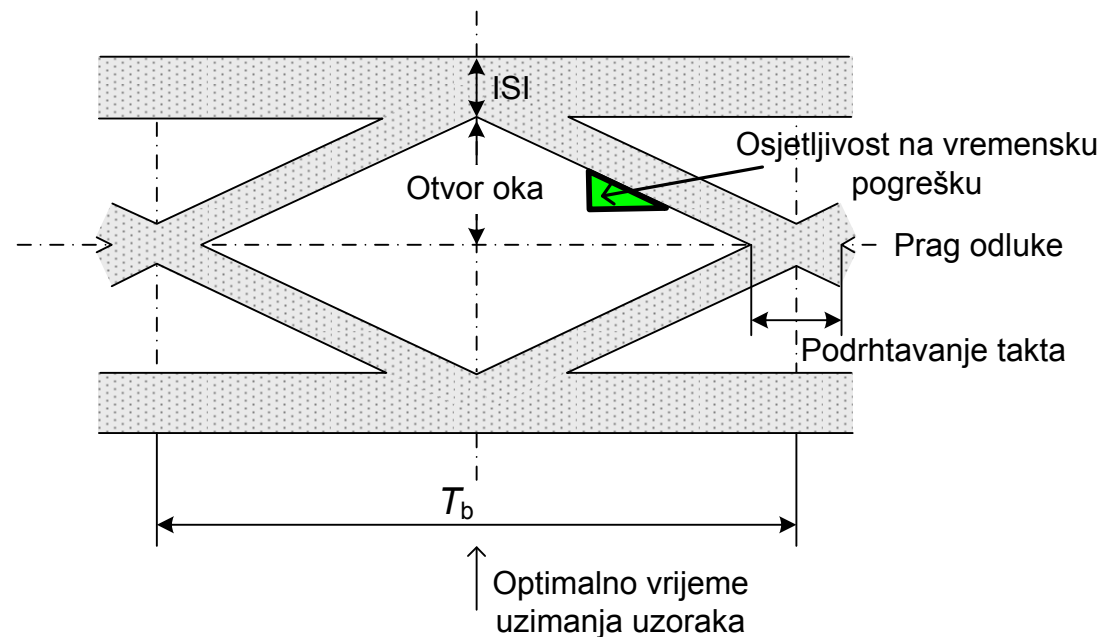
Interval
jednog bita

Trenutak
uzorkovanja



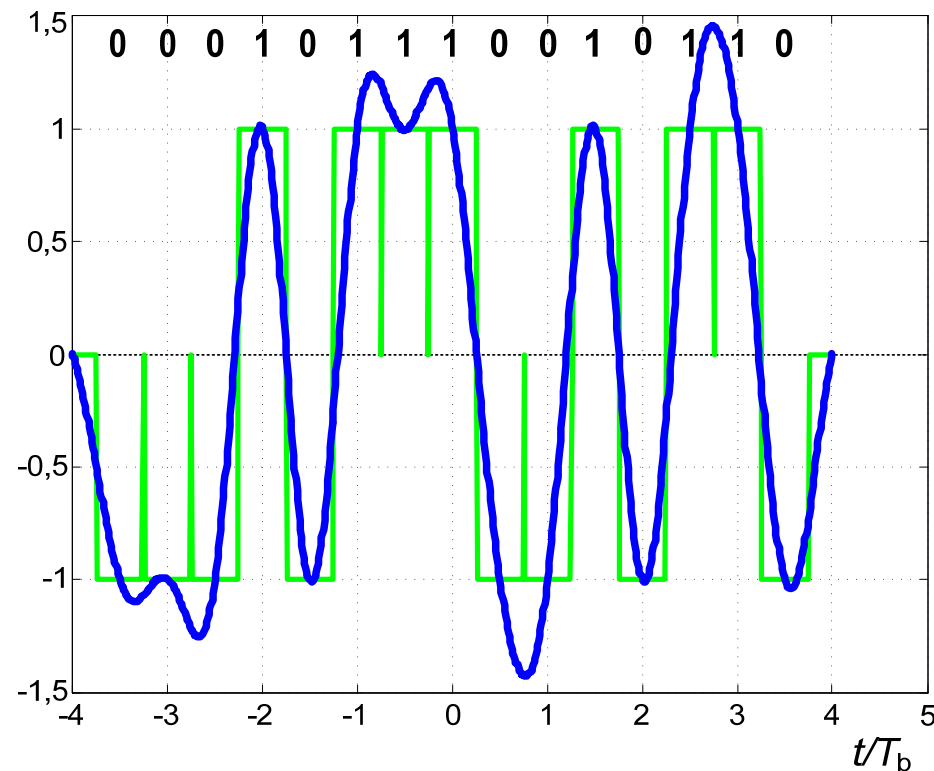
Dijagram oka

- Na temelju dijagrama oka može se npr. procijeniti:
 - veličina smetnji među znakovima — ISI smanjuje otvor oka (idealno iznosi 100%), u praksi zadovoljavaju otvori oka preko 50%,
 - vremenska točnost regeneriranoga taktnog signala (podrhtavanje takta).
Ukoliko se sinkronizacija osigurava iz prolazaka kroz nulu (čest slučaj), podrhtavanje dovodi do neoptimalnog vremena uzorkovanja.
 - Nelinearnosti u prijenosu uzrokuju asimetrično izobličeni dijagram oka.



Dijagram oka

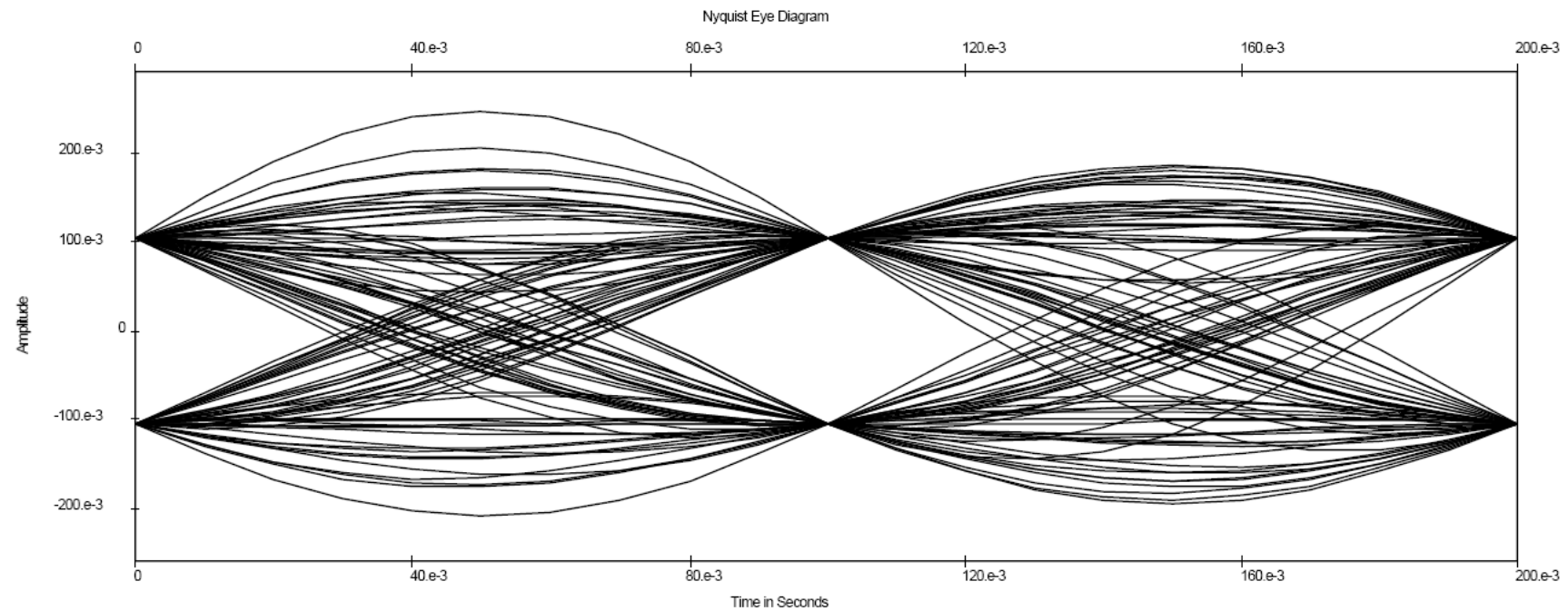
Izlazni signal idealnoga Nyquistova filtra (nema ISI)



- Kad u digitalnom signalu nema ISI razina signala u sredini intervala bita trajanja T_b poprima jednu od dvije nazivne vrijednosti (+1 ili -1 u primjeru na slici).

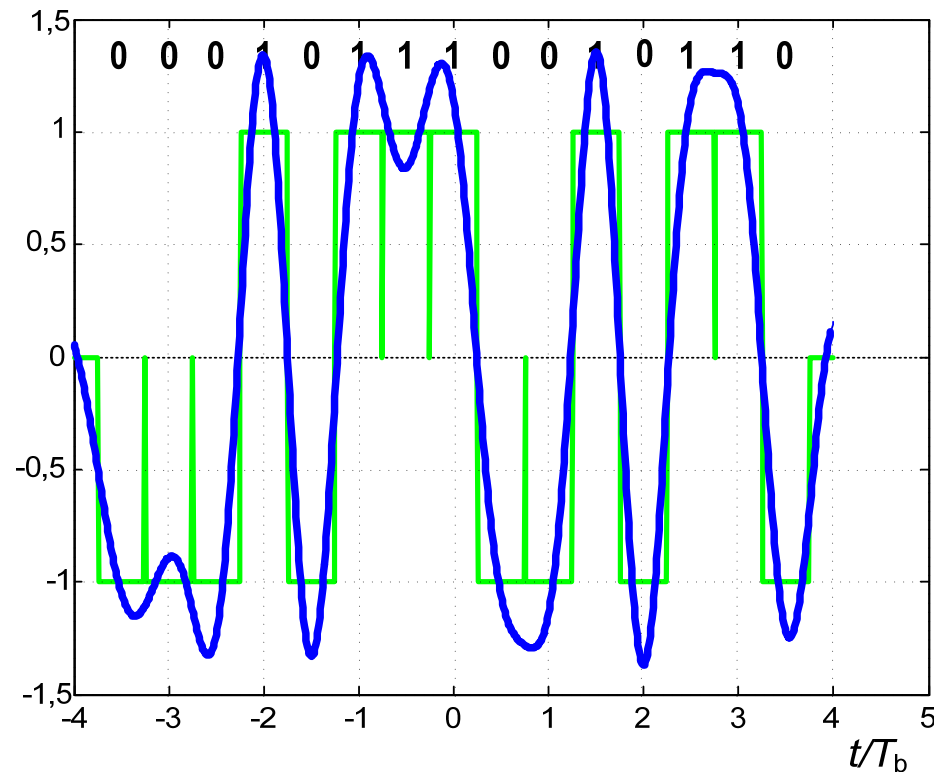
Dijagram oka

Dijagram oka izlaza idealnoga Nyquistova filtra (nema ISI)



Dijagram oka

Digitalni signal na izlaznim priključnicama filtra s karakteristikom $\sqrt{H(j2\pi f)}$ (postoji ISI)

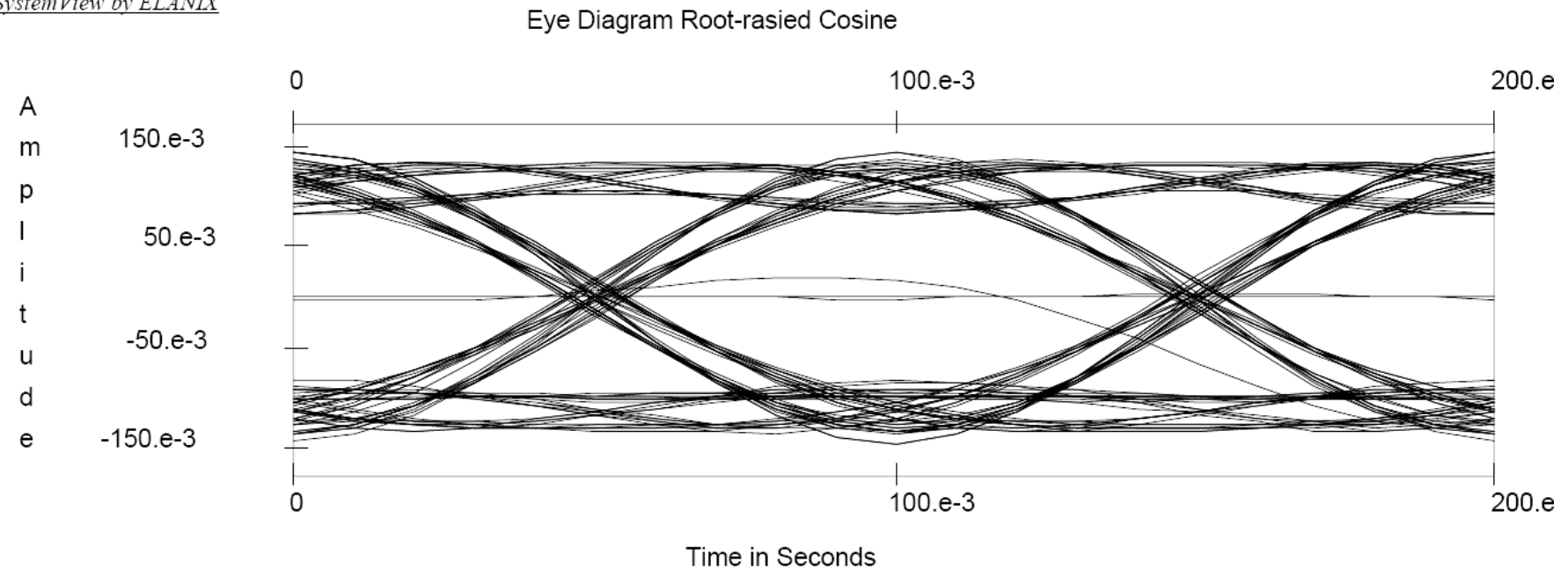


- Postojanje ISI u digitalnom signalu vidljivo je iz činjenice da razina signala u sredini intervala bita trajanja T_b ne poprima uvijek jednu od dvije nazivne vrijednosti (+1 ili -1 u primjeru na slici).

Dijagram oka

Dijagram oka (postoji ISI)

SystemView by ELANIX



Ujednačavanje komunikacijskog kanala

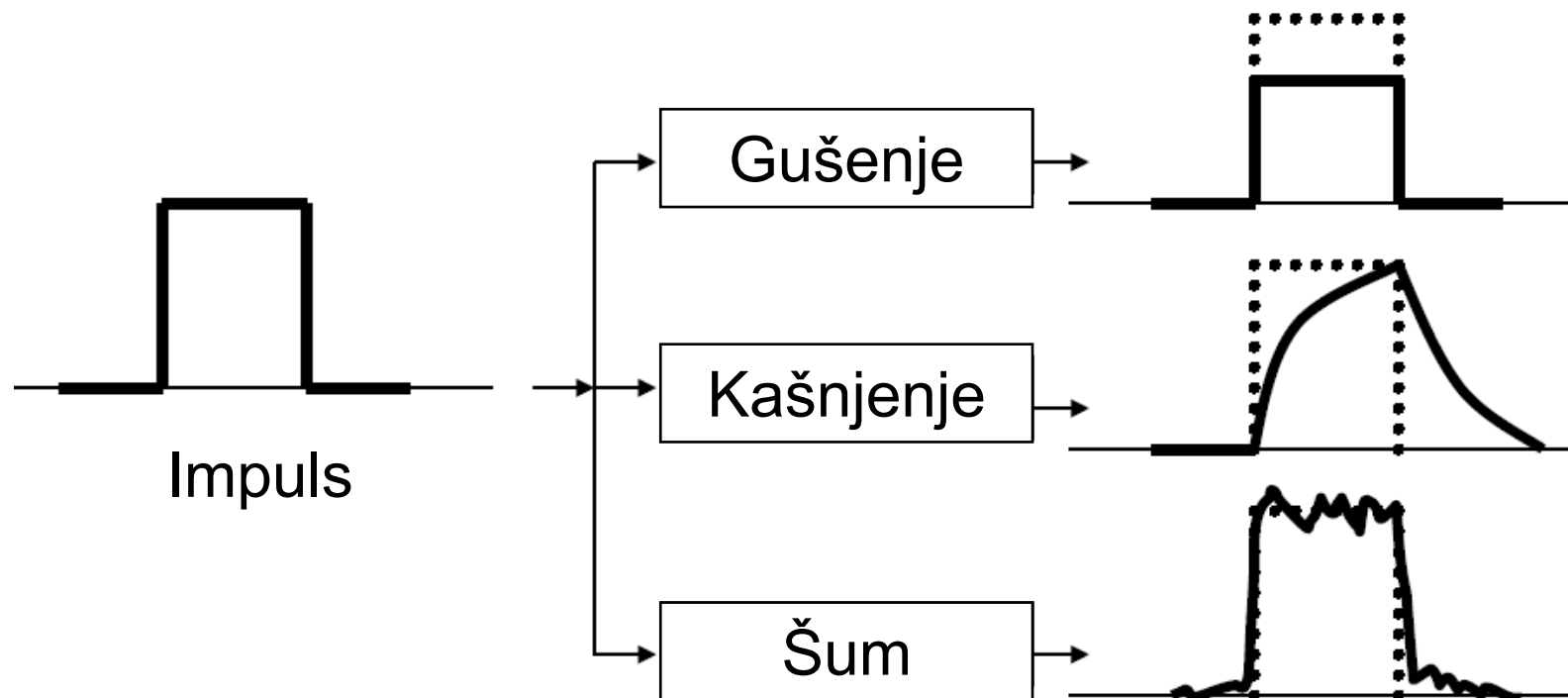
- Prijenosni kanal linearnih i frekvencijski selektivnih osobina uzrokom je dodatnih smetnji među simbolima koje su posebno izražene kod prijenosa velikim brzinama.
- Na temelju poznavanja karakteristike kanala može se izvesti tzv. *filtar za ujednačavanje (Equalizer)* koji će kompenzirati izobličenja što ih unosi frekvencijski selektivni kanal. Filtar za ujednačavanje izvodi se kao transverzalni filtar.
- U radijskom prijenosu, posebno u mobilnim uvjetima, brzo se mijenja karakteristika prijenosnog kanala → potreban je transverzalni filtar za ujednačavanje s prilagodljivim koeficijentima.

kako kanal ima neku frekvencijsku karakteristiku (ona nije ravna crta), tada equalizer ima obrnutu karakteristiku kako bi kompenzirao utjecaj šuma

Smetnje u komunikacijskom kanalu, kapacitet kanala

Smetnje u komunikacijskom kanalu

- gušenje (atenuacija) signala, kašnjenje, šum
- u analognim sustavima izazivaju smanjenje kvalitete prijemnog signala, a u digitalnim sustavima pogreške bita

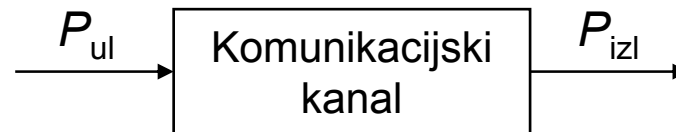


Smetnje u komunikacijskom kanalu

- gušenje signala
 - smanjenje razine električnog signala pri prijenosu komunikacijskim kanalom
 - ovisi o vrsti prijenosnog medija koji se rabi za prijenos signala
 - ovisi o frekvenciji signala (raste porastom frekvencije)
 - razina električnog signala mora biti dovoljno visoka, ali ne previsoka kako ne bi došlo do prepobude sklopova u odašiljaču ili prijamniku
 - razina prijamnog signala mora biti dovoljno visoka da omogući detekciju signala

Smetnje u komunikacijskom kanalu

- gušenje signala (L)



- iskazuje se kao omjer snage signala na ulazu u komunikacijski kanal (P_{ul}) i snage signala na izlazu iz kanala (P_{izl}) u decibelima (dB)

$$L = 10 \log (P_{ul}/P_{izl})$$

- u decibelima se mogu izražavati i omjeri napona

$$L = 20 \log (U_{ul}/U_{izl})$$

obratiti pozornost radi li se o snazi ili o naponu!

Smetnje u komunikacijskom kanalu

- gušenje signala se kompenzira uporabom pojačala
- pojačanje signala (A) definira se kao omjer snage signala na izlazu iz pojačala (P_{izl}) i snage signala na ulazu u pojačalo (P_{ul}) u dB

(obrnuto od gušenja gdje je ul/izl)

$$A = 10 \log (P_{izl} / P_{ul})$$

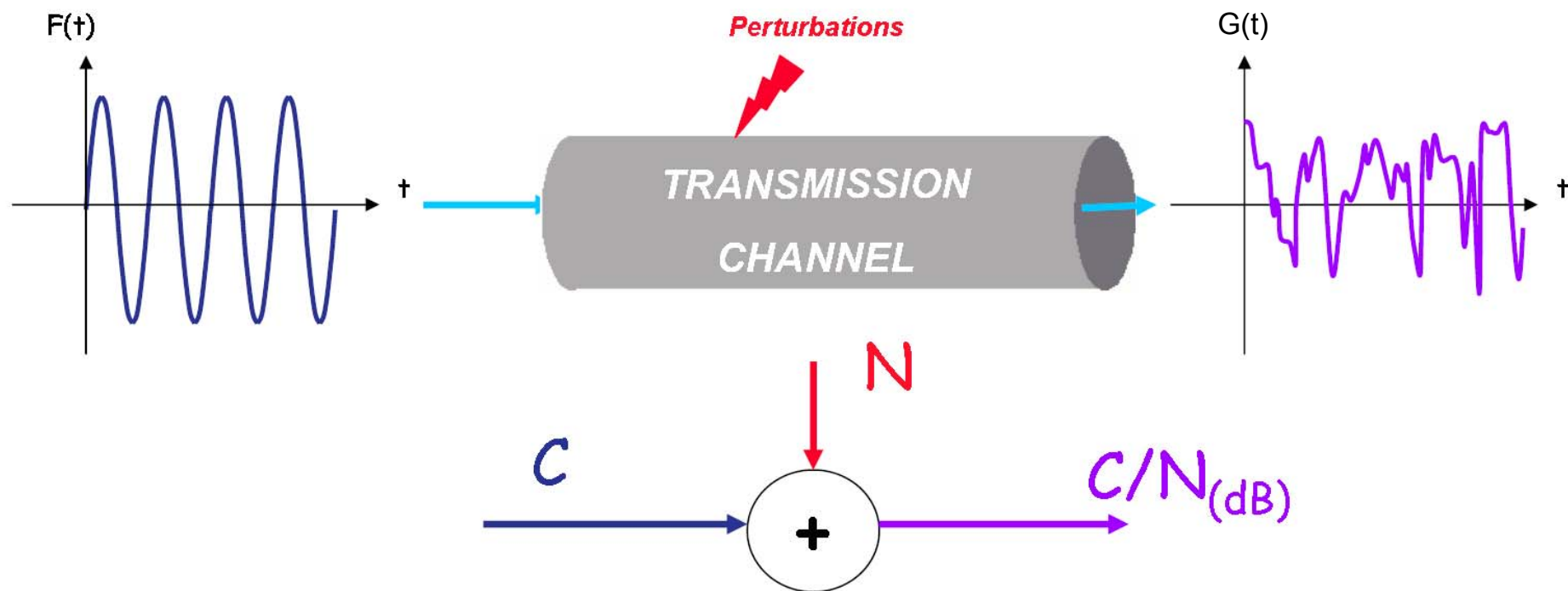
- ukoliko se za prijenos rabi široko frekvencijsko područje, provodi se ujednačavanje signala (ekvilizacija) kako bi se signali visokih frekvencija više pojačali od signala niskih frekvencija

(jer je na višim frekvencijama ve e gušenje, pa tamo treba i ve e poja anje)

Smetnje u komunikacijskom kanalu

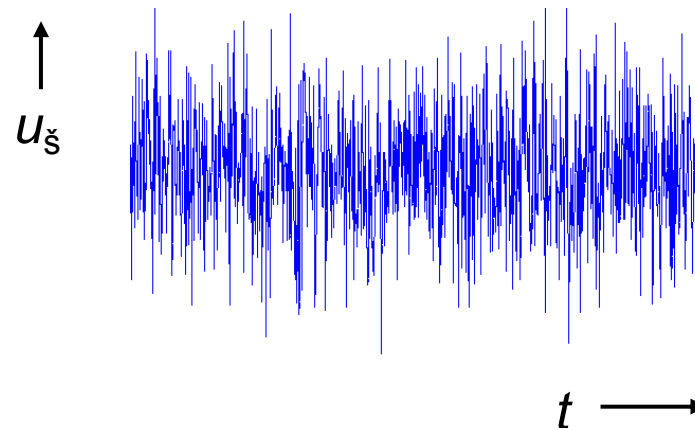
- izobličenje zbog promjenjivosti kašnjenja
 - značajka vođenih prijenosnih medija
 - ovisi o brzini propagacije signala kroz medij i duljini prijenosne linije
 - uzrokovano činjenicom da se brzina propagacije signala kroz medij mijenja promjenom frekvencije
 - različite frekvencijske komponente dolaze do prijamnika u različitim vremenskim trenucima što rezultira u različitim faznim pomacima između različitih frekvencija
 - ukoliko se fazni pomaci mijenjaju nelinearno u odnosu na frekvenciju pojavljuje se fazno izobličenje signala
 - ukoliko se fazni pomaci mijenjaju linearno u odnosu na frekvenciju signal neće biti izobličen
 - u digitalnim komunikacijama ova pojava izaziva proširenje impulsa i smetnje među simbolima (komponente signala jednog bita se proširuju na položaje drugih bita) koje ograničavaju brzinu prijenosa u sustavu

Smetnje u komunikacijskom kanalu



Smetnje u komunikacijskom kanalu

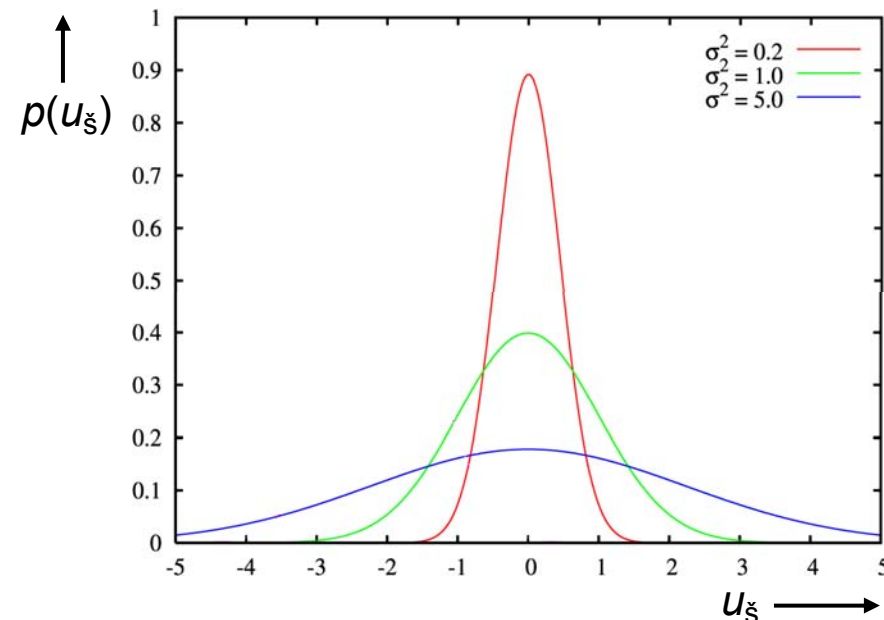
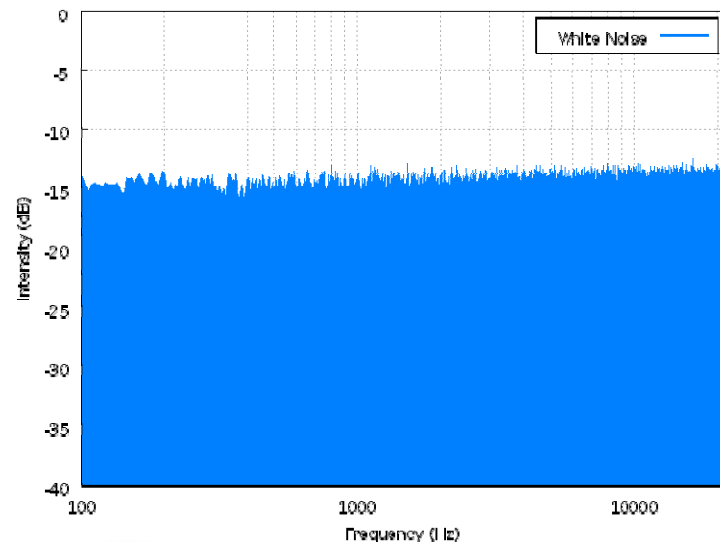
- šum
 - šum se može definirati kao neželjeni signal koji se pojavljuje u isto vrijeme, na istom mjestu ili u istom frekvencijskom području kao i željeni signal
 - uvijek je prisutan u komunikacijskim sustavima
 - šum se pojavljuje u različitim oblicima
 - npr. za dva čovjeka koji razgovaraju zvukovi koje proizvodi okolni promet djeluju kao šum i sl.
 - u elektroničkim komunikacijskim sustavima pojavljuje se
 - termički ("bijeli") šum
 - intermodulacijski šum
 - preslušavanje
 - impulsni šum



Smetnje u komunikacijskom kanalu

– termički šum

- uzrok mu je gibanje elektrona unutar atoma koje je prisutno u svim materijalima i na svim temperaturama osim apsolutne nule
- uvijek prisutan u elektroničkim komunikacijskim sustavima
- ne može biti uklonjen i postavlja gornju granicu značajki sustava
- ima jednoliku razdiobu snage duž frekvencijskog spektra s Gaussovom razdiobom razina signala ($\sigma \sim U_{\xi} \rightarrow$ efektivna vrijednost napona šuma)



Smetnje u komunikacijskom kanalu

- termički šum na širini pojasa od 1 Hz je:

$$N_0 = kT \text{ [W/Hz]}$$

N_0 - gustoća snage šuma u W po 1 Hz širine pojasa

k - Boltzmannova konstanta = $1,3803 \times 10^{-23}$ J/K

T - temperatura u Kelvinima

- termički šum u pojasu frekvencija B Hz je

$$N = kTB \text{ [W]} \quad \text{ima zadatka s ovime...}$$

- može se izraziti u dBW (decibel u odnosu na 1 W)

$$N = 10 \log k + 10 \log T + 10 \log B \text{ [dBW]}$$

$$N = -228,6 + 10 \log T + 10 \log B \text{ [dBW]}$$

- idealni prijamnik je onaj koji ne unosi vlastiti termički šum, dok stvarni prijamnici unose termički šum i povećavaju njegovu ukupnu razinu u signalu (uređaji za slanje/primanje isto generiraju termički šum)

Smetnje u komunikacijskom kanalu

- intermodulacijski šum (**razliite frekvencije si me usobno smetaju**)
 - rezultat je nastanka novih neželjenih frekvencijskih komponenti kad signali različitih frekvencija dijele isti prijenosni medij
 - uzrok je u nelinearnost elektroničkih sklopova u odašiljaču i prijamniku
- preslušavanje
 - neželjena sprega između putova kojima se signali šire
 - pojavljuje se zbog električne sprege između upletenih parica u istom kabeu, više signala u koaksijalnom kabeu, neželjenih signala primljenih mikrovalnom antenom (**javlja se jer istim ili bliskim putem ide više signala**)
 - reda je veličine termičkog šuma
- impulsni šum
 - nekontinuirani šum koji se povremeno pojavljuje u obliku neregularnih impulsa kratkog trajanja i velike amplitude
 - izvori mogu biti sijevanje, mehaničke sklopke, neonska rasvjeta, itd.
 - ne predstavlja problem u analognim sustavima, ali u digitalnim sustavima može izazvati značajne gubitke informacije

Smetnje u komunikacijskom kanalu

- odnos signal/šum

- širenjem signala, signal postaje sve slabiji tako da u određenom trenutku razina šuma (koji je najčešće vrlo niska) postaje ograničavajući faktor za realizaciju komunikacije
- u procjeni utjecaja šuma na značajke komunikacijskog sustava važan je relativni odnos snage signala i snage šuma, a ne njihovi apsolutni iznosi
- omjer snage signala (S) i snage šuma (N) naziva se odnos signal/šum (S/N , Signal/Noise) i izražava se u decibelima (dB)

$$S/N [\text{dB}] = 10 \log_{10}(S[\text{W}]/N[\text{W}])$$

- pravilo da je odnos signala i šuma značajan za realizaciju komunikacije poznato je i iz svakodnevnog života
 - npr. kada dva čovjeka razgovaraju u bučnoj prostoriji oni moraju govoriti glasnije nego u tihoj prostoriji kako bi odnos između govora i pozadinskog šuma ostao isti
 - u elektroničkim komunikacijama ukoliko je snaga prijemnog signala vrlo mala, prijamnik mora imati niski šum, a ako je šum prijamnika visok snaga prijemnog signala mora biti dovoljno velika da se postigne jednaki omjer

Smetnje u komunikacijskom kanalu

- Kvaliteta digitalne informacije na prijamnoj strani određena je prosječnom vjerojatnošću pogreške u prepoznavanju binarnog znaka, bita (**BER**, *Bit Error Rate* ili *Bit Error Ratio*).
- Taj se parametar naziva i *učestalošću pogreške bita*.
- Pogreška bita nastaje kad postoji razlika između odaslanog bita i iz prijamnika isporučenog bita.
- Ako je u slijedu od N bita nalazi n pogrešnih bitova onda je,

$$BER = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{N} \right)$$

omjer pogrešnih i odaslanih bitova (pokušava se vidjeti im dulji slijed radi to nosti, stoga limes:)

- Pogreške u prijenosu nastaju zbog prevelikih smetnji među simbolima digitalnog signala ili zbog djelovanja šuma koji maskiraju impulse digitalnog signala.

Smetnje u komunikacijskom kanalu

Odaslani podaci: 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0

Izvorni signal



Šum



Signal+šum



Primljeni podaci: 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0

Pogrešni bitovi

Kapacitet kanala

- iskazuje se kao brzina prijenosa u bitima u sekundi [bit/s]
 - najveća brzina kojom se mogu prenositi podaci
- kapacitet kanala ovisi o frekvencijskoj širini pojasa B izraženoj u Hz
 - ovisi o parametrima odašiljača i vrsti prijenosnog medija
- na kapacitet kanala utječe
 - broj naponskih razina signala
 - srednja razina šuma u kanalu
 - potrebna vjerojatnost pogreške bita (BER, *Bit Error Rate*)
- u digitalnima komunikacijskim sustavima cilj je u određenoj frekvencijskoj širini pojasa postići što veću brzinu prijenosa uz ograničenu vjerojatnost pogreške bita

Kapacitet kanala — Nyquistova formula

- pretpostavlja kanal bez šuma
- za prijenos binarnog signala (dvije naponske razine) u frekvencijskom pojasu širine B najveća moguća brzina prijenosa je $2B$

$$C = 2B \text{ [bit/s]}$$

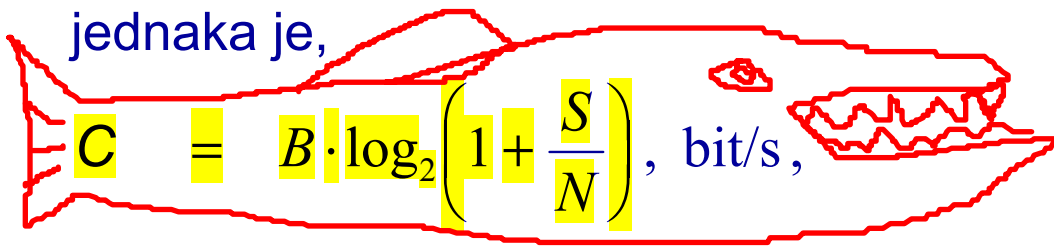
- ukoliko signal može poprimiti M naponskih razina kapacitet kanala je

$$C = 2B \log_2 M \text{ [bit/s]}$$

- za danu frekvencijsku širinu pojasa, kapacitet kanala raste porastom broja mogućih naponskih razina
- realne vrijednosti za M su ograničene šumom i smetnjama u kanalu

Kapacitet kanala — Shannonova formula

- *Shannon* je odredio teorijsku najvišu moguću brzinu pouzdanog prijenosa informacije u zadanome pojasu frekvencija u uvjetima djelovanja bijelog šuma. Ta bi se brzina ostvarila optimalnom obradom informacije (kodiranjem i modulacijom).
- Teorijski najveća ostvariva brzina prijenosa bita ili *kapacitet kanala* jednaka je,



$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right), \text{ bit/s,}$$

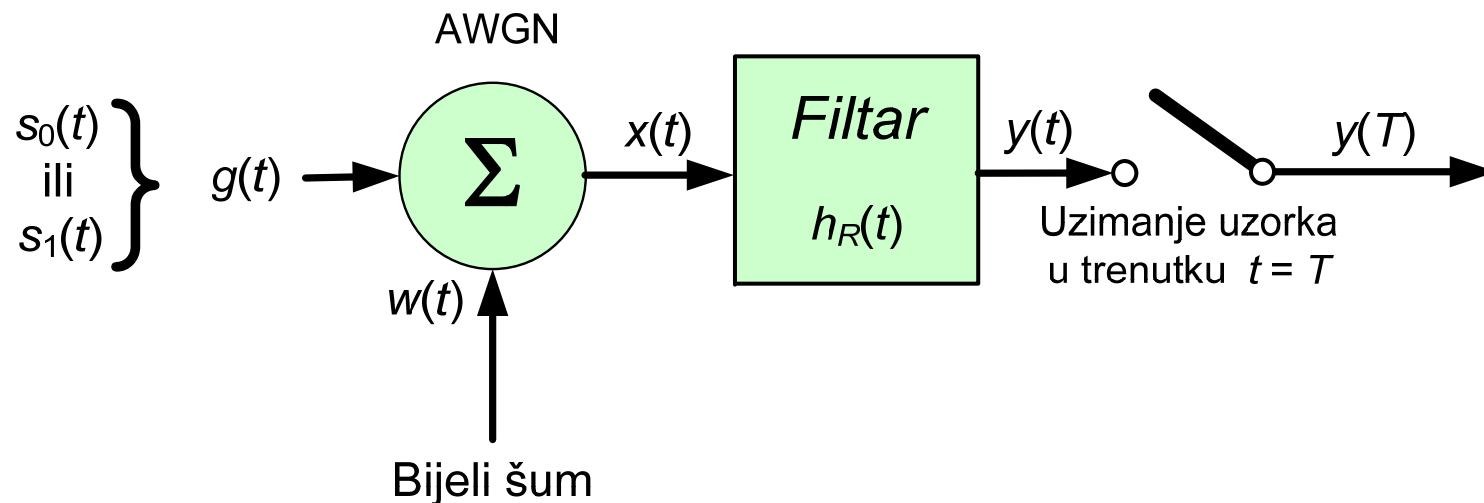
gdje je B širina pojasa koji zauzima kanal, S srednja snaga signala i N snaga bijelog šuma u pojasu širine B . S/N je omjer snaga u apsolutnom iznosu (nije iskazan u dB).

- Prema Shannonu pri toj brzini ne nastaju pogreške.
- Izraz pokazuje da se smanjenjem širine kanala povećava potrebnii omjer signala i šuma, a da bi se zadržao nepromijenjeni kapacitet kanala.
- *Primjer:* Analogni telefonski širine pojasa 3,1 kHz ima omjer $C/N = 40$ dB. Prema Shannonu kapacitet tog kanala iznosi $C = 41,168$ kbit/s.

Optimalni prijam, utjecaj šuma na digitalne signale

Optimalni prijam — prilagođeni filter

- Temeljna je zadaća prijama detektirati impuls prenesen komunikacijskim kanalom koji je izložen djelovanju šuma. Pretpostavlja se aditivni bijeli šum (AWGN, *Additive White Gaussian Noise*).



- Na ulaz u prijamni filter impulsnog odziva $h_R(t)$ dolazi signal $x(t)$ koji se sastoji od impulsa odaslanog signala $g(t)$ i superponiranog signala bijelog šuma $w(t)$,

$$x(t) = g(t) + w(t), \quad 0 \leq t \leq T, \quad T - \text{vremenski interval promatranja.}$$

Optimalni prijam — prilagođeni filter

- Funkcija $w(t)$ opisuje uzorke bijelog šuma koji je srednje vrijednosti nula i spektralne gustoće snage N_0 .
- Optimizacija prijama sastoji se od projektiranja prijamnog filtra kojim će se minimizirati učinci šuma na izlazu filtra i tako poboljšati detekcija impulsa $g(t)$.
- Kako je filter linearnih osobina na njegovu je izlazu signal,

$$y(t) = g_o(t) + n(t),$$

gdje su $g_o(t)$ i $n(t)$ komponente izlaznog signala filtra što su ih stvorile odgovarajuće ulazne komponente $g(t)$ i $w(t)$.

- U svrhu optimizacije detekcije potrebno je snagu $g_o(t)$ u trenutku $t = T$ učiniti što većom u odnosu na snagu izlaznog šuma $n(t)$.

uglavnom: potisnuti im više šum s obzirom na korisni signal, kako ne bi došlo do greške pri očitavanju...

Optimalni prijam — prilagođeni filter

- Optimalna prijenosna funkcija prijamnog filtra $H_{\text{Ropt}}(f)$ dobiva se u obliku,

$$H_{\text{Ropt}}(f) = k \cdot G^*(f) e^{-j2\pi fT}$$

gdje $G(f)$ označuje funkciju spektra signala $g(t)$, a k je neka konstanta.

- Izuzme li se faktor razmjernosti $k \cdot e^{-j2\pi fT}$, prijenosna funkcija optimalnog filtra odgovara konjugirano kompleksnoj funkciji Fourierove transformacije signala ulaznog impulsa.
- Inverznom Fourierovom transformacijom $H_{\text{Ropt}}(f)$ dobiva se impulsni odziv optimalnog filtra,

$$h_{\text{Ropt}}(t) = k \int_{-\infty}^{\infty} G^*(f) e^{-j2\pi f(T-t)} df.$$

filter se namješta tako da izuzme samo korisni signal iz signala koji dolazi na prijemnik...

Optimalni prijam — prilagođeni filter

$$h_{\text{Ropt}}(t) = k \int_{-\infty}^{\infty} G^*(f) e^{-j2\pi f(T-t)} df.$$

- Kako je: $G^*(f) = G(-f)$, izlazi,

$$\begin{aligned} h_{\text{Ropt}}(t) &= k \int_{-\infty}^{\infty} G(-f) e^{-j2\pi f(T-t)} df, \\ &= k \int_{-\infty}^{\infty} G(f) e^{j2\pi f(T-t)} df, \\ &= k \cdot g(T-t). \end{aligned}$$

- Impulsni odziv optimalnog filtra odgovara, dakle, vremenski zaokrenutom i pomaknutom ulaznom signalu $g(t)$.
- Odziv filtra prilagođen je ulaznom signalu i on se zato naziva prilagođenim filtrom.

Utjecaj šuma

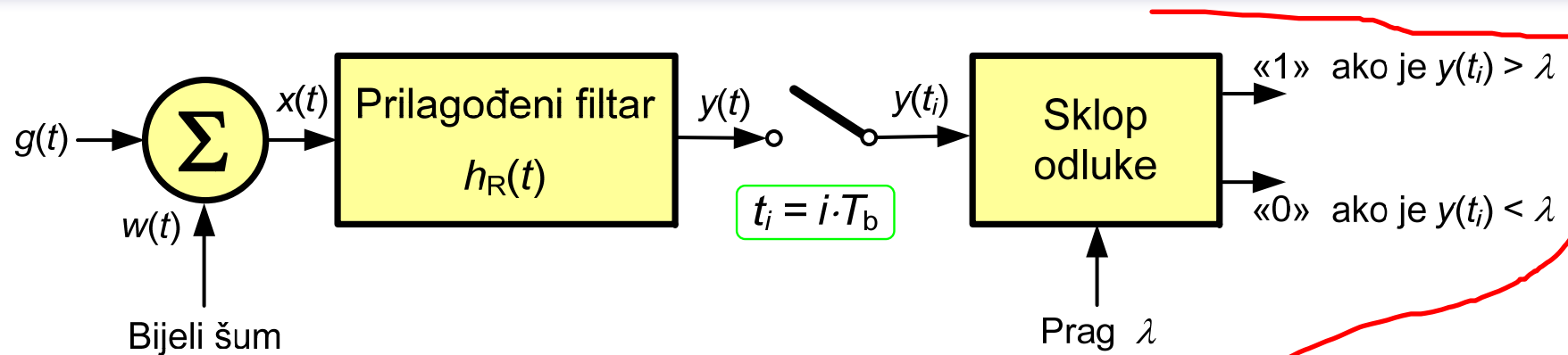
- U digitalnom se prijenosu umjesto omjera snaga korisnog signala i šuma koristi omjer energije signala po bitu (energija simbola) i gustoće snage šuma E_b/N_0 .
- Taj je omjer bez dimenzije kao i S/N , jer se E_b mjeri u Ws, a N_0 u W/Hz.
- Neka je digitalni signal $g(t)$ predodređen idealnima bipolarnim pravokutnim impulsima NRZ linijskog koda.

$$g(t) = \begin{cases} +A, & \text{ako je odaslan znak "1" [simbol } s_1(t)\text{]}, \\ -A, & \text{ako je odaslan znak "0" [simbol } s_0(t)\text{]}, \end{cases} \\ 0 \leq t < T_b.$$

nevažno

- Oblik primljenih impulsa $x(t)$ nije više pravokutan, jer se na $g(t)$ superponira bijeli Gaussov šum $w(t)$, srednje vrijednosti nula i spektralne gustoće snage N_0 ,

Utjecaj šuma



$$x(t) = \begin{cases} +A + w(t), & \text{za znak "1",} \\ -A + w(t), & \text{za znak "0",} \end{cases} \quad 0 \leq t < T_b.$$

nije baš važno

- U svakom intervalu trajanja T_b prijamnik mora donijeti odluku o tome da li je odaslan znak «1» ili znak «0».
- Ako je razina izlaznog signala prilagođenog filtra na kraju intervala bita T_b viša od postavljenog praga λ donosi se odluka *odaslan je znak «1»*. Kad je ta razina niža od λ donosi se odluka *odaslan je znak «0»*.

Utjecaj šuma

- Stupanj utjecaja šuma na vjerojatnost pogrešne detekcije binarnog znaka ovisi o statističkim osobinama šuma.
- Kod bijelog šuma razdioba gustoće vjerojatnosti razine šuma određena je Gaussovom normalnom razdiobom, tj. vjerojatnost da se razina uzorka šuma nalazi između razina u i $u+du$ iznosi,

$$p(u) du = \frac{1}{\sqrt{2\pi}U_{\text{š}}} e^{-u^2/2U_{\text{š}}^2} du ,$$

pri čemu $U_{\text{š}}$ odgovara efektivnoj vrijednosti napona šuma, ili

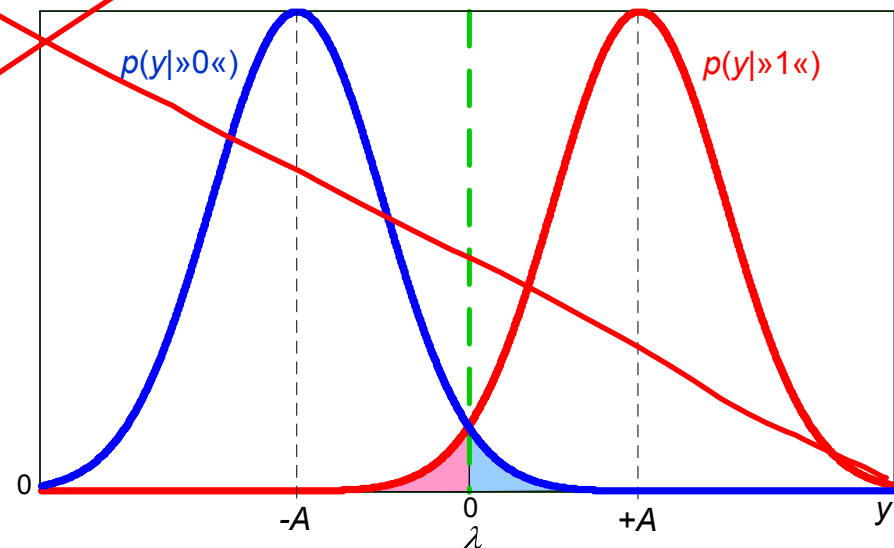
$$U_{\text{š}}^2 = \frac{N_0}{T_b} .$$

Utjecaj šuma

- Pogreška u detekciji binarnog znaka može nastati na dva načina:
 - detektiranjem znaka «1» kad je odaslan znak «0», vjerojatnost p_{10} ili,
 - detektiranjem znaka «0» kad je odaslan znak «1», vjerojatnost p_{01} .
- Kako su to dva ekskluzivna događaja oni se mogu analizirati zasebno.
- Kad je odaslan znak «0» razdioba vjerojatnosti pojedine razine y signala $y(t)$ ima srednju vrijednost $-A$ i jednaka je,

$$p(y|\"0\") = \frac{1}{\sqrt{2\pi U_{\text{š}}^2}} e^{-\frac{(y+A)^2}{2U_{\text{š}}^2}}.$$

- Pogreška nastaje kad je $y > \lambda$, pa je vjerojatnost pogrešne detekcije znaka «0», tj. p_{10} , jednaka,



Utjecaj šuma

$$p_{10} = p(y > \lambda | "0") = \frac{1}{\sqrt{2\pi U_{\text{š}}^2}} \int_{\lambda}^{\infty} e^{-\frac{(y+A)^2}{2U_{\text{š}}^2}} dy.$$

- Ova se vjerojatnost može izraziti uz pomoć tzv. *komplementarne funkcije pogreške* koja je definirana izrazom,

$$\text{erfc}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_u^{\infty} e^{-z^2} dz.$$

- Ako se uvede zamjena,

$$z = \frac{y + A}{\sqrt{2U_{\text{š}}^2}}, \text{ to onda daje,}$$

$$p_{10} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{(A+\lambda)/\sqrt{2U_{\text{š}}^2}}^{\infty} e^{-z^2} dz = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{A+\lambda}{\sqrt{2U_{\text{š}}^2}}\right).$$

Utjecaj šuma

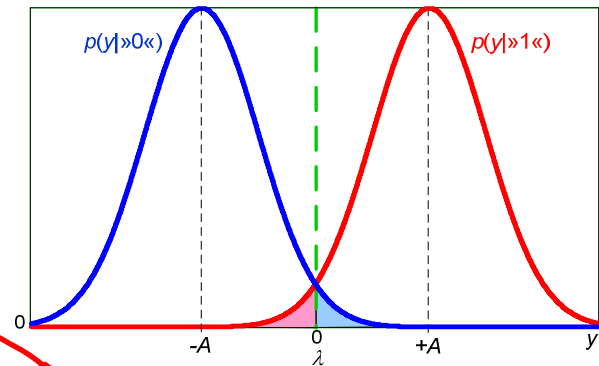
- Na slični se način određuje vjerojatnost pogrešne detekcije znaka «1».

$$p(y|\"1\") = \frac{1}{\sqrt{2\pi U_{\text{š}}^2}} e^{-\frac{(y-A)^2}{2U_{\text{š}}^2}}.$$

$$p_{01} = p(y < \lambda | \"1\") = \frac{1}{\sqrt{2\pi U_{\text{š}}^2}} \int_{-\infty}^{\lambda} e^{-\frac{(y-A)^2}{2U_{\text{š}}^2}} dy.$$

$$z = \frac{A-y}{\sqrt{2U_{\text{š}}^2}},$$

$$p_{01} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{(A-\lambda)/\sqrt{2U_{\text{š}}^2}}^{\infty} e^{-z^2} dz = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{A-\lambda}{\sqrt{2U_{\text{š}}^2}} \right).$$



Utjecaj šuma

- Kako pojava jedne vrste pogreške isključuje mogućnost pojave druge vrste pogreške onda je ukupna srednja vjerojatnost pogrešne detekcije binarnog znaka odnosno simbola,

$$p_E = p_0 p_{10} + p_1 p_{01},$$

$$= \frac{p_0}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{A+\lambda}{\sqrt{2U_{\text{š}}^2}} \right) + \frac{p_1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{A-\lambda}{\sqrt{2U_{\text{š}}^2}} \right).$$

- Kad su jednake vjerojatnosti pojave znaka «1» i znaka «0» u digitalnom slijedu binarnih znakova (binarno simetrični prijenosni kanal), tj. kad je,

$$p_1 = p_0 = \frac{1}{2},$$

može se pokazati da je optimalna razina praga detekcije $\lambda = 0$, pa izlazi,

$$p_E = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{A}{\sqrt{2U_{\text{š}}^2}} \right).$$

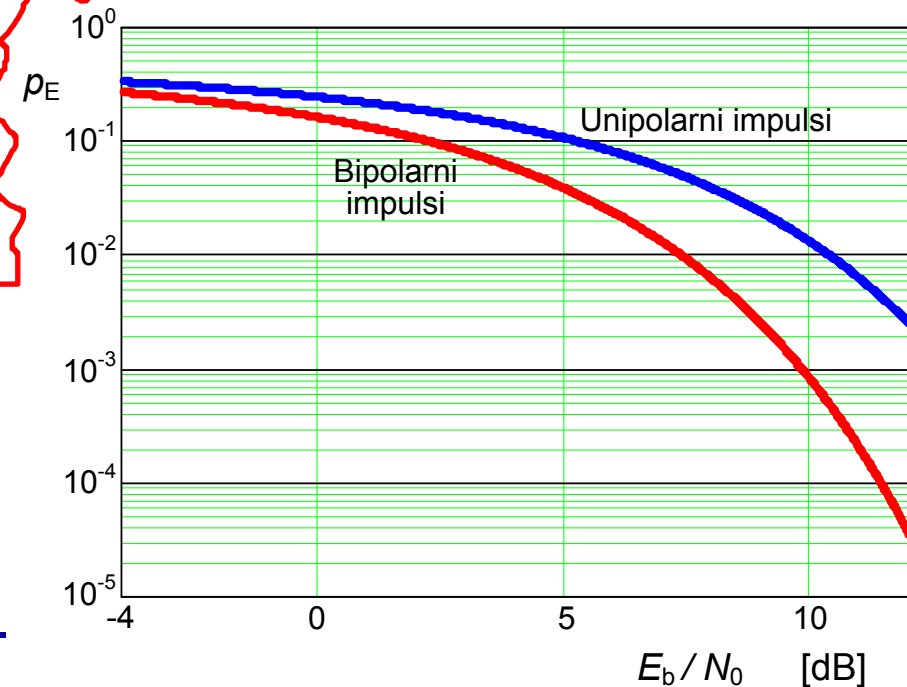
Utjecaj šuma

- Kako je, $U_{\text{š}}^2 = N_0/T_b$, a energija odašlanog signala po bitu jednaka, $E_b = A^2 T_b$, izlazi da je,

$$p_E = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}} \right).$$

znat ovu.
sliku,
bipolarni
imaju
manju šansu
za
greškom!

Vjerojatnost pogrešne detekcije simbola u binarno simetričnom kanalu ovisi samo o omjeru energije signala po bitu E_b i spektralne gustoće snage šuma N_0 .



- Ekvivalentni postupak za unipolarni NRZ linijski kod digitalnog signala daje,

Utjecaj šuma

$$g(t) = \begin{cases} +A, & \text{ako je odaslan znak "1" [simbol } s_1(t)], \\ 0, & \text{ako je odaslan znak "0" [simbol } s_0(t)], \end{cases} \\ 0 \leq t < T_b.$$

$$x(t) = \begin{cases} +A + w(t), & \text{za znak "1",} \\ w(t), & \text{za znak "0",} \end{cases} \\ 0 \leq t < T_b.$$

$$\lambda = \frac{A}{2},$$

$$p_F = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{4N_0}} \right).$$

Prijenos analognog i digitalnog signala

- analogni sustavi
 - prenose analognu ili digitalnu informaciju
 - kvaliteta prijama ne ovisi o sadržaju signala
 - osjetljivi su na šum i nelinearna izobličenja
 - povećanjem prijenosne udaljenosti raste gušenje signala
 - radi gušenja rabe se pojačala koja pored signala pojačavaju i šum
- digitalni sustavi
 - kvaliteta prijama ovisi o sadržaju signala
 - osjetljivi su na gušenje signala
 - impulsi postaju manji i zaobljeniji
 - manje osjetljivi na šum
 - pojačala regeneriraju izvorni oblik signala i ne pojačavaju šum
 - moguće je rabiti tehnike za otkrivanje i ispravljanje pogrešaka u prijenosu

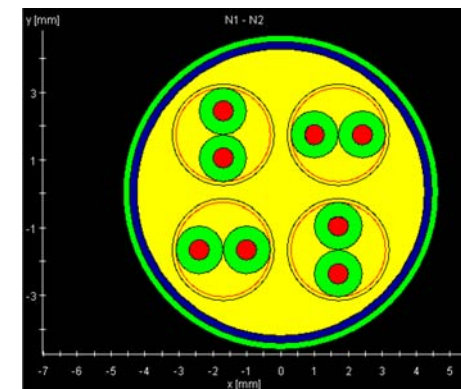
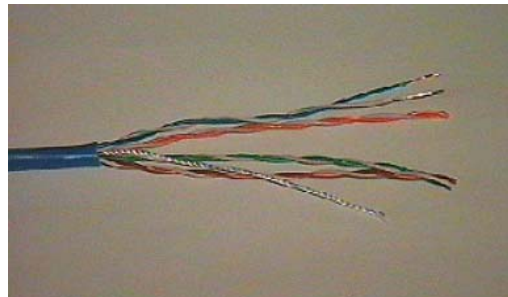
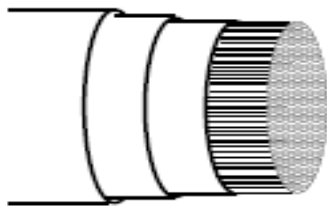
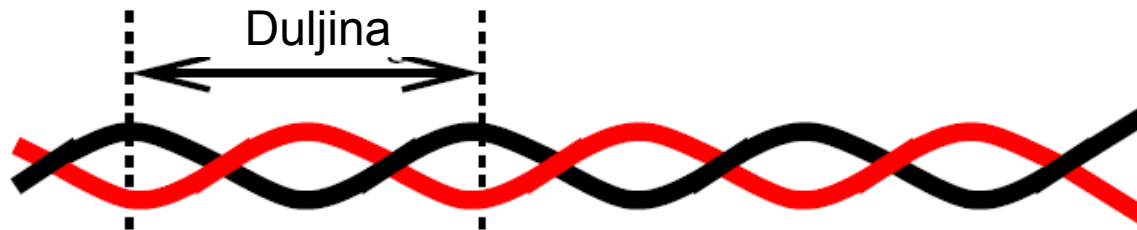
Prednosti digitalnog prijenosa

- visoka kvaliteta prijamnog signala
- jeftiniji sklopovi i uređaji
- moguće je ostvariti veće prijenosne udaljenosti u kanalima niske kvalitete
- bolje iskorištenje prijenosnih kapaciteta i frekvencijskog spektra
- povećana sigurnost i privatnost (šifriranje signala)

Značajke prijenosnih medija

Upletena parica

- dva izolirana vodiča spiralno upletena jedan oko drugog
 - vodiči su upleteni jedan oko drugog radi smanjenja preslušavanja
 - ~~debljina pojedinog vodiča je između 0,4 mm - 0,9 mm~~
- više tako upletenih parova združuje se u kabel
 - duljina koja definira koliko gusto su vodiči upleteni jedan oko drugog (duljina ispreplitanja) se razlikuje za različite parice u kabelu kako bi se smanjilo preslušavanje između parica



Upletena parica

- rabe se za povezivanje telefonskih pretplatnika na telefonsku centralu te u lokalnim mrežama (LAN)
- većina pripada u kategoriju neoklopljenih kabela (UTP, *Unshielded Twisted Pair*)
 - različite kvalitete kabela
 - kategorija 3
 - brzine prijenosa u LAN do 16 Mbit/s, duljina ispreplitanja 7,5 do 10 cm
 - kategorija 5
 - brzine prijenosa u LAN do 100 Mbit/s, duljina ispreplitanja 0,6 do 0,85 cm
- dobre strane
 - jeftin medij jednostavan za polaganje
- loše strane
 - ograničene brzine prijenosa, ograničene prijenosne udaljenosti, neotpornost na šum i elektromagnetske smetnje (relativno)

Upletena parica

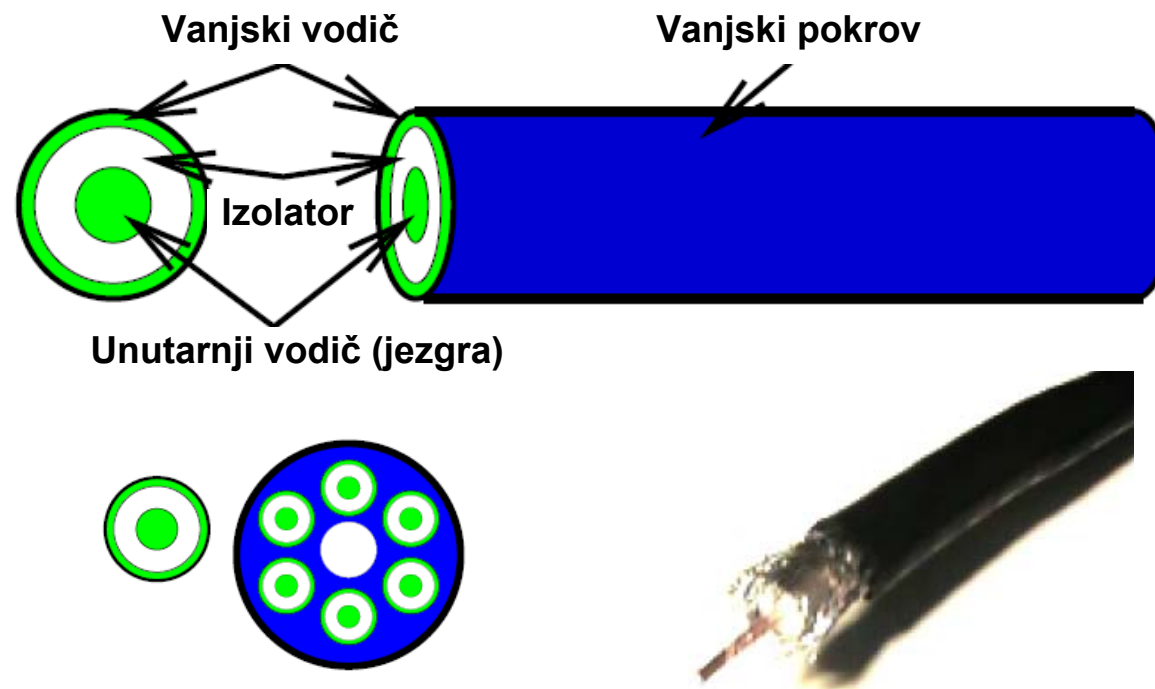
- kvaliteta kabela određena je gušenjem i preslušavanjem
- preslušavanje se očituje kao sprega signala između parica
 - signal iz jedne parice se pojavljuje u drugoj parici
- gušenje se očituje kao smanjenje razine prijemnog signala
 - radi kompenzacije gušenja rabe se pojačala
 - za prijenos analognog signala pojačala se postavljaju svakih 5 – 6 km
 - za prijenos digitalnog signala regeneratori se postavljaju svakih 2 – 3 km

Frekvencija	Gušenje (dB/100m)	
	Cat 3 UTP	Cat 5 UTP
1 MHz	2.6	2.0
4 MHz	5.6	4.1
16 MHz	13.1	8.2
25MHz		10.4
100MHz		22.0

nisu važne brojke

Koaksijalni kabel

- dva vodiča smještena u istoj osi i odvojena izolatorom
- više kabela može biti združeno



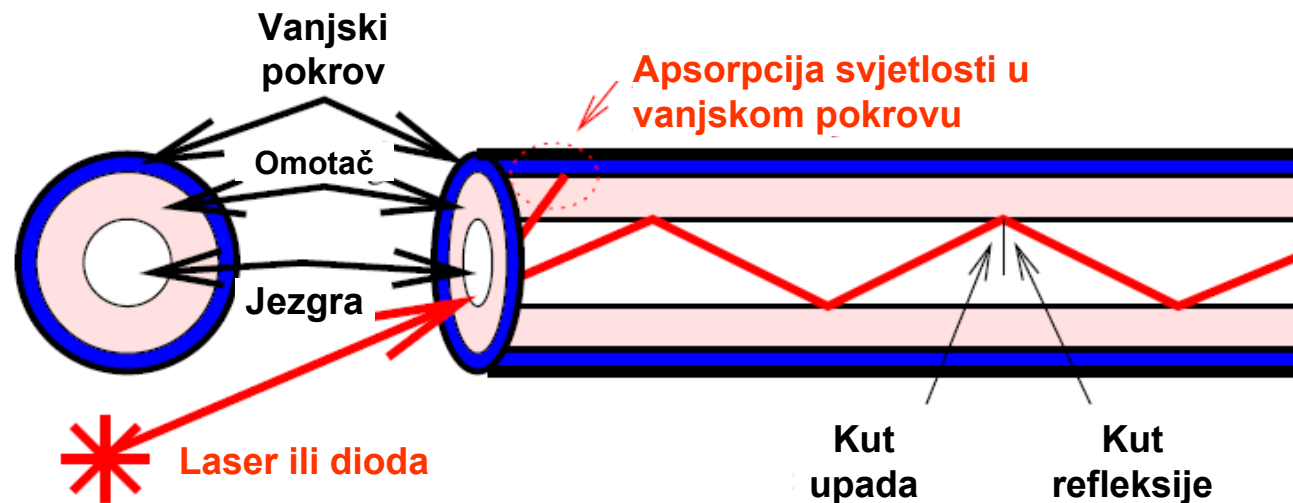
Koaksijalni kabel

- rabi se u sustavima kableske televizije te za povezivanje radijskih odašiljača ili prijamnika s antenom
 - ~~– prijenos televizijskog signala u frekvencijskom području od 30 – 600 MHz (više od 70 televizijskih kanala)~~
- prije se rabio u lokalnim mrežama (zamijenjen upletenom paricom) te za prijenos telefonskog signala na velike udaljenosti (zamijenjen optičkim kabelom)
- radi kompenzacije gušenja rabe se pojačala
 - ~~– za prijenos analognog signala pojačala se postavljaju svakih par kilometara (ili bliže ako se prenosi područje visokih frekvencija)~~
 - ~~– za prijenos digitalnog signala regeneratori se postavljaju svakih 1 km (ili bliže ako se rabe visoke brzine prijenosa)~~

Svjetlovod

ne pamtit brojke!

- svjetlovod je vrlo tanak (2 – 125 μm) i fleksibilan medij
 - ponaša se kao valovod u frekvencijskom području $10^{14} - 10^{15}$ Hz (područje infracrvene i vidljive svjetlosti)
 - za prijenos se rabe tri optička prozora: 0,85 μm , 1,3 μm i 1,55 μm
 - jezgra koja prenosi svjetlost načinjena je od stakla ili plastike
 - omotač i vanjski pokrov imaju sposobnost apsorpcije svjetlosti
- jedan optički kabel sadrži više svjetlovoda



Svjetlovod

- kao izvori svjetlosti rabe se poluvodički laseri ili diode (LED, *Light Emitting Diode*)

	LED	Laser
Brzina prijenosa	Niska	Visoka
Način prijenosa	Višemodni i jednomodni	Višemodni i jednomodni
Udaljenosti	Kratke	Duge
Životni vijek	Dug	Kratak
Temp. ovisnost	Mala	Znatna
Cijena	Niska	Visoka

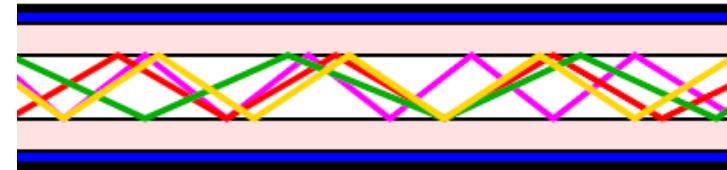
uglavnom: laser je skup i kvalitetan, dok su LEDice jeftinije i dugovje nije

Svjetlovod

- vrste svjetlovoda

- višemodni

- zrake svjetlosti imaju različite putove što izaziva proširenje impulsa
 - promjer jezgre: 50 μm
 - izvori svjetlosti: LED diode



- jednomodni

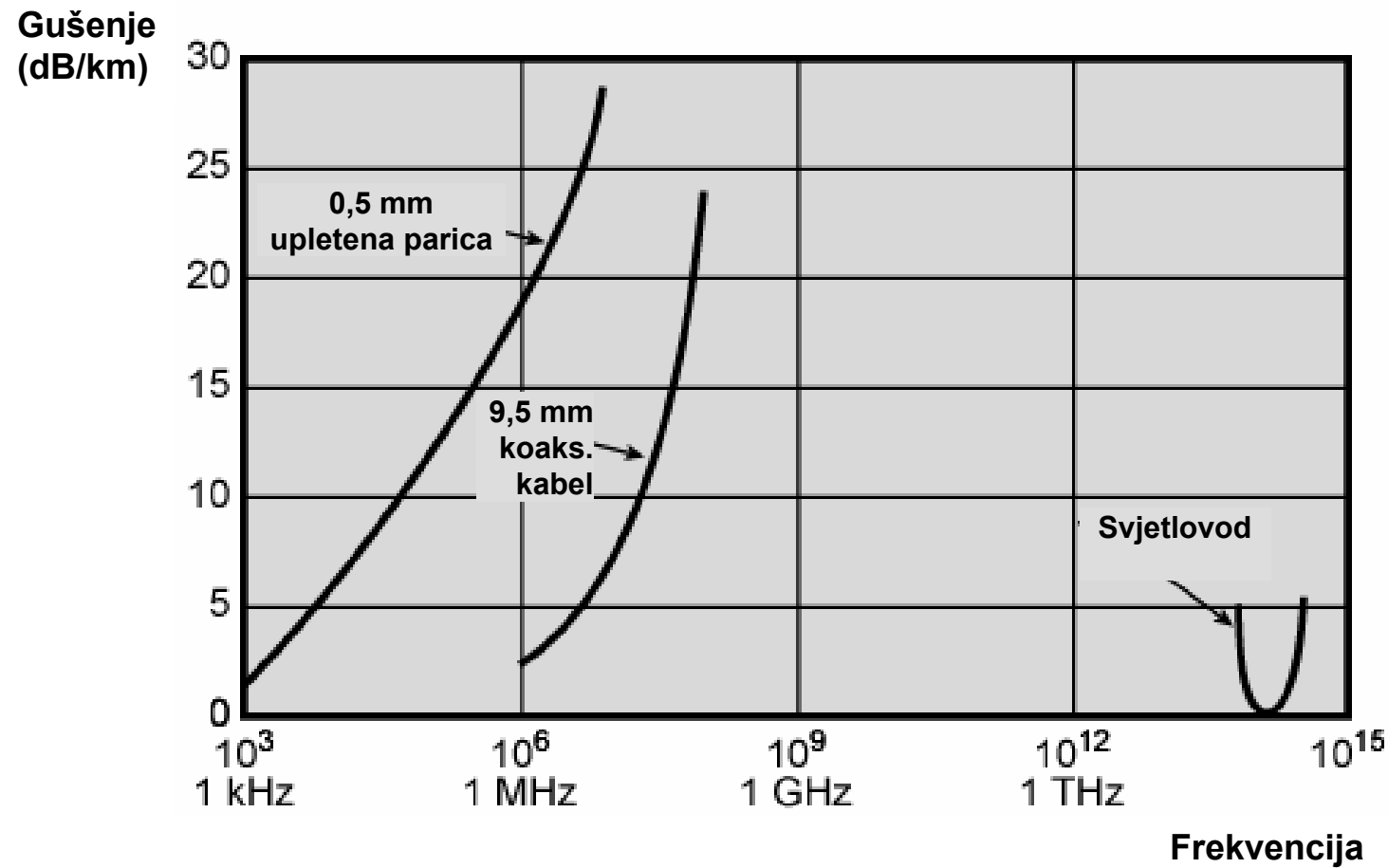
- promjer jezgre: 8 – 12 μm
 - smanjenjem promjera jezgre na red veličine valne duljine samo aksijalna zraka se širi kroz svjetlovod
 - izvori svjetlosti: LED diode i laseri



Svjetlovod

- najčešće se rabi za prijenos signala na velike udaljenosti
- rabi se i u lokalnim mrežama osiguravajući visoke brzine prijenosa , on je najbolji vodi , ali i najskuplji (ne kabel nego laseri)
- dobre strane
 - visoke brzine prijenosa (nekoliko stotina Gbit/s)
 - male dimenzije i mala težina
 - malo gušenje signala
 - otpornost na elektromagnetske smetnje
 - potreba za uporabom pojačala svakih desetak kilometara ili više
- loše strane
 - iako su optički kabeli jeftini, ostali uređaji potrebni za elektrooptičku i optoelektričku pretvorbu su relativno skupi
 - složenija instalacija te održavanje sustava

Usporedba vođenih medija

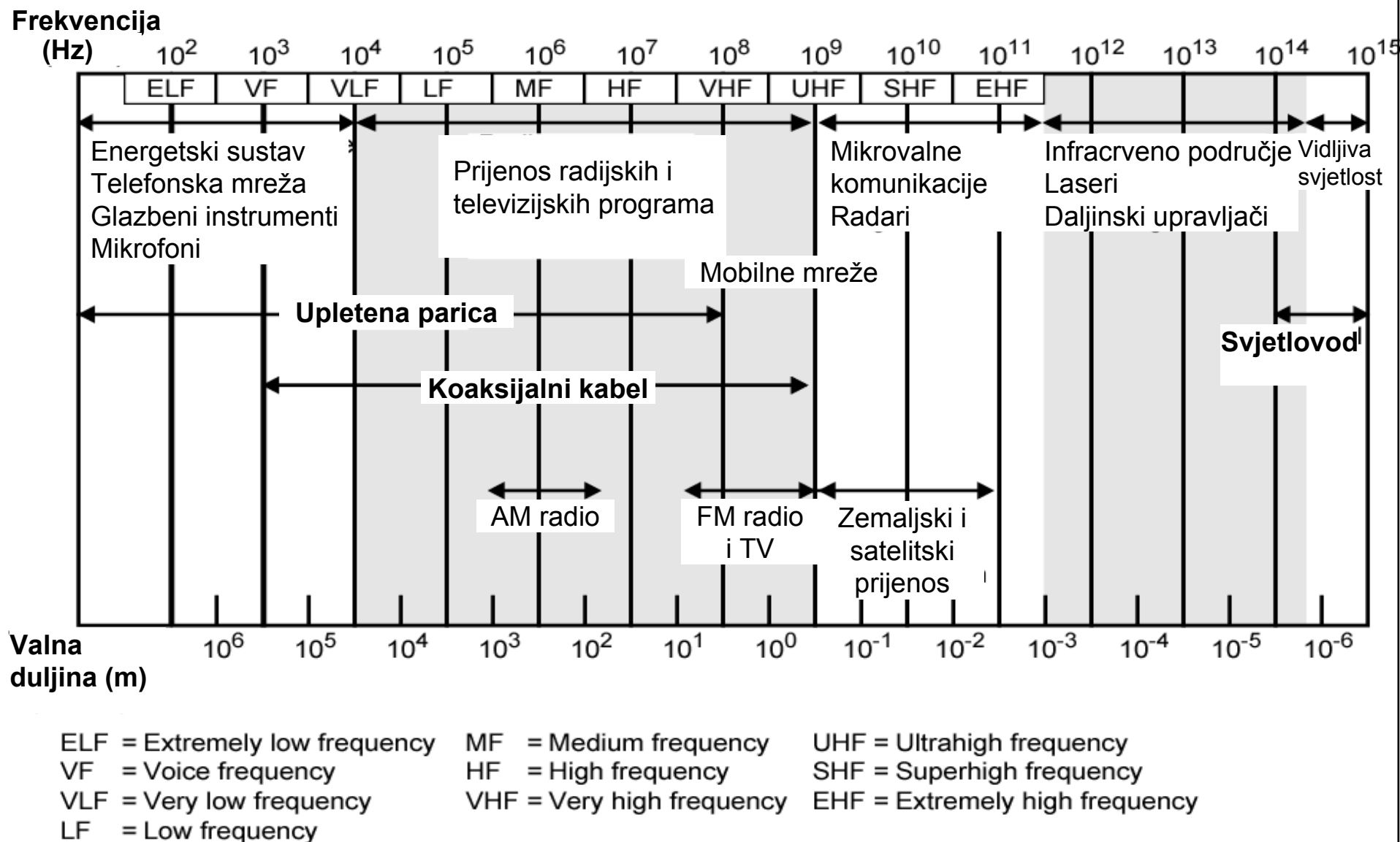


Radijski prijenos

- prijenos informacije se ostvaruje putem elektromagnetskog (EM) vala koji se širi u slobodnom prostoru
- radijski valovi su EM valovi frekvencija od 9 kHz do 3 000 GHz
~~nevažne brojke~~
- temeljni elementi radijskog sustava
 - odašiljač
 - generira visokofrekvencijski prijenosni signal i provodi modulaciju prijenosnog signala informacijom
 - odašiljačka i prijamna antena
 - zrače odnosno primaju elektromagnetski val
 - prijenosni medij
 - atmosfera u blizini površine Zemlje
 - prijamnik
 - odabire željeni kanal (signal), pojačava signal i izdvaja informaciju iz primljenog signala

ne pamtit nikakve brojke! samo znat da je radijski od kHz do THz

127



Radijski prijenos

NEVAŽNO

- frekvencijska podjela radijskih valova

Frekvencija	Skraćenica za naziv pojasa	Valna duljina	Naziv pojasa
3 – 30 kHz	VLF	100 – 10 km	Vrlo niske frekvencije
30 – 300 kHz	LF	10 – 1 km	Niske frekvencije
300 – 3000 kHz	MF	1000 – 100 m	Srednje frekvencije
3 – 30 MHz	HF	100 – 10 m	Visoke frekvencije
30 – 300 MHz	VHF	10 – 1 m	Vrlo visoke frekvencije
300 – 3000 MHz	UHF	100 – 10 cm	Ultravisoke frekvencije
3 – 30 GHz	SHF	10 – 1 cm	Supervisoke frekvencije
30 – 300 GHz	EHF	10 – 1 mm	Ekstremno visoke frekvencije
300 – 3000 GHz	-	1 – 0,1 mm	-

Radijski prijenos

- radijski sustavi razlikuju se u odnosu na frekvencijsko područje, namjenu, vrstu signala koji se prenosi i vrstu korištenoga modulacijskog postupka
- radijski prijenos može biti
 - usmjeren
 - antena zrači uski snop elektromagnetskih valova
 - služi za povezivanje dvije točke, pri čemu odašiljačka i prijamna antena moraju biti točno usmjerene jedna prema drugoj (*point to point*)
 - ~~pogodan za područje viših frekvencija (iznad 1 GHz)~~
 - neusmjeren /**uglavnom se ovaj koristi za javne usluge/**
 - odašiljani signal se širi u više smjerova
 - signal jednog odašiljača može biti primljen na velikom broju prijamnika u području pokrivanja odašiljača

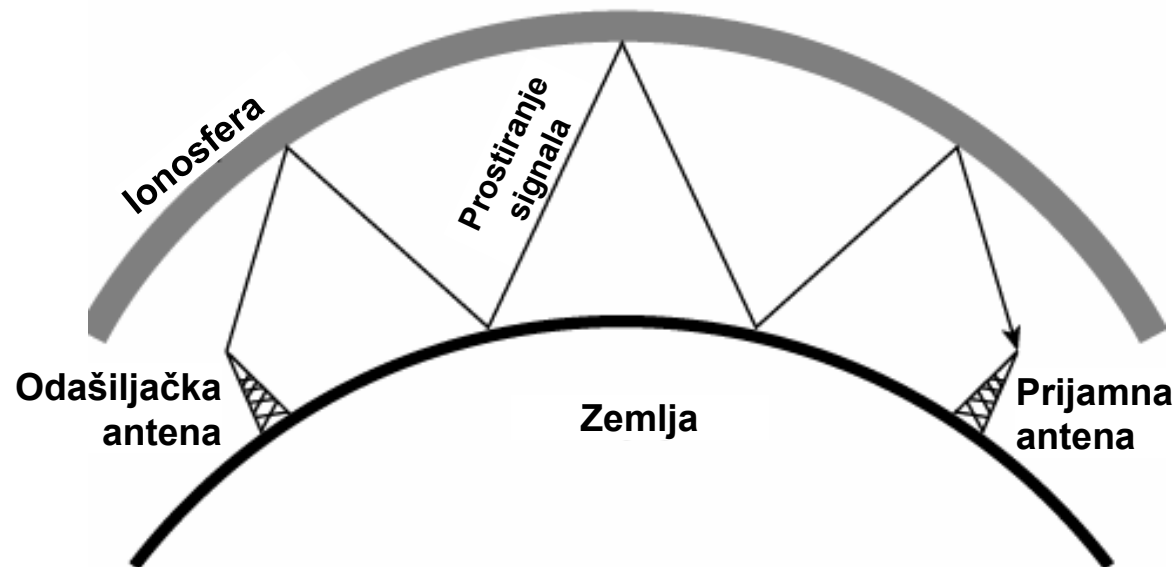
Radijski prijenos

nije važno za zapamtiti

- frekvencijska područja i njihova uporaba
 - 30 MHz – 2 GHz
 - uglavnom neusmjereni prijenos radijskih i televizijskih signala od pojedinog odašiljača do velikog broja prijamnika u području pokrivanja odašiljača (radiodifuzija), mobilne komunikacije (GSM, UMTS, ...)
 - 2 GHz – 40 GHz
 - područje mikrovalnih frekvencija
 - zemaljske mikrovalne veze za usmjereni prijenos od točke do točke (radiorelejne veze), satelitska radiodifuzija radijskih i televizijskih signala, satelitske usmjerene veze, radijske lokalne mreže (WLAN, *Wireless Local Area Networks*), point-to-multipoint sustavi (FWA, *Fixed Wireless Access*)
 - 3×10^{11} do 2×10^{14} Hz
 - infracrveno područje pogodno za lokalni usmjereni prijenos signala između dvije točke ili više točaka
 - područje u kome rade IR daljinski upravljači televizora

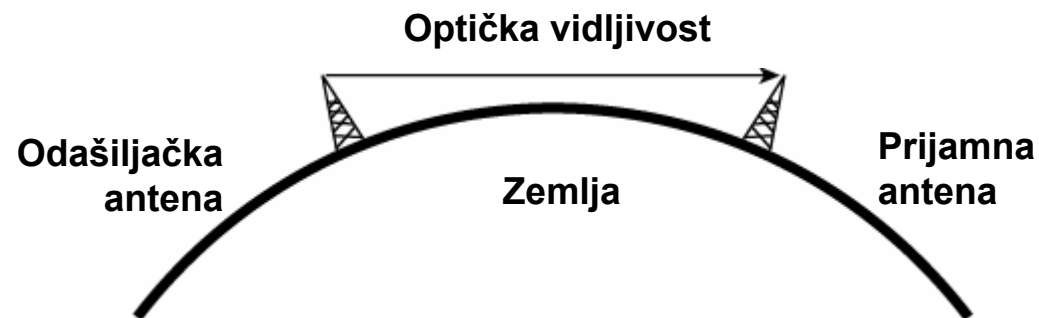
Radijski prijenos

- prostiranje elektromagnetskog vala
 - u području 3 MHz – 30 MHz elektromagnetski val se reflektira od ionosfere (ne pamtit brojke, samo da se na nižim frekvencijama odbija)



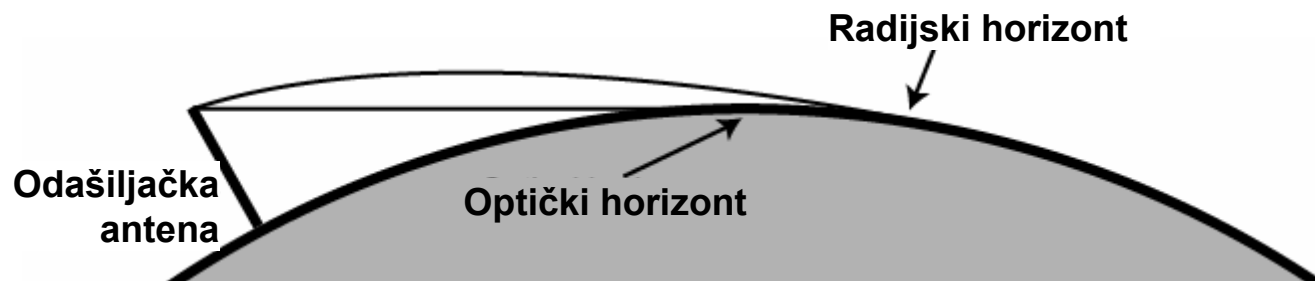
Radijski prijenos

- u području iznad 30 MHz ionosfera je transparentna za elektromagnetske valove
- elektromagnetski val se širi uzduž linije optičke vidljivosti između odašiljačke i prijamne antene (izravni val)
- odašiljačka i prijamna antena se smještaju dovoljno visoko iznad površine zemlje, kako bi se povećao domet



Radijski prijenos

- zbog refrakcije (loma) elektromagnetskog vala domet elektromagnetskog vala je veći od dometa optičke vidljivosti
 - brzina elektromagnetskog vala je funkcija gustoće medija kroz koji se val širi
 - brzina širenja je $3 \cdot 10^8$ m/s u vakuumu, a smanjuje se u drugim medijima
 - pri prijelazu vala iz jednog medija u drugi, mijenja mu se brzina i smjer te se val lomi prema mediju veće gustoće
 - kut refrakcije ovisi o valnoj duljini signala
 - gustoća atmosfere opada porastom visine što izaziva refrakciju elektromagnetskog vala prema Zemlji



Radijski prijenos ovo dosad nikad nije pitano, al tko zna :)

- zbog refrakcije (loma) elektromagnetskog vala domet tog vala je veći od dometa optičke vidljivosti
- domet elektromagnetskog vala (d) izražen u kilometrima (km) je

$$d = 3,57\sqrt{Kh}$$

h -visina u m na kojoj se nalazi antena

K -faktor koji izražava činjenicu da elektromagnetski val u mikrovalnom području nema ravnu već savinutu putanju zbog čega putuje do udaljenosti koja je veća od optičke vidljivosti

- $K = 1$ za optičku vidljivost,
- $K = 4/3$ za radijski horizont
- ako se koriste dvije antene visina h_1 i h_2 , one mogu biti udaljene za

$$d = 3,57\left(\sqrt{Kh_1} + \sqrt{Kh_2}\right)$$

- npr. odašiljačka i prijamna antena na visinama 100 m mogu biti udaljene

$$d = 3,57 \cdot 2\sqrt{1,33 \cdot 100} = 7,14\sqrt{133} = 82 \text{ km}$$

Radijski prijenos ni ovo :)

- smetnje u radijskom prijenosu

- porastom frekvencije raste širina pojasa i brzina prijenosa, koje se mogu koristiti, ali se smanjuje najveća prijenosna udaljenost zbog gušenja signala koje raste porastom frekvencije

- gubici u slobodnom prostoru

- gušenje signala valne duljine λ na udaljenosti d zbog gubitaka u slobodnom prostoru iznosi

$$L = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2, \text{ dB}$$

- pri svakom udvostručenju udaljenosti ili frekvencije gušenje raste za 6 dB
 - npr. za signal frekvencije 30 MHz na udaljenosti 30 km gubici su:

$$\lambda = (3 \cdot 10^8) / (30 \cdot 10^6) = 10 \text{ m}$$

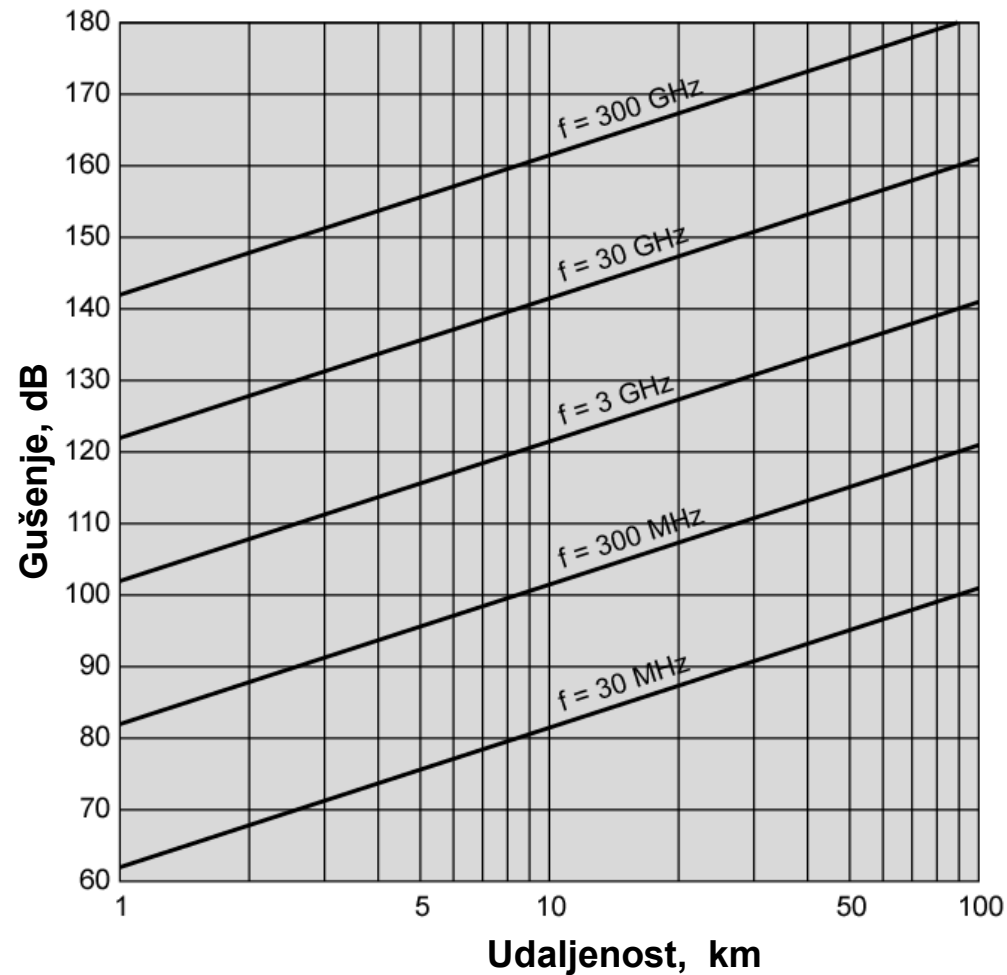
$$L = 10 \log (4\pi \cdot 30\,000 / 10)^2 = 91,52 \text{ dB}$$

- za signal frekvencije 30 MHz na udaljenosti 60 km gubici su:

$$L = 10 \log (4\pi \cdot 60\,000 / 10)^2 = 97,52 \text{ dB}$$

Radijski prijenos

- gubici u slobodnom prostoru
- im je ve a frekv. ve e je gušenje, jednako kao i udaljenost (raste s udaljenoš u)



$$L = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2, \text{ dB}$$

Radijski prijenos

- smetnje zbog višestaznog širenja vala
 - smetnje izazivaju refleksije signala zbog koje više kopija istog signala dolazi do mjesta prijama različitim stazama (višestazno širenje ili višestruko prostiranje) izazivajući smetnje u prijamu (signal se odbije od prepreke, dođe na cilj s zakašnjenjem i smeta originalnom)
- u području radijskih frekvencija javlja se problem smetnji među signalima tako da je dodjela i uporaba frekvencija strogo planirana i nadzirana (jer se razne frekv. koriste za razne potrebe)

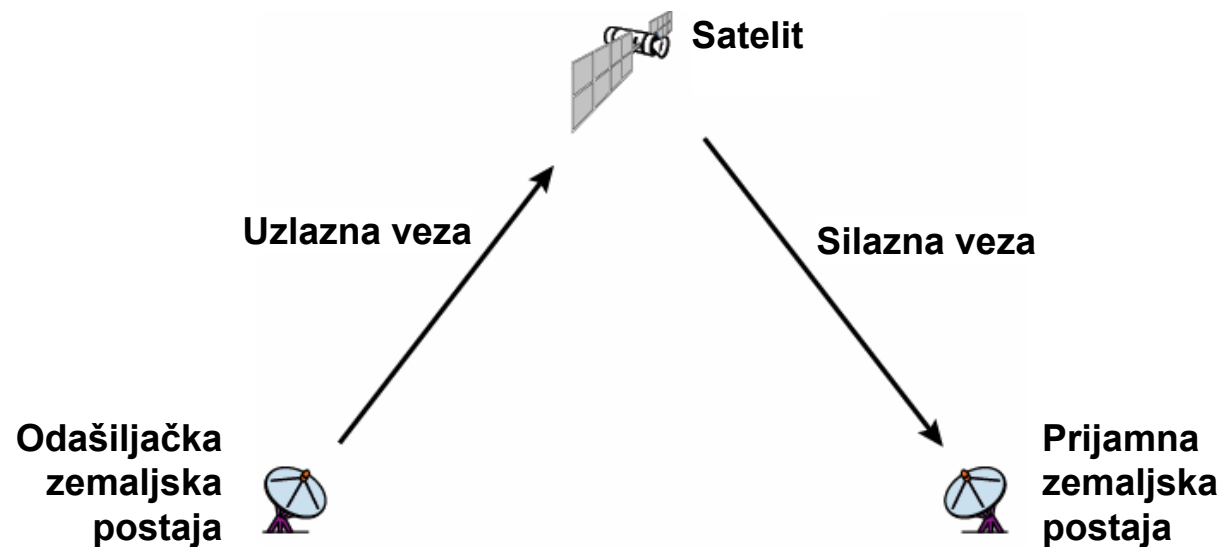
Radijski prijenos

- zemaljske mikrovalne veze
 - ~~frekvencijsko područje je 2 GHz – 40 GHz~~ visoke frekvencije...
 - odašiljačka i prijamna antena su fiksno usmjerene jedna prema drugoj uzduž linije optičke vidljivosti
 - ~~rabe se parabolične antene promjera do oko 3m i širine snopa oko 1°~~
 - primljeni signal na određenoj lokaciji se može dalje odašiljati do prijamnika na drugoj udaljenoj lokaciji
 - povezivanjem pojedinih veza u sustav radiorelejnih veza može se ostvariti prijenos na vrlo velike udaljenosti



Radijski prijenos

- satelitske usmjerene veze
 - komunikacijski satelit je radiorelejna postaja koja prima signal od jedne zemaljske postaje i odašilje ga prema drugoj zemaljskoj postaji
 - zbog duljine uzlazne i silazne veze kašnjenje signala je značajno i ovisi o visini na kojoj se nalazi satelit



Radijski prijenos

ne pamtit detalje! redom od GEO do LEO pada kašnjenje i visina, no poveća se potrební broj satelita

- sateliti
 - GEO (*Geostationary*)
 - smješteni su u geostacionarnoj orbiti na visini 35 784 km
 - pojedini satelit stalno pokriva određeno područje na površini Zemlje
 - kako bi se izbjegle smetnje sateliti ne smiju biti preblizu jedan drugom što ograničava mogući broj satelita u geostacionarnoj orbiti
 - za globalno pokrivanje potrebna su 3 satelita
 - zbog dužine uzlazne i silazne veze kašnjenje signala iznosi oko 270 ms
 - MEO (*Medium-Earth Orbit*)
 - smješteni su na visini 2 000 – 5 000 km iznad površine Zemlje
 - područje pokrivanja satelita na površini Zemlje se mijenja
 - za globalno pokrivanje potrebno je 10 satelita
 - zbog dužine uzlazne i silazne veze kašnjenje signala iznosi 35 – 85 ms
 - LEO (*Low-Earth Orbit*)
 - smješteni su na visini manjoj od 2 000 km iznad površine Zemlje
 - za globalno pokrivanje potrebno je 50 satelita
 - kašnjenje signala iznosi 1 – 7 ms

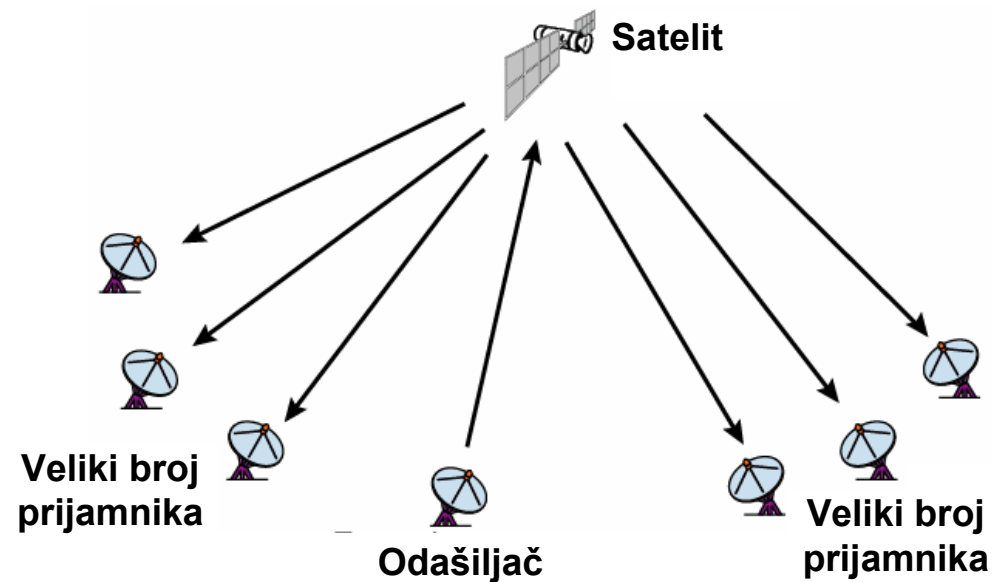
Radijski prijenos

- uzlazna veza prema satelitu (*uplink*) i silazna veza od satelita (*downlink*) rabe različite frekvencijske pojaseve za prijenos signala
- pojedini satelit može podržavati veći broj veza u različitim frekvencijskim pojasevima, a dio opreme satelita za svaku pojedinu vezu naziva se transponder
- za satelitske usmjerene veze najčešće se rabi
 - C - pojas
 - 5,925 – 6,425 GHz za uzlaznu vezu
 - 4,2 – 4,7 GHz za silaznu vezu
 - Ka - pojas
 - 27,5 – 30,5 GHz za uzlaznu vezu
 - 17,7 – 21,7 GHz za silaznu vezu

nevažno

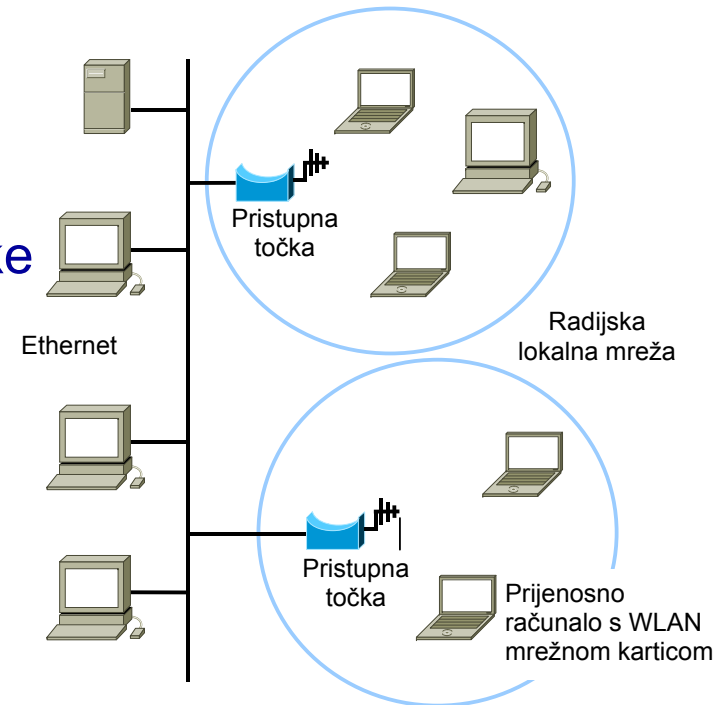
Radijski prijenos

- satelitska radiodifuzija radijskih i televizijskih programa
 - Ku - pojas
 - 14,0 – 14,5 GHz za uzlaznu vezu
 - 11,7 – 12,2 GHz za silaznu vezu



Radijski prijenos

- radijske lokalne mreže (WLAN, *Wireless Local Area Network*)
 - kombiniraju radijski pristup mreži i mobilno računarstvo, omogućavajući prijenos podataka visokim brzinama na kratke udaljenosti
 - najčešće rabe nelicencirane frekvencijske pojaseve radijskog spektra namijenjene industriji, znanosti i medicini (ISM, *Industrial, Scientific and Medical Applications*)
 - za rad WLAN mreža najčešće se rabi ISM pojas oko 2,4 GHz (2400–2483,5 MHz)



Radijski prijenos

- zemaljska radiodifuzija radijskih i televizijskih programa
 - za odašiljanje TV signala mrežom zemaljskih odašiljača (radijska služba radiodifuzije televizijskog signala) rabe se četiri frekvencijska pojasa koja se označavaju kao
 - ~~VHF I (Very High Frequency): 47 – 68 MHz~~
 - ~~VHF III: 174 – 230 MHz~~
 - ~~UHF IV (Ultra High Frequency): 470 – 582 MHz~~
 - ~~UHF V: 582 – 862 MHz~~
 - ~~u pojasu VHF širina kanala je 7 MHz, a u pojasu UHF širina je 8 MHz~~
 - za FM radiodifuziju analognih radijskih programa rabi se frekvencijski pojas VHF II: 87,5 – 108,0 MHz
 - širina kanala je 300 kHz
 - radiodifuzija analognih radijskih programa obavlja se i na nižim frekvencijama: dugi val (nema u HR), srednji val i kratki val

~~Finito!~~

Elektroničke komunikacije