

Digitalni sistemi prenosa

Profesor dr Miroslav Lutovac

Telekomunikacioni servisi i tehnologije

- Status predmeta: **Izborni**
- Broj ESPB: **6**
- Uslov: **Poznavanje osnova telekomunikacija i digitalnih komunikacija**
- Cilj predmeta:

Sticanje znanja o sistemima prenosa po bakarnim vodovima, optičkim vlaknima i radio relejne veze koji su najviše zastupljeni u mrežama mobilne i fiksne telefonije kao i funkcionalnim mrežama.

Upoznavanje sa procesima izrade tehničke dokumentacije, izgradnje prenosnih sistema, puštanja u rad, tehničke kontrole i održavanja

Telekomunikacioni servisi i tehnologije

- Ishod predmeta:
 - Osposobljavanje za rad na izvođenju radova izgradnje prenosnih sistema i eksploataciji prenosnih sistema

Sadržaj predmeta, Teorijska nastava

- Uvod u digitalne sisteme prenosa.
- Step en greške u prenosu BER-bit error ratio. Oprema za merenje kvaliteta prenosa.
- Interfejsi na sistemima prenosa: električni G.703, optički STM-N i Ethernet. Konektori, kablovi i digitalni razdelnici.
- Prenos po bakarnim kablovima. Osnovne karakteristike kablova. Tehnologije prenosa u osnovnom opsegu sa linijskim kodovima (HDB3) i sa modulacijom (ADSL i HDSL).
- Prenos po optičkim vlaknima. Karakteristike optičkih vlakana, predajnika i prijemnika i standardi. Proračun veze. Nastavljanje optičkih vlakana. Instalacija.
- Radio relejne veze. Osnovni parametri. Margina za fading. Raspoloživost i kvalitet veze. Proračun veze. Geografski informacioni sistemi i njihova primena.
- Antenski sistemi i antenski stubovi. Instalacija opreme. Frekvencijski plan i interferencija.) ...

Sadržaj predmeta, Teorijska nastava

- ...
- Multipleksterska oprema.
Osnove plesiosinhrone i sinhrono digitalne hijerarhije PDH i SDH.
- Osnovi Ethernet tehnologije.
Mapiranje Ethernet pritoka u PDH i SDH.
Inverzno multipleksiranje.
- Sistemi danjinskog nadzora.
SNMP tehnologija.
Napajanje i uzemljenje telekomunikacione opreme.
- Standardizacija i kompatibilnost opreme.
Protokol puštanja sistema u rad.
- Tehnička kontrola sistema prenosa.
- Održavanje telekomunikacione opreme.
Osnovna instrumentacija

Sadržaj predmeta, Praktična nastava

- Pseudoslučajne sekvence i analiza kvaliteta digitalnog prenosa
- Sinhronizacija rama i stepen greške u prenosu rama
- Analiza profila terena
- Proračun kvaliteta i neraspoloživosti radio relejne veze
- Proračun interferencije u radio-relejnem čvorištu
- Sadržaj tehničke dokumentacije: tehničko rešenje, elaborat za dobijanje dozvola za radio frekvencije, Izgled dozvole za radio stanicu.

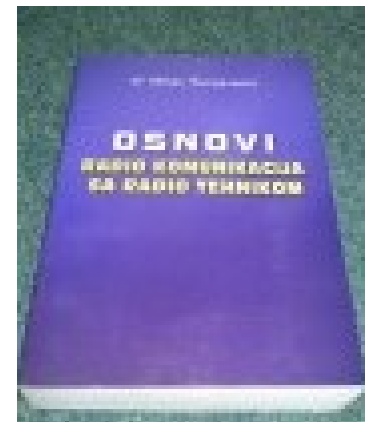
Literatura

- Šunjevarić Milan, Osnovi radio komunikacija sa radio tehnikom, Studio Line, Beograd, 2004.
- Held G. Deployng Optical Networking Components, McGraw Hill Telecom, 2001.
- www.ratel.org.rs
- www.itu.int

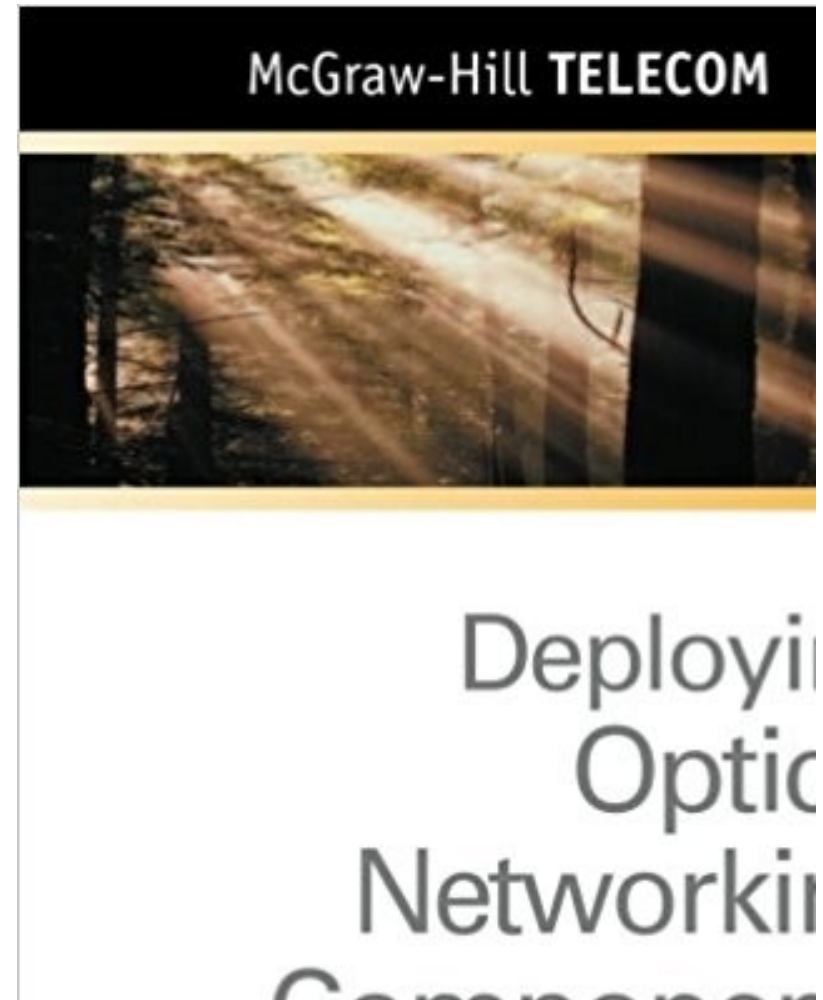
Metode izvođenja nastave

- ✓ Predavanja, vežbe, konsultacije, pismena izrada
- ✓ Ocena znanja (maksimalni broj poena 100)
- ✓ praktična nastava 20
- ✓ seminarski rad 20
- ✓ kolokvijum 10
- ✓ Pismeni (usmeni) ispit 50

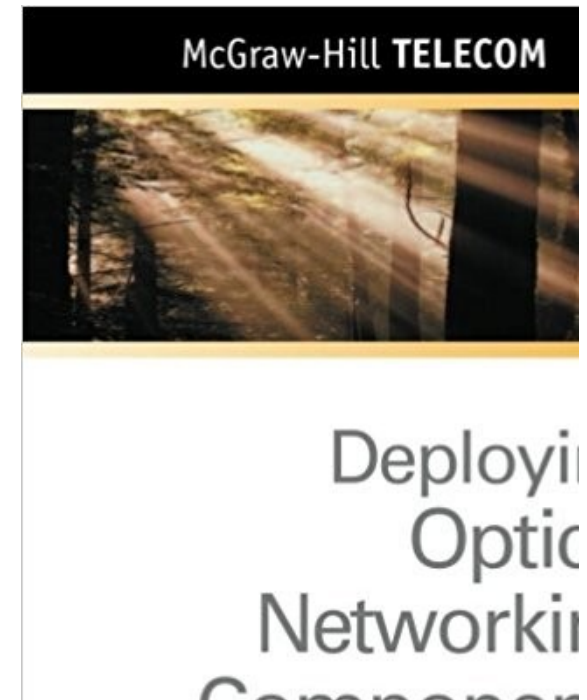
Šunjevarić Milan, Osnovi
radio komunikacija sa radio
tehnikom,
Studio Line, Beograd, 2004.



- Held G.
Deployng Optical
Networking Components,
McGraw Hill Telecom,
2001.



- Data transmission is migrating from copper to fiber optic conductors. Network managers know they have to react fast but don't know how to proceed. Even the most sophisticated are unfamiliar with the fiber components their systems will be handling over the next 18 months, and there's almost no field experience to turn to. Held explains, in the language network people are used to hearing, how fiber-based components will work in the environment you've already got, and how they will alter the environment for better or worse.



- Digitalni sistemi prenosa
- Lekcija 1:
- Digitalni signali - postupak odabiranja.

- Digitalni sistemi prenosa
- Lekcija 2:
- Digitalni signali - postupak kvantizacije

- Digitalni sistemi prenosa
- Lekcija 3:
- Kodovanje izvora.

- Digitalni sistemi prenosa
- Lekcija 4:
- Prenos u digitalnim sistemima:
od signala do paketa

- Digitalni sistemi prenosa
- Lekcija 5:
- BER binarnog kanala.
Budžet linka komunikacionog sistema

- Digitalni sistemi prenosa
- Lekcija 6 i Lekcija 7:
Data Networks - Mreže podataka. Ethernet.

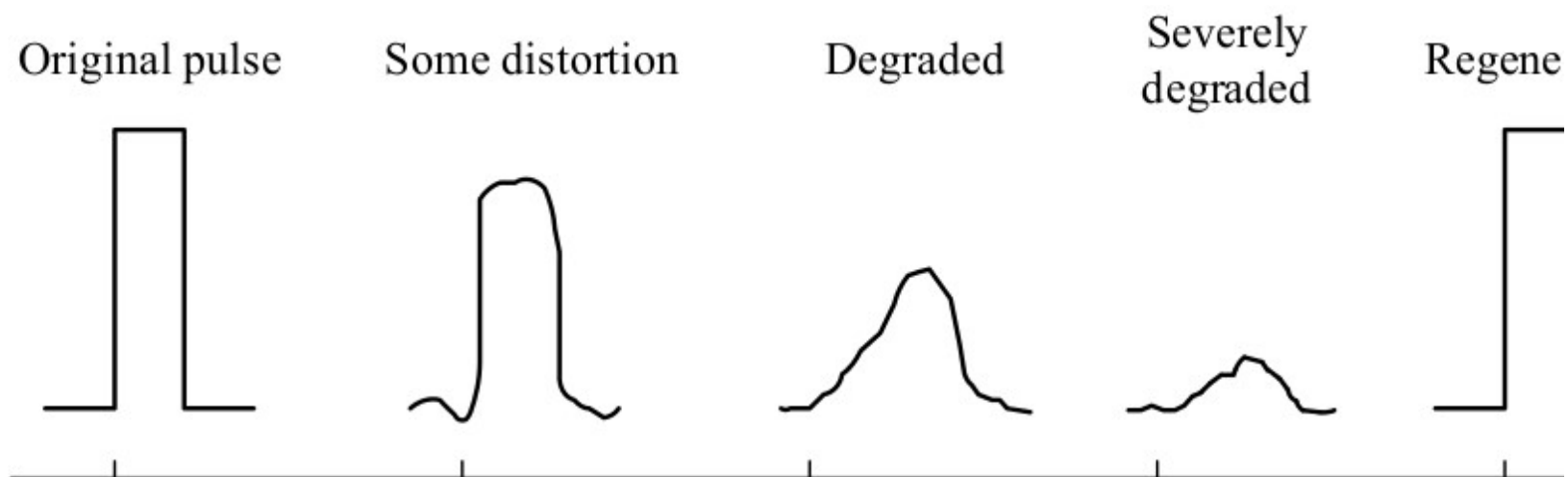
- Digitalni sistemi prenosa
- Lekcija 8-10:
- Optički sistemi prenosa.

- Digitalni sistemi prenosa
- Lekcija 11-12:
- Radio Mobile
- Radio Propagation and Radio Coverage Computer Simulation Program

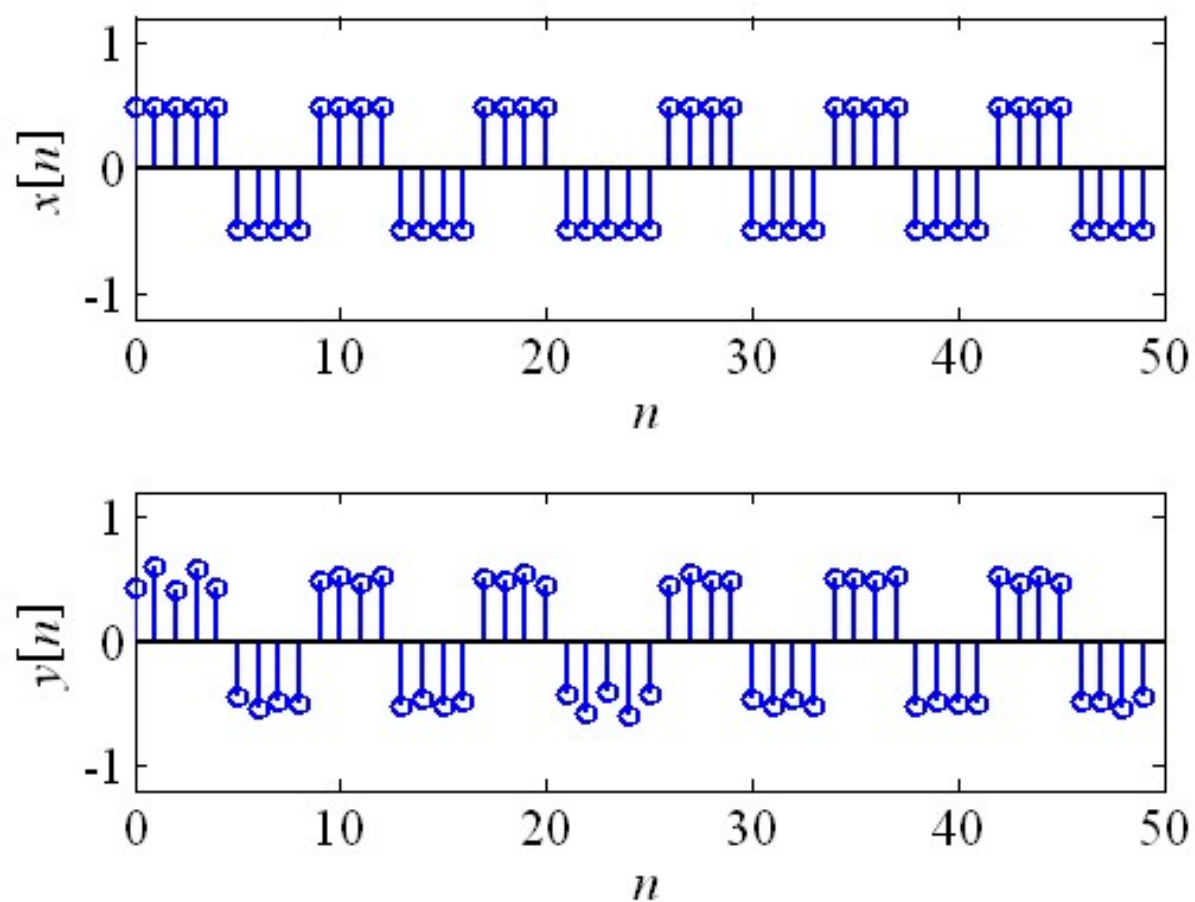
Digitalni signali - postupak odabiranja

- U slučaju digitalnih komunikacija važi da:
 - signal koji se prenosi ima konačan broj talasnih oblika,
 - izobličeni signal se može regenerisati u svoj početni oblik, uklanjajući šum u potpunosti.
- U slučaju analognih komunikacija važi da:
 - signal koji se prenosi je analogni (kontinualan vremenski signal) koji ima beskonačan broj oblika,
 - izobličeni signal se ne može u potpunosti regenerisati

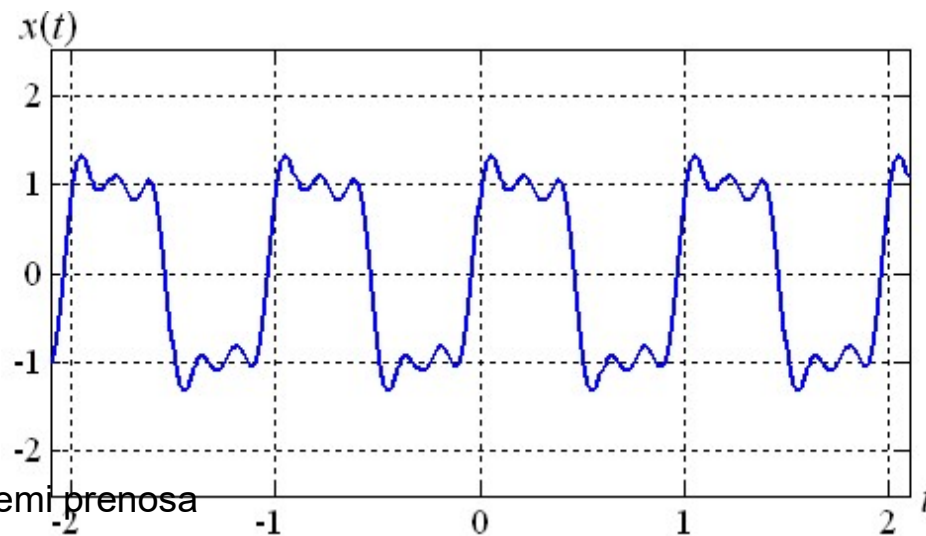
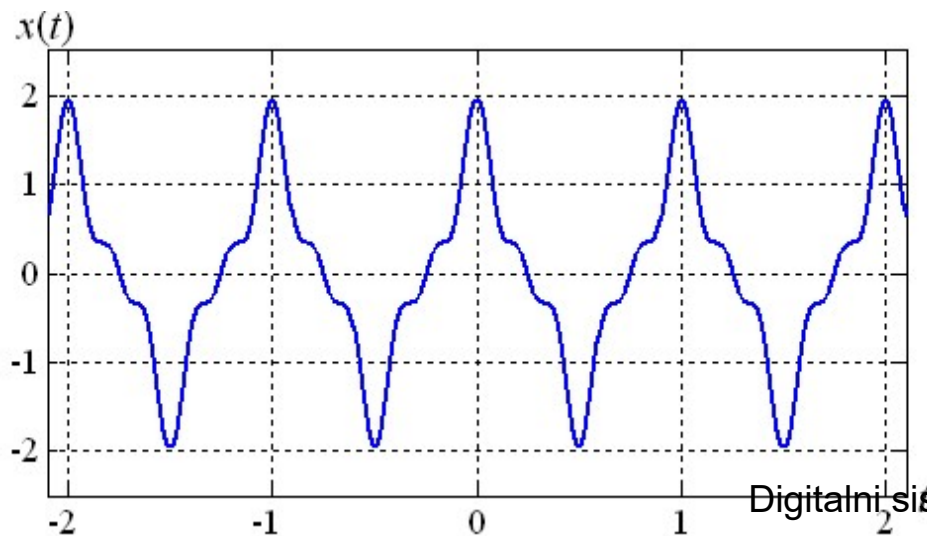
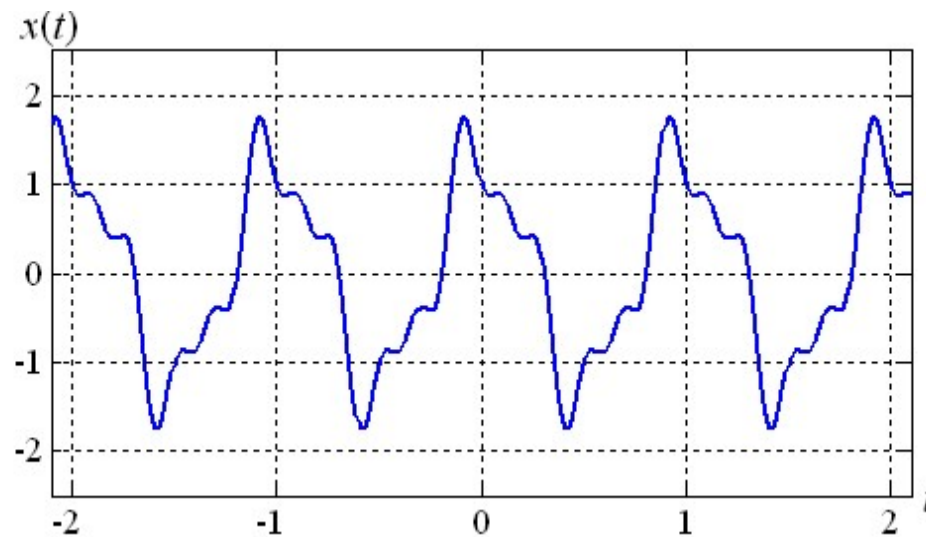
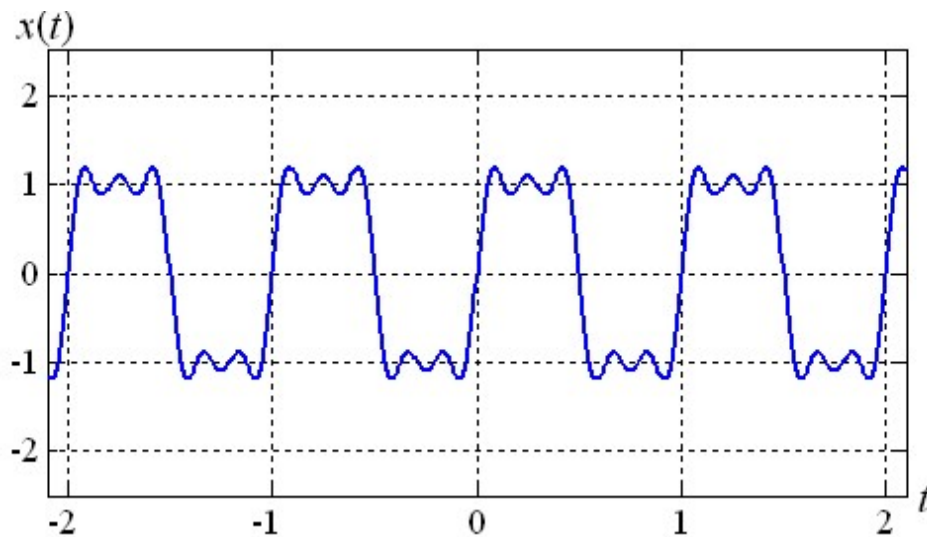
Degradacija i regeneracija digitalnog signala



Uticaj ograničenja spektra



Uticaj ograničenja spektra



Digitalni sistemi prenosa

Prednosti digitalnih komunikacija u odnosu na analogne:

- digitalni signali se lakše regenerišu,
- digitalna kola su manje podložna distorziji i interferenciji,
- digitalna kola su pouzdanija i imaju manju cenu od analognih,
- fleksibilnija implementacija digitalnog hardvera,
- digitalni signali mogu da koriste tehnike razvijene u okviru Digital Signal Processing (DSP).

Mane digitalnih komunikacija u odnosu na analogne:

- velika količina procesiranja signala,
- neophodna sinhronizacija,
- potreban veći propusni opseg za prenos,
- nema postepene degradacije signala.

ADC:

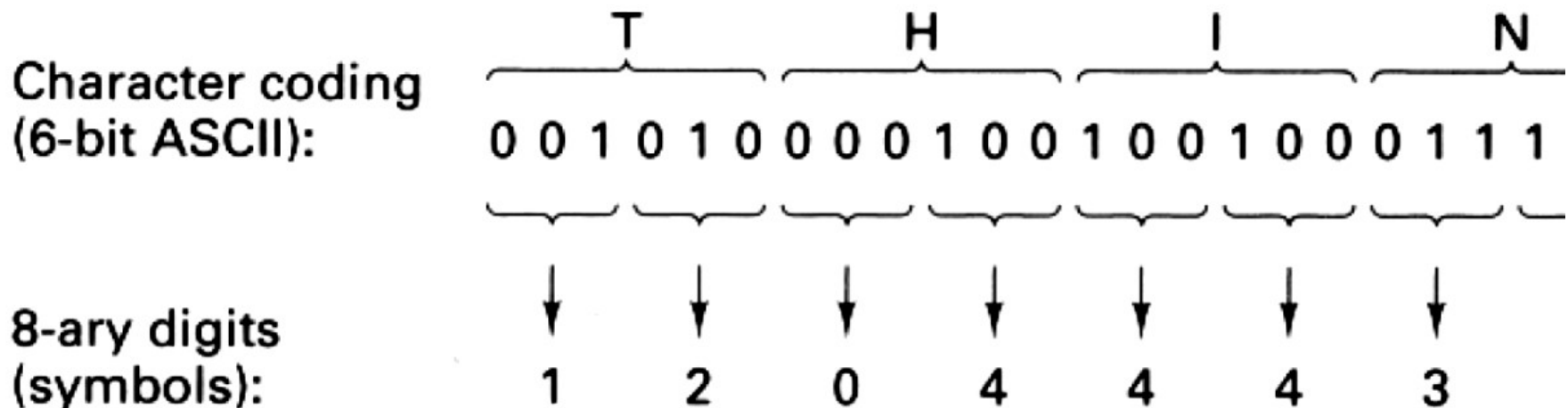
- Iako je veliko broj poruka u svojoj osnovi već digitalna, dva najčešća tipa koja se prenose - audio i video su u svojoj osnovu analogni, odnosno proizvode kontinualan vremenski signal
- Da bi bilo moguće prenošenje analognih signala kroz digitalne sisteme potrebno je obaviti proces digitalizacije.
- Analogni signali se konvertuju u digitalne koristeći tri odvojena procesa:
 - odabiranje (sampling)
 - kvantizacija (quantization)
 - kodovanje (encoding)

Standardi kodovanja

- U slučaju podataka koji se već nalaze u digitalnom formatu, postupak je skraćen.
- Za tekstualne podatke obavlja se samo postupak kodovanja, transformacijom znakova u bite koristeći odgovarajući koder
 - primer koda je ASCII kod - American Standard Code for Information Interchange
- Noviji standardi kodovanja tekstualnih znakova u svojoj osnovi imaju ASCII
- Najčešće korišćeni standard za kodovanje tekstualnih i znakovnih podataka je Unicode
 - standardi kodovanja su UTF-8, UTF-16 i UTF-32.

Kodovanje reči: THINK korišćenjem 6-bitnog ASCII koda

Message (text): "THINK"



predstavljanje bita pomoću talasnih oblika

- Bez obzira da li je početni signal bio analogni ili digitalni, krajnji korak je predstavljanje bita pomoću talasnih oblika (impulsa) prilikom prenosa u osnovnom opsegu kroz kanal za prenos.

Odabiranje signala

- Proces transformacija analognog signala u formu koja je kompatibilna sa digitalnim komunikacionim sistemom počinje sa odabiranjem talasnog da bi se formirao impulsni amplitudski modulirani talasni oblik (Pulse Amplitude Modulated, PAM)
- Pomoću impulsne amplitudske modulacije analogni signal se konvertuje u impulse čija amplituda odgovara amplitudi analognog signala
- Kako je talasni oblik analognog signala konvertovan u impulse, propusni opseg (Bandwidth, BW) je širi od propusnog opsega originalnog analognog signala

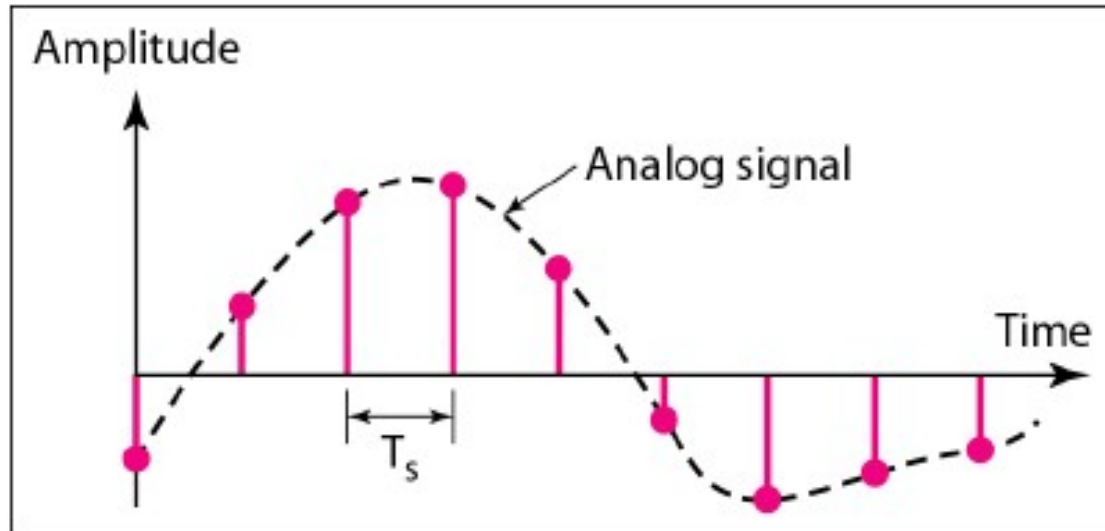
Klasifikacija PAM

- ✓ PAM koji koristi prirodno odabiranje
(eng. *natural sampling*)
- ✓ PAM koji koristi at-top sampling
- Odabiranje analognog signala se obavlja sa periodom T_s , koja se naziva perioda odabiranja
- Frekvencija odabiranja se označava $f_s = 1 / T_s$,
eng. *sampling rate, sampling frequency*

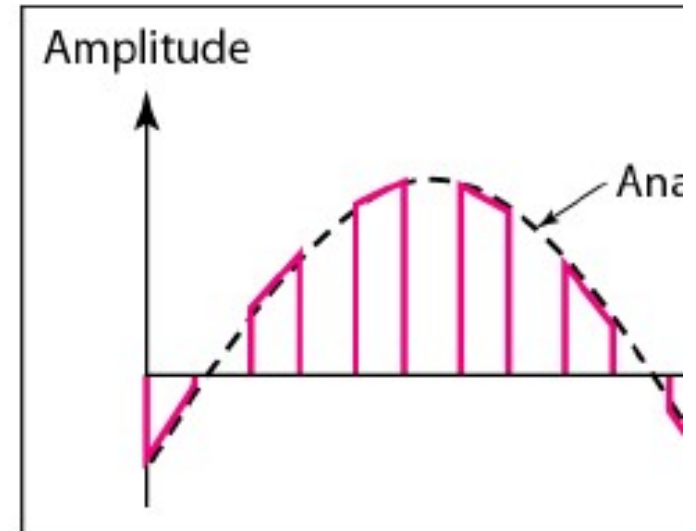
Klasifikacija metoda odabiranja

- impulsno (idealno) odabiranje - impuls na svakoj periodi odabiranja, dobija se množenjem originalnog signala sa povorkom jediničnih Dirakovih impulsa, prirodno odabiranje - impuls kratkog trajanja sa promenljivom amplitudom, dobija se množenjem originalnog signala sa povorkom jediničnih pravougaonih impulsa kratkog trajanja
- flat-top odabiranje - poput prirodnog odabiranja, ali sa jednom vrednošću amplitude impulsa (princip sample and hold)

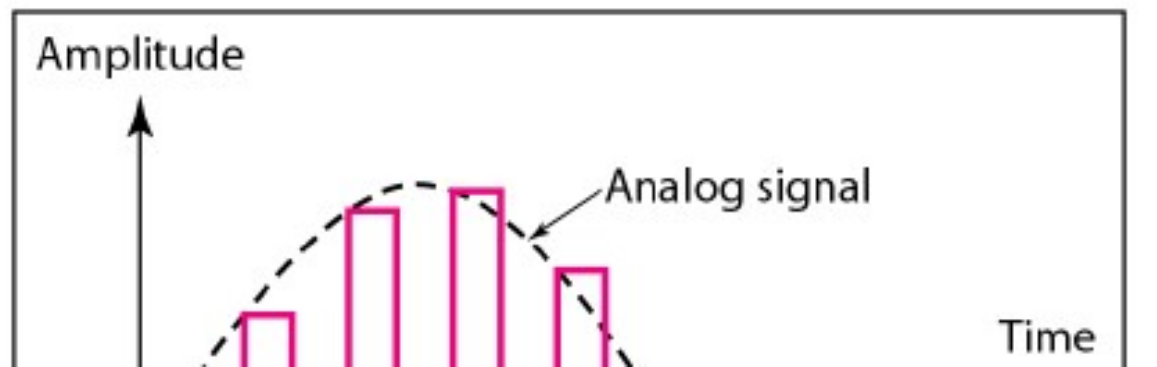
Idealno, Flat - Top odabiranje i prirodno odabiranje



a. Ideal sampling

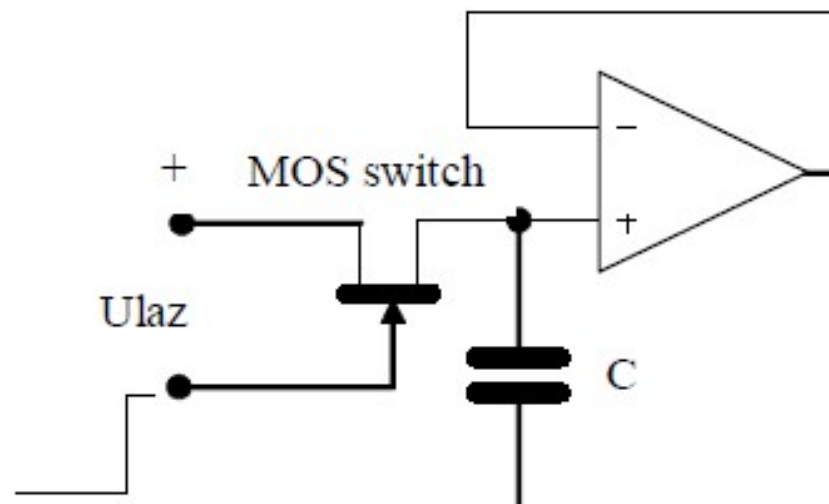


b. Natural sampling



Digitalni sistemi prenosa

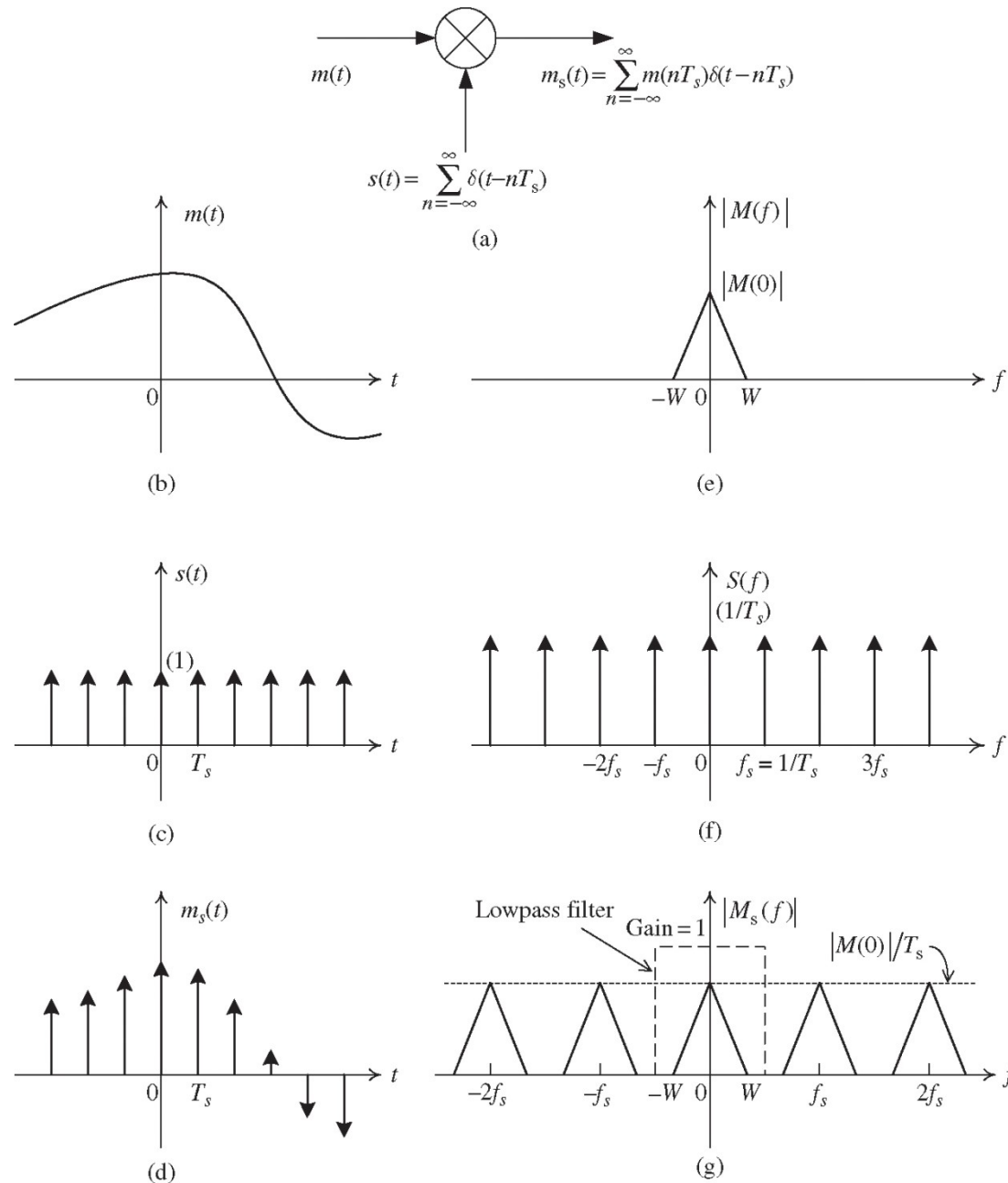
Šema kola za odabiranje i zadržku



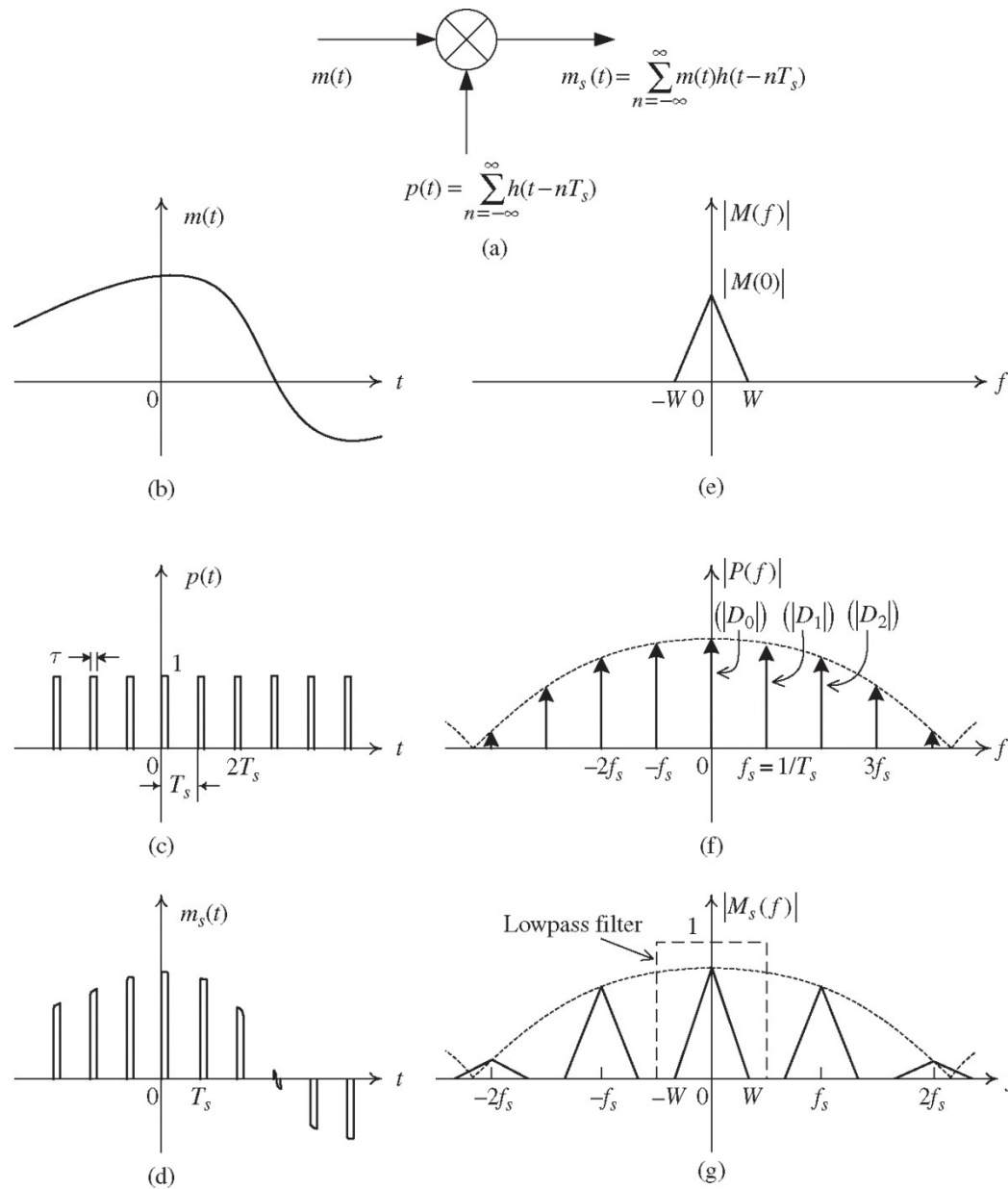
Najčešće korišćeni princip odabiranja

- Najčešće korišćeni princip odabiranja u telekomunikacijama je flat-top odabiranje
- Ovaj princip odabiranja je najjednostavniji za praktičnu realizaciju potrebnih kola, ali dovodi do izobličenje signala koje može da se koriguje korišćenjem niskofrekvencijskih filtara i filtra za ekvalizaciju

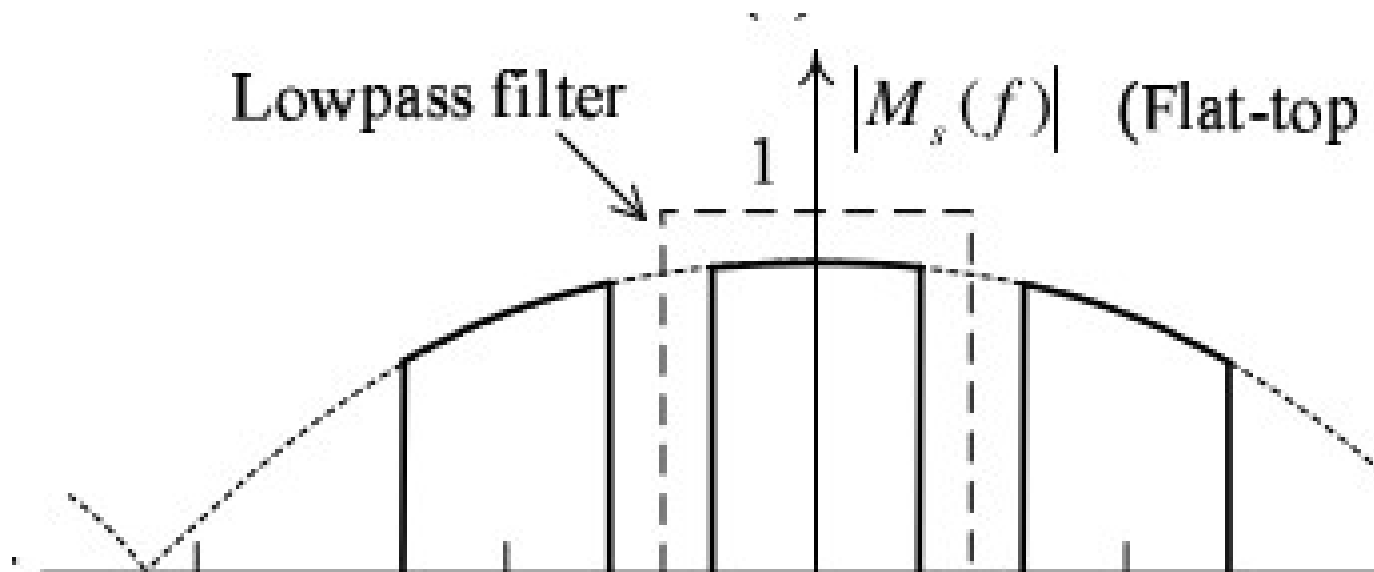
Ilustracija idealnog odabiranja - vremenski i frekvencijski domen



Ilustracija prirodnog odabiranja - vremenski i frekvencijski domen



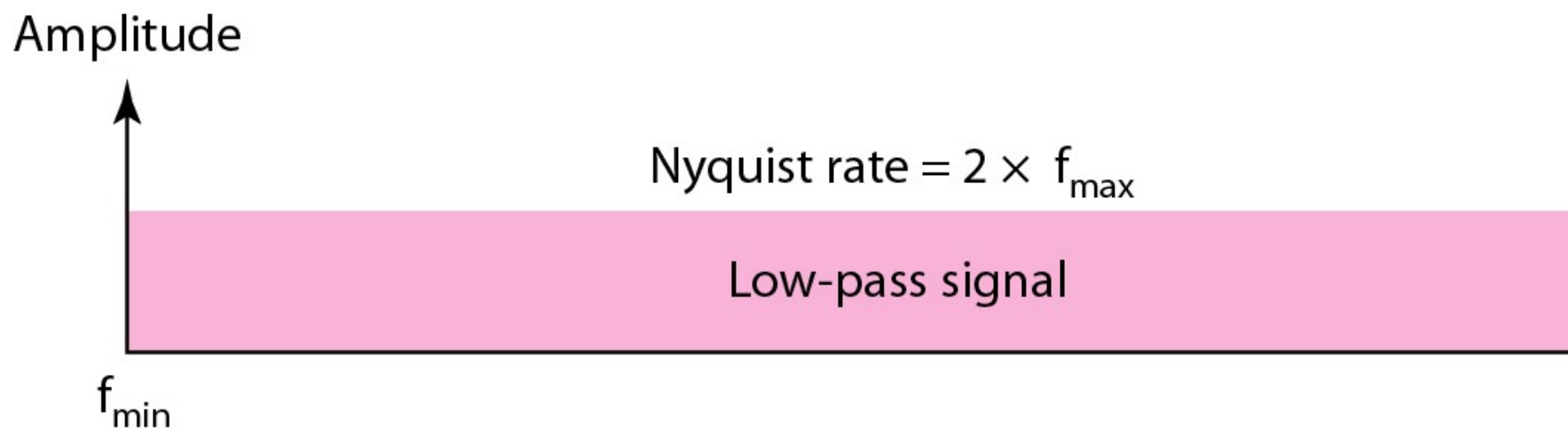
Frekvencijski domen signala koji je flat-top odabiran



Teorema o odabiranju

- Odabiranje analognog signala utiče na njegov frekvencijski sadržaj
- Teorema o odabiranju kaže da signal sa ograničenim frekvencijskim opsegom i konačnom energijom i koji nema frekvencijsku komponentu veću od $f_{\max}$ može biti uspešno odabiran sa frekvencijom odbiraka većom ili jednakom od dvostruke vrednosti, $f_{\max}$, $f_s \geq 2 f_{\max}$.
- Frekvencija odabiranja f_s se naziva i Nikvistova brzina (*Nyquist Rate*), a perioda odabiranja $f_s = 1/ T_s$ i Nikvistov interval (*Nyquist interval*)

Frekvencija odabiranja f_s - Nikvistova brzina (Nyquist Rate).



Praktični primeri frekvencije odabiranja

- govor u telefoniji - govor sa ograničenom frekvencijom od oko 4 kHz se u telefonskim sistemima odabira sa frekvencijom odabiranja $f_s = 2 \times 4 \text{ kHz} = 8 \text{ kHz} = 8000 \text{ odbiraka/s}$,
- audio - najveća frekvencija koju ljudsko uvo čuje je oko 15 kHz, što znači da je najniža frekvencija odabiranja audio signala $f_s = 2 \times 15 \text{ kHz} = 30 \text{ kHz} = 30000 \text{ odbiraka/s}$, frekvencija odabiranja za CD je 44100 odbiraka/s

Definicija signala

- **Signal** se može definisati kao funkcija jedne ili više nezavisno promenljivih (matematički)
- **Signal prenosi informaciju**
 - Govorni signal je funkcija jedne nezavisne promenljive – vremena
 - Slika je funkcija dve prostorne koordinate
 - Podatak na magnetnoj traci – funkcija pozicije od početka trake ili vremena od početka reprodukcije

Signala kao funkcija vremena

- **Signal** se posmatraju kao **funkcije vremena** čak i u slučajevima kada stvarna nezavisno promenljiva nije vreme
 - Sadržaj informacije koju signal nosi zapisan je u promenama funkcije ili nekog od njenih parametara, pa se signal može definisati **kao funkcija vremena koja nosi informaciju o nekoj veličini od interesa**

Pobuda i odziv

- Signal koji prouzrokuje da se nešto dogodi, na primer da se generiše novi signal, naziva se **eksitacija** ili **pobudni signal (excitation)**
- Signal koji se dobija kao posledica eksitacije naziva se **odziv (response)**

Ulazni i izlazni signal

- Eksitacija se ponekad naziva **ulazni signal (input signal)**
- Odziv je **izlazni signal (output signal)**
- Pojmovi ulaz i izlaz posmatraju kao ulaz u **sistem** koji vrši obradu i izlaz iz sistema nakon obrade
- Sistem je objekat koji je pobuđen ulaznim signalom i proizvodi izlazni signal

Obrada signala

- Postupak pretvaranja eksitacije u odziv naziva se **procesiranje** ili **obrada signala** (**signal processing**)
- Osnovni razlog za obradu signala jeste da se eliminišu neželjeni signali, umanje postojanje nekorisnih signala i da se izdvoje korisni signali

Razlozi za konverziju signala

- Da bi signal mogao da se obrađuje, signal mora biti u takvom obliku da se može **odrediti vrednost signala**, na primer da može da se izmeri
- Ako signal postoji u nekom obliku, na primer kao promena pritiska vazduha u funkciji vremena, signal se **konvertuje** u drugi oblik, na primer u napon ili u broj, kako bi mogao da se obrađuje

Vrste signala

- **Kontinualni signal** je signal koji postoji u svakom trenutku vremena
- **Amplituda signala** je vrednost signala u nekom trenutku
- **Analogni signal** je kontinualni signal koji ima kontinualnu promenu amplitude
- **Diskretni signal (vremenski diskretni signal)** je signal čije su vrednosti definisane u diskretnim vremenskim trenucima (predstavlja se sekvencom-nizom brojeva $\{x[n]\}$)
- **Digitalni signal** se dobija kada se amplituda diskretnog signala diskretizuje (kvantizacija)

Talasni oblik signala

- Signal kao funkcija nezavisno promenljive (matematička funkcija), naziva **talas (waveform)**
- Uobičajeno je da se nezavisno promenljiva naziva **vreme (time)**
 - Zbog lakšeg i konzistentnog objašnjavanja, čak i onda kada nezavisno promenljiva nije vreme, već na primer rastojanje, mnogi pojmovi i transformacije se posmatraju kao da je nezavisno promenljiva vreme. Podrazumeva se da signal prenosi informaciju o nekoj pojavi, na primer o osobini ili prirodi pojave.

Odabiranje

- ***Odabiranje*** je postupak kojim se dobijaju odbirci signala (vrednosti amplitude) u određenim trenucima vremena
- ***Uniformno odabiranje*** je odabiranje svakih T jedinica vremena

$$x_k = x(kT) = x(t) \Big|_{t=0, \pm T, \pm 2T, \pm 3T, \dots, K}$$

***Učestanost
odabiranja***

$$F_0 = \frac{1}{T}$$

Digitalni sistemi prenosa

***Perioda ili
vremenski razmak
između dva odabiranja***

Sistem

- **Sistem** je grupa povezanih delova koji združeno deluju
- **Sistem** je određeni set ideja, metoda, ili načina delovanja
- Sistem može da prihvati jedan ili više signala, da izvrši obradu tih signala i da proizvede jedan ili više signala kao izlazne signale

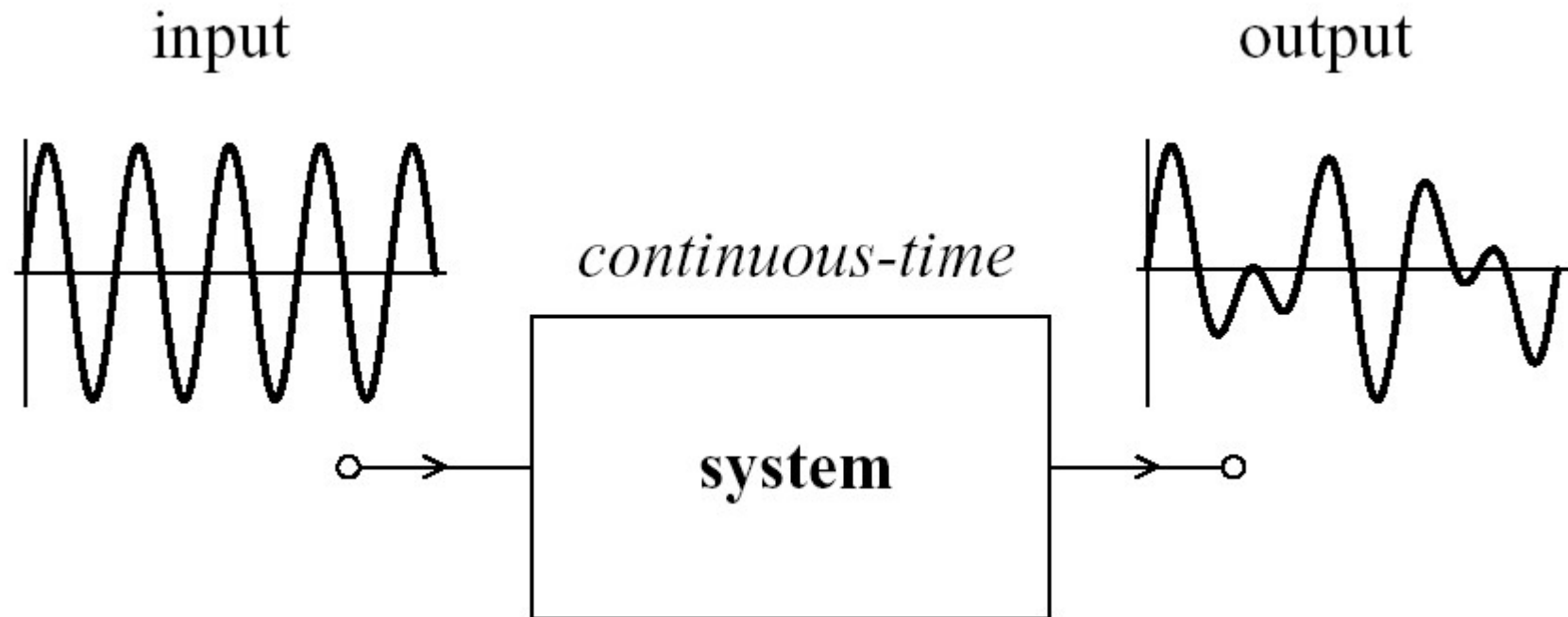
Definicije sistema

- **Sistem kao implementacija** je uređen skup fizičkih komponenti koje su povezane ili u nekoj su relaciji na takav način da deluju kao celina
- **Sistem za obradu signala** je bilo koji proces koji proizvodi transformaciju signala iz jednog oblika u drugi
- **Sistem (matematički)** je preslikavanje ulaznih signala u izlazne signale prema utvrđenim pravilima

Vrste sistema

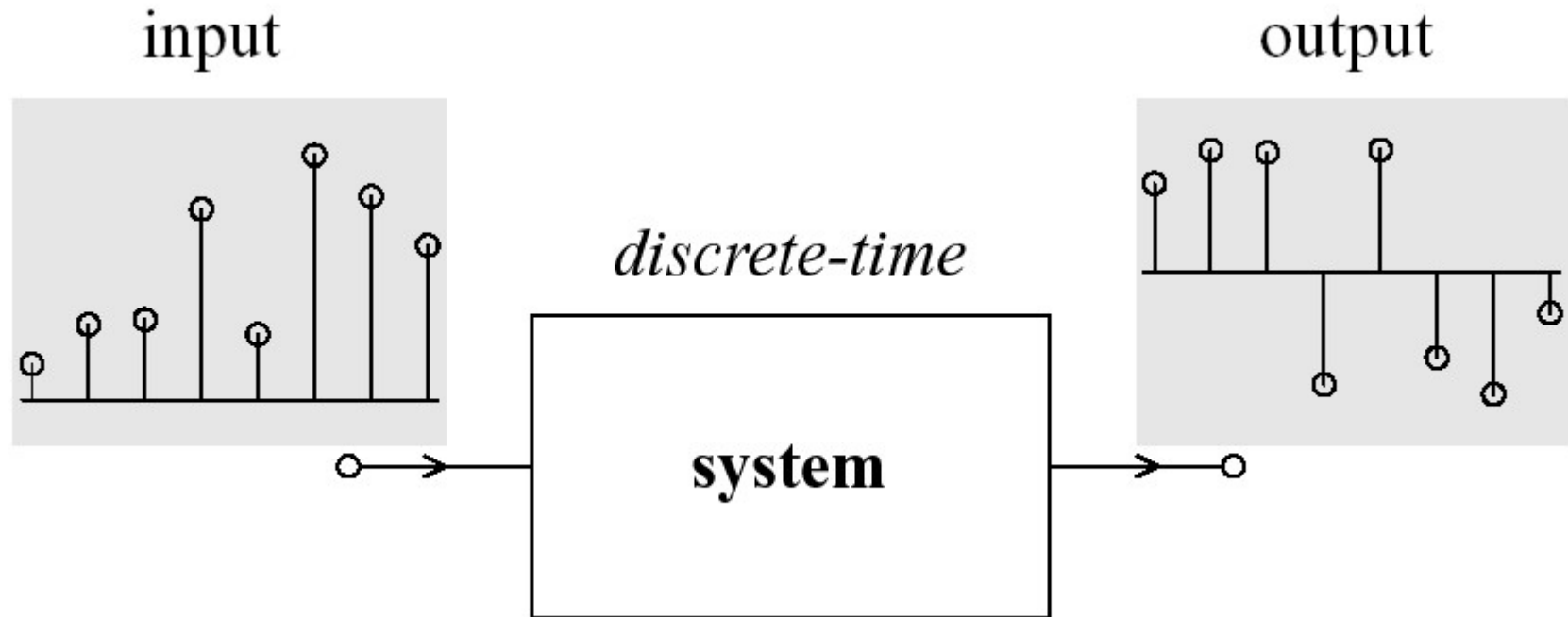
- ***Single-variable system*** (**SISO** system)
ima jedan ulaz i jedan izlaz
- ***Multivariable system*** (**MIMO** system)
ima više ulaza i izlaza
- ***Input-output relationship*** (external description)
su jednačine koje opisuju
relacije između ulaza i izlaza
- ***Black box concept***: znanje o internoj strukturi nije poznato; jedino znanje o sistemu je na osnovu izlaznog signala za poznati ulazni signal
- input - output **port** – mesta opservacije signala

Kontinualni sistem



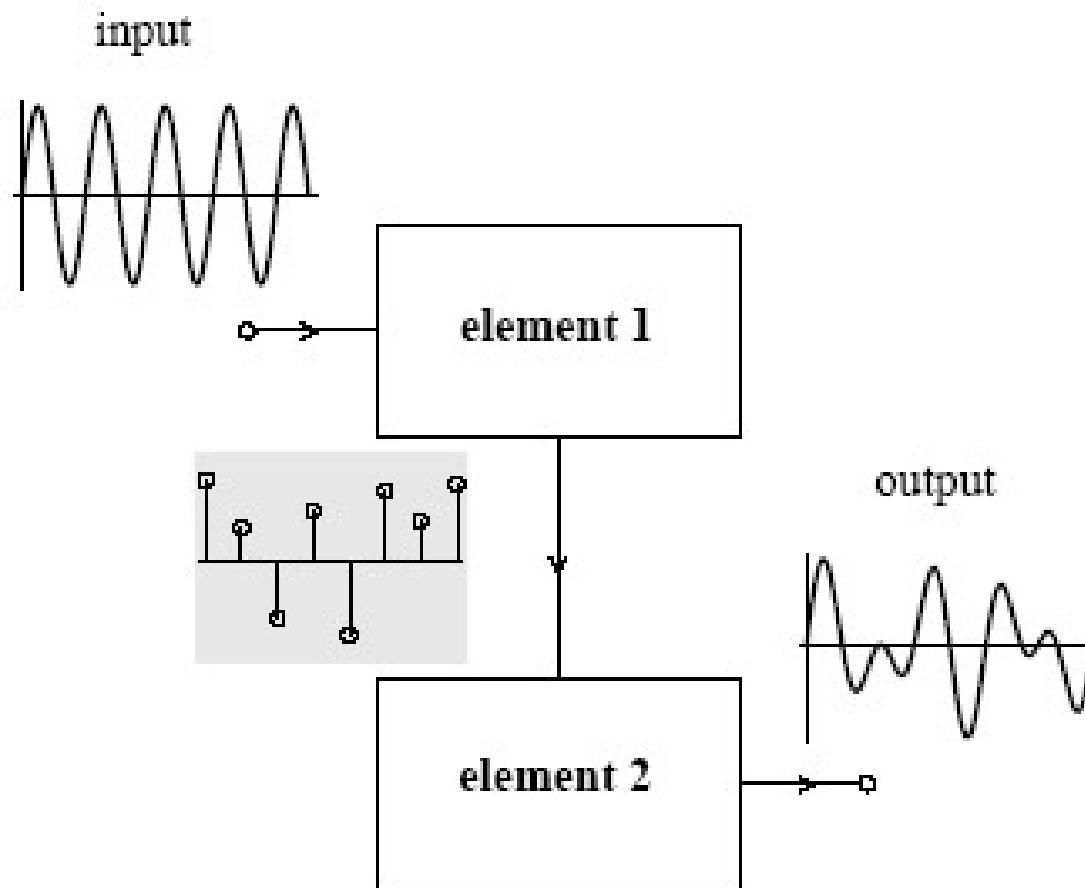
ulazni i izlazni signali su kontinualne funkcije

Diskretni sistem



ima diskretne signale na ulazu i izlazu

Hibridni sistem



može da ima kontinualne i diskretne signale na ulazu i izlazu

Definicija slučajnog signala

- **Deterministički signal** je signal koji je na jedinstven način određen dobro definisanim procesom (može se opisati matematičkim relacijama, tabelama, pravilima)
- **Slučajni signal** je signal čije se vrednosti ne mogu unapred predvideti
- Slučajni signal $\{\xi[n]\}$ se može posmatrati kao jedna moguća realizacija slučajnog procesa opisuje se korišćenjem **statističkih principa**
- **Primena:** govor, muzika, slika, šum, vremenski promenljivi telekomunikacioni kanali, bilo koja informacija koja je funkcija vremena

Osobine slučajnog signala

- **Kumulativna funkcija raspodele** signala $\{\xi[n]\}$ pokazuje sa kojom je verovatnoćom vrednost signala $\xi[n]$ u funkciji indeksa n manja ili jednaka nekoj vrednosti x
- $P(x, n) = \text{Probability}(\xi[n] \leq x)$
- **Funkcija gustine verovatnoće** definiše se kao izvod kumulativne funkcije raspodele

$$p(x, n) = \frac{dP(x, n)}{dx}$$

$$P(x, n) = \int_{-\infty}^x p(u, n) du$$

x i $\xi[n]$ mogu da imaju bilo koju vrednost iz opsega

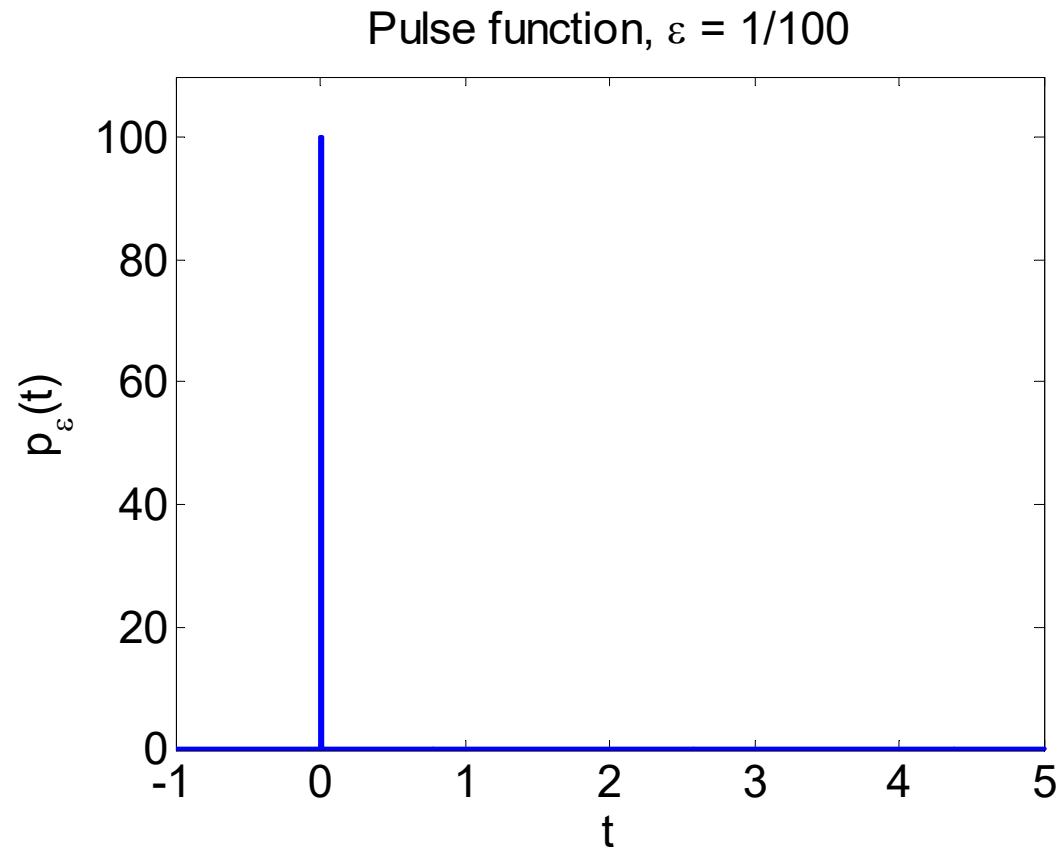
$$-\infty < x < +\infty$$

$$-\infty < \xi[n] < +\infty$$

Pulse signal

Jedinični impulsni signal

$$p_{\varepsilon}(t) = \begin{cases} \frac{1}{\varepsilon}, & 0 < t \leq \varepsilon \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$



Unit impulse signal (Dirac delta)

$$\delta(t) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} p_{\varepsilon}(t)$$

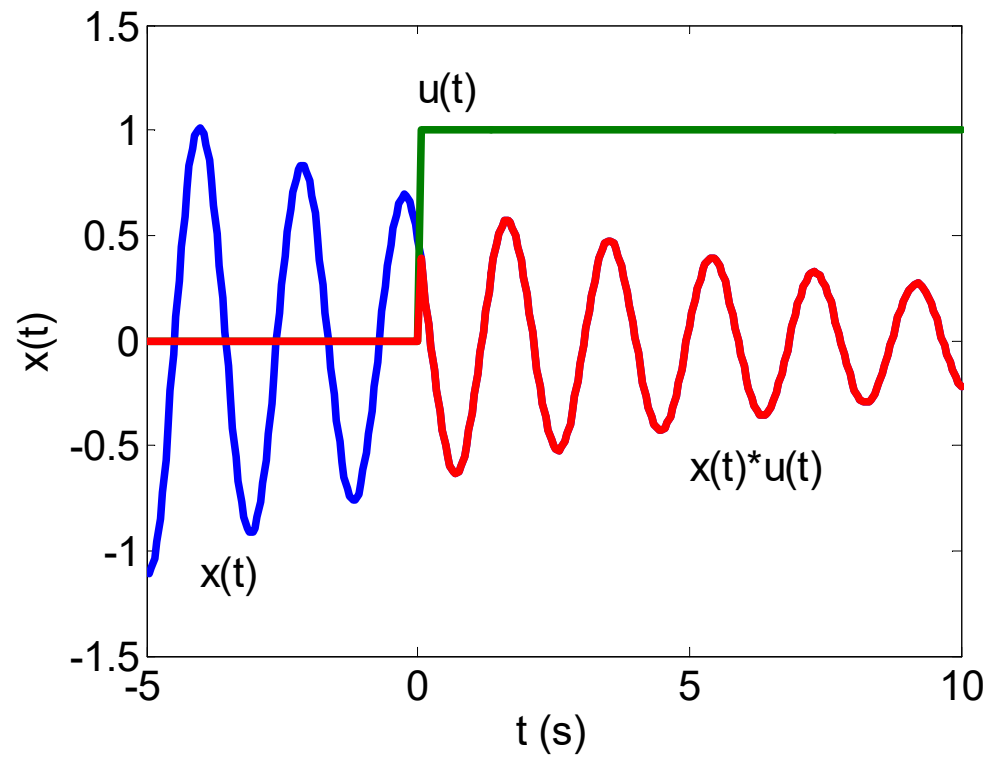
$$\delta(t) = 0, \quad t \neq 0$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$$

Kauzalni signal

- Signal je **kauzalan** ako je jednak 0 za $t < 0$
- Svaki signal pomnožen sa jediničnom odskočnom funkcijom je kauzalan
- Trenutak od kada signal ima vrednost različitu od 0 nazivamo početno vreme (***starting time***) koje je obično 0

Kauzalan signal



Diskretni signal – sekvenca

- Diskretni signal se predstavlja kao niz brojeva (**sequence**) koji je uređen po vremenu nastanka
- U praksi se radi sa sekvencom konačnog trajanja (**finite-length sequences**)
- Sekvence se najčešće prave odabiranjem vrednosti kontinualnog signala
- Predstavlja se sekvencom-nizom brojeva $\{x[n]\}$

Sinusoidalna sekvenca

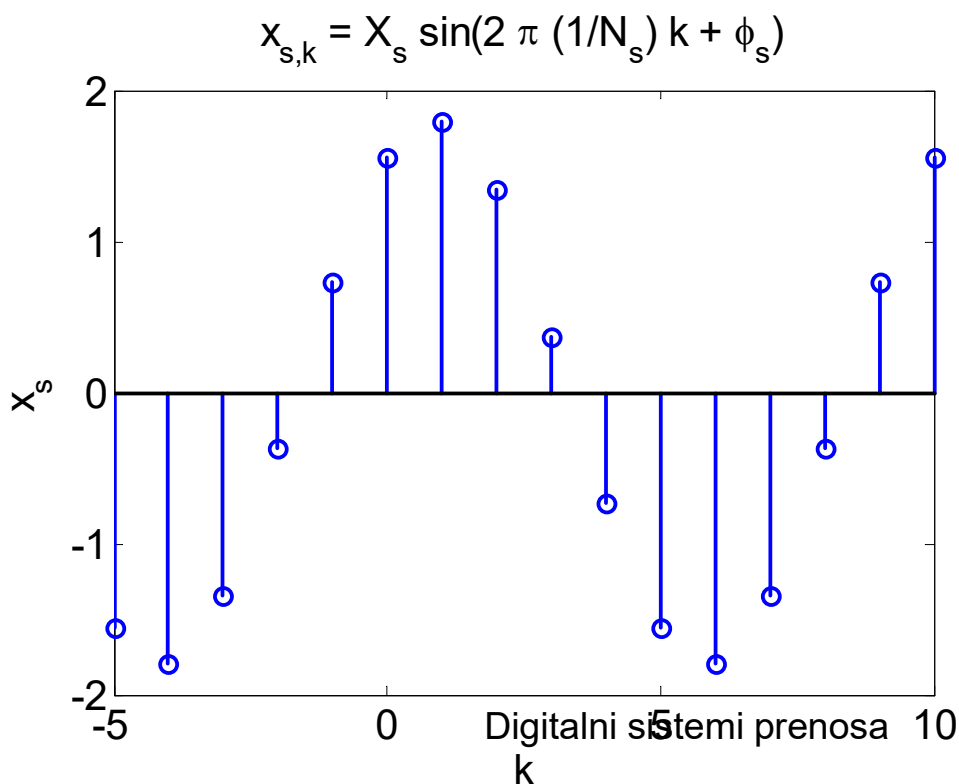
$$x_{s,k} = X_s \sin(2\pi \frac{1}{N_s} k + \phi_s)$$

Amplituda

Faza

indeks

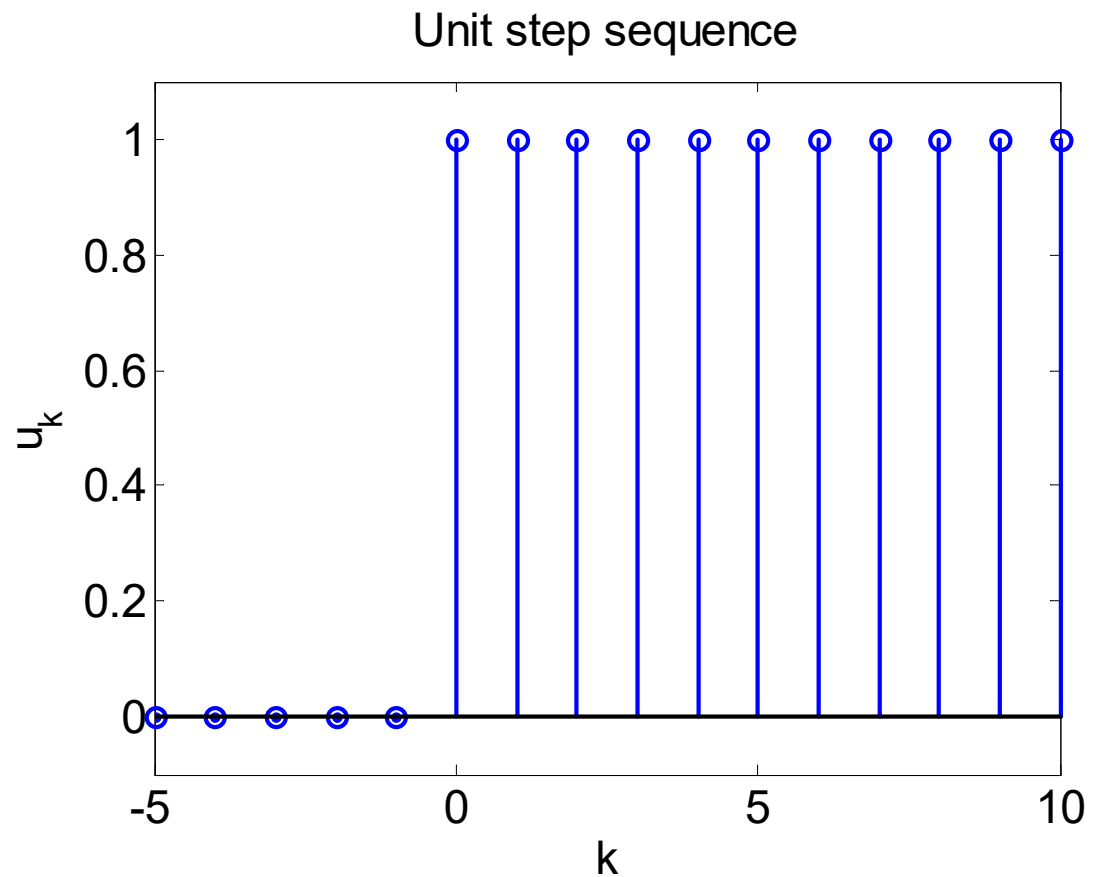
Perioda



Unit step sequence

Jedinična odskočna funkcija

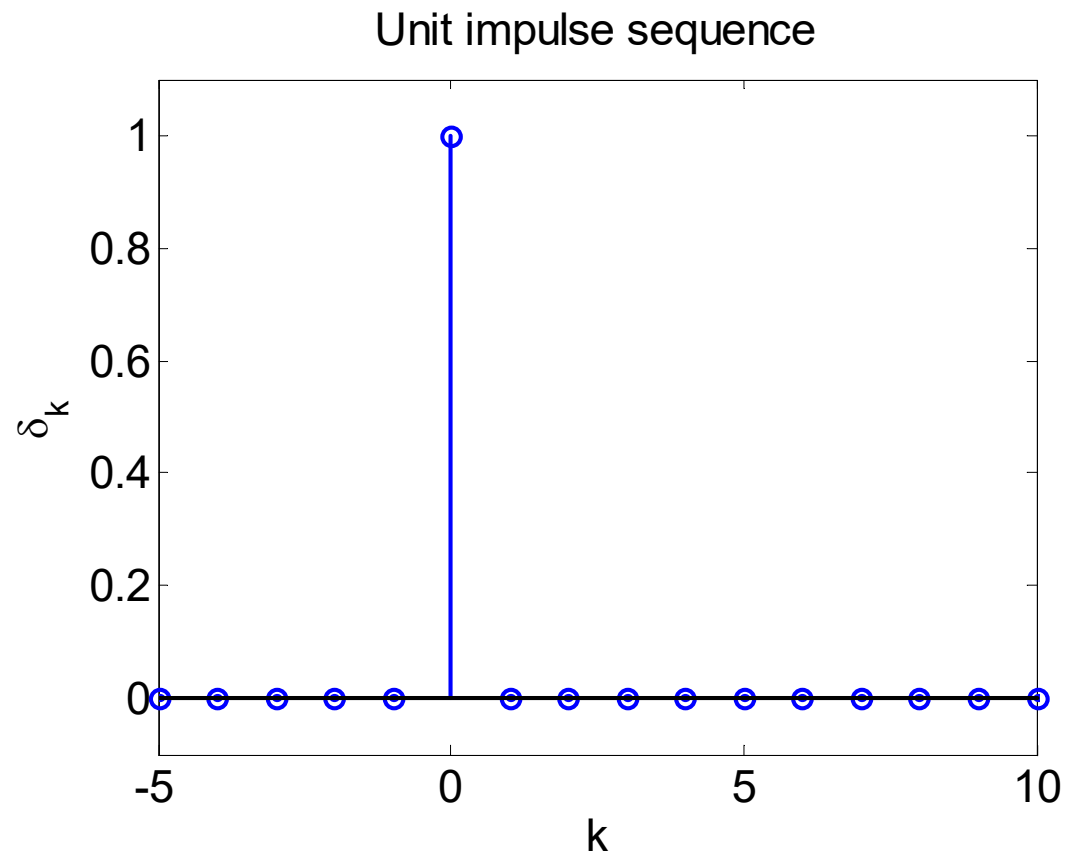
$$u_k = \begin{cases} 1, & k \geq 0 \\ 0, & k < 0 \end{cases}$$



Unit impulse sequence

Jedinični impuls

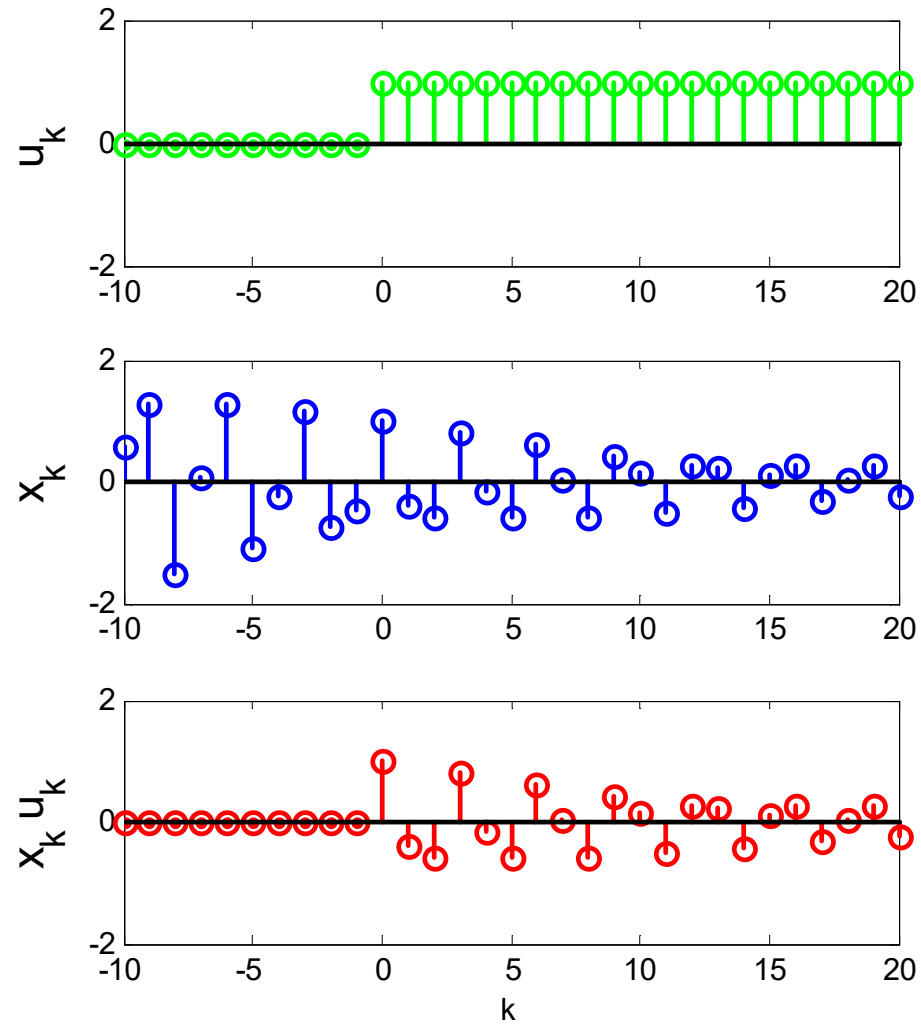
$$\delta_k = \begin{cases} 1, & k = 0 \\ 0, & k \neq 0 \end{cases}$$



Kauzalna sekvenca

- Sekvenca koja ima vrednosti 0 za sve negativne indekse je **kauzalna**
- Sekvenca koja ima vrednosti različite od 0 za sve indekse iz određenog opsega je **sekvenca konačne dužine**

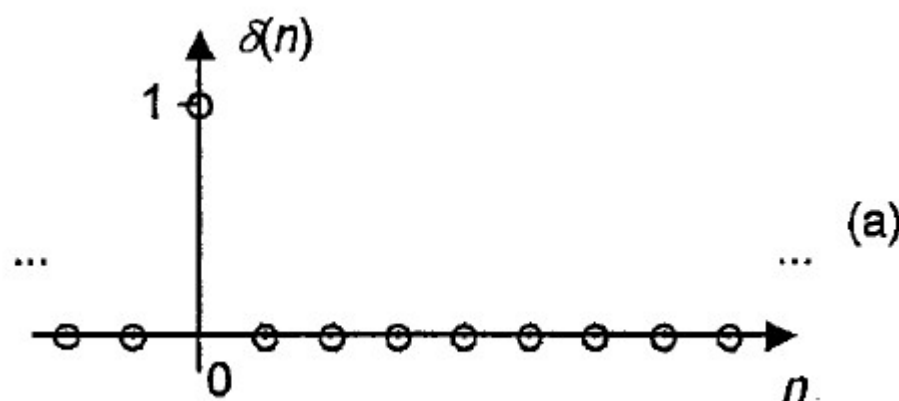
Kauzalna sekvenca



Jedinični impuls

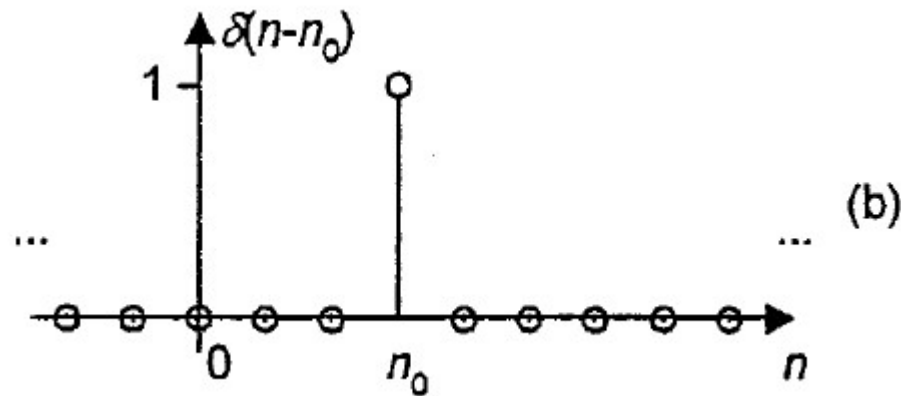
Dirakova delta funkcija

$$\delta[n] = \begin{cases} 1, n = 0 \\ 0, n \neq 0 \end{cases}$$



Zakašnjen jedinični impuls

$$\delta[n - n_0] = \begin{cases} 1, n = n_0 \\ 0, n \neq n_0 \end{cases}$$



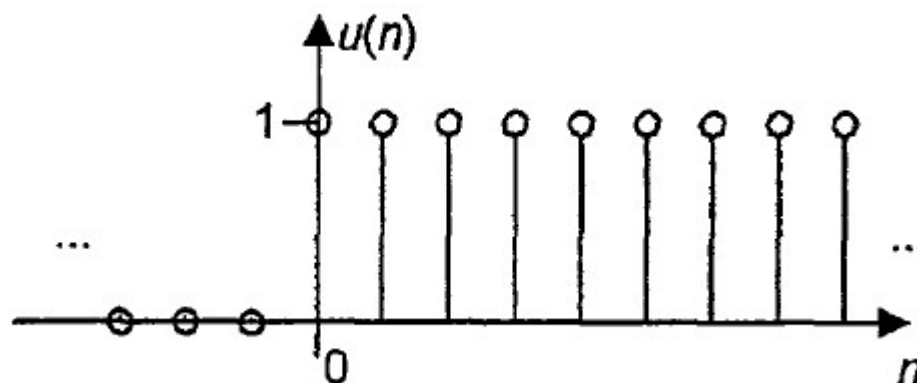
Osobina selektivnosti

$$x[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \delta[n-k]$$

**Izdvajanje
člana niza
za $n=k$**

Jedinični odskočni niz

$$u[n] = \begin{cases} 1, n \geq 0 \\ 0, n < 0 \end{cases}$$



Jedinični odskočni niz

Hevisajdova (Heaviside) funkcija

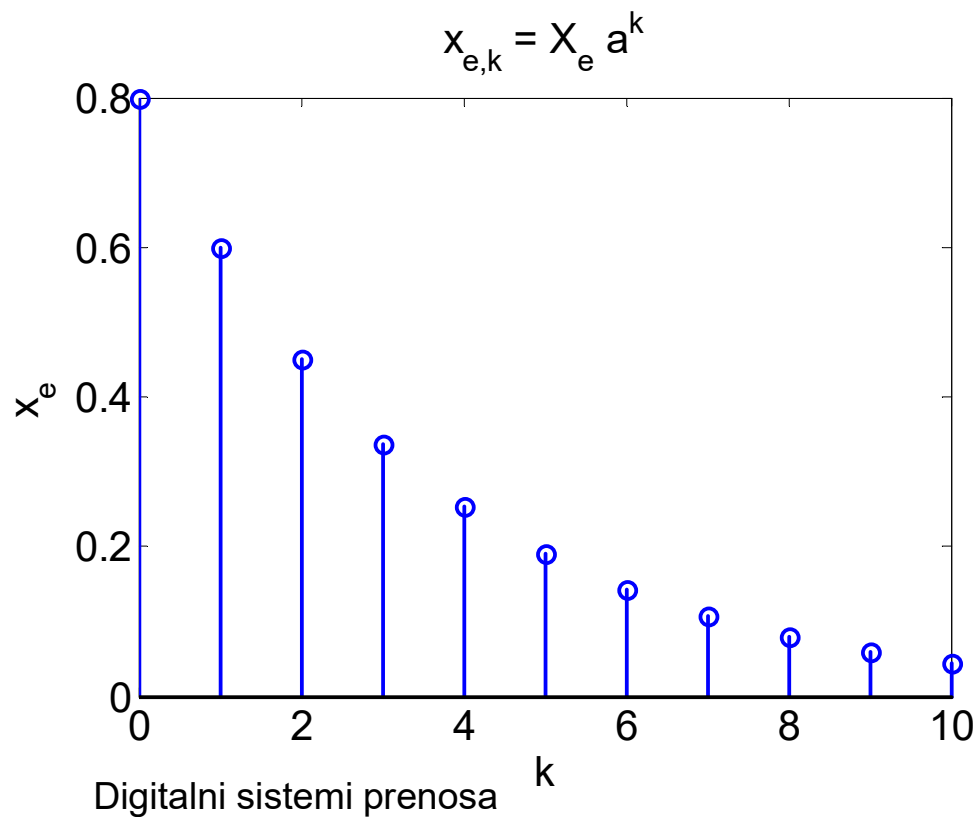
$$u[n] = \begin{cases} 1, n \geq 0 \\ 0, n < 0 \end{cases}$$

$$u[n] = \sum_{k=-\infty}^n \delta[k]$$

Realna eksponencijalna sekvenca

$$g[n] = \begin{cases} a^n, n \geq 0 \\ 0, n < 0 \end{cases}, |a| < 1$$

$$g[n] = a^n u[n]$$

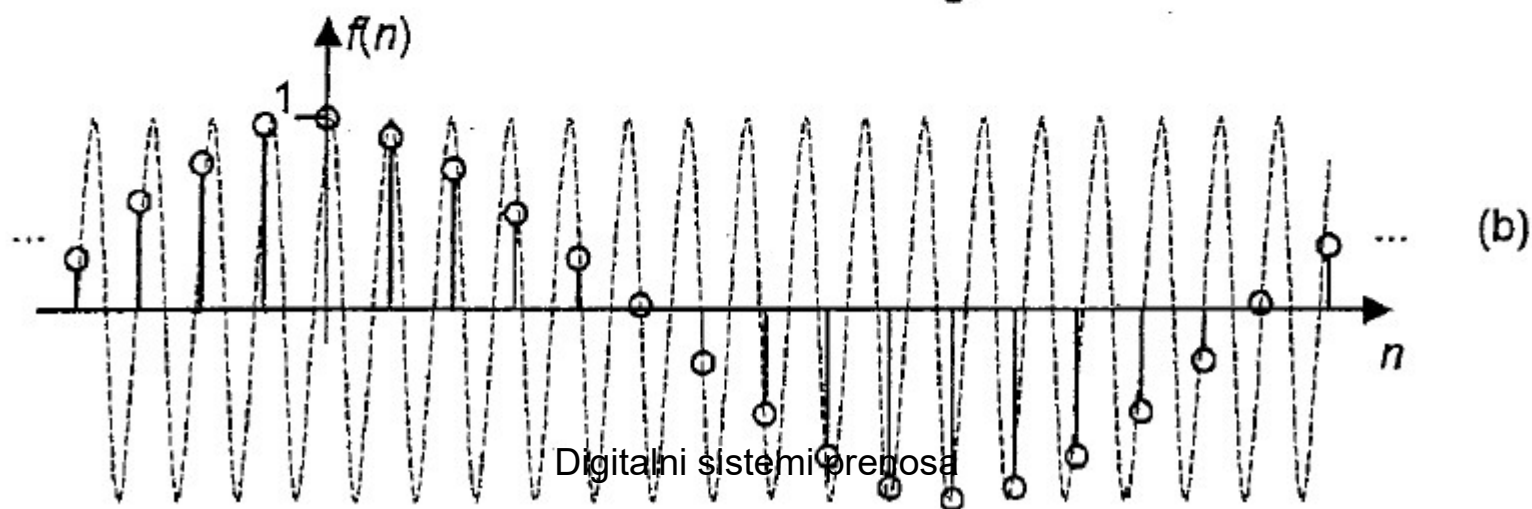
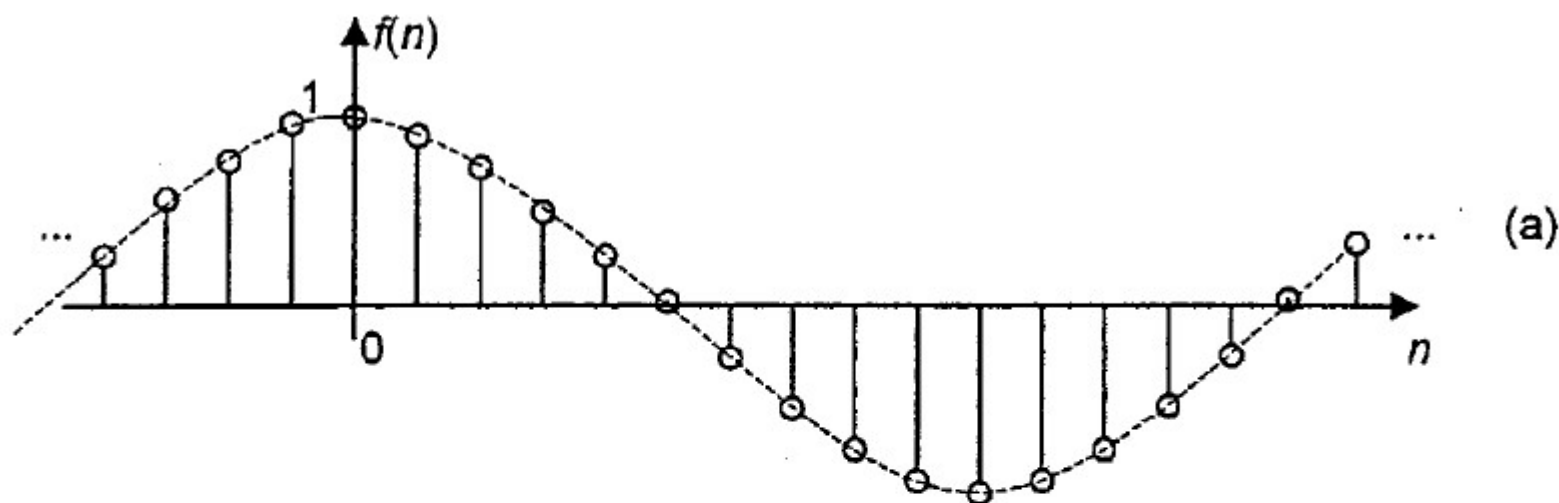


Periodična funkcija

$$x[n] = x[n + N]$$

**N je perioda
ponavljanja**

Različiti kontinualani signali – isti diskretni signali



Kompleksni eksponencijalni niz

$$x[n] = e^{j\omega n}$$

$$x[n] = \cos(\omega n) + j \sin(\omega n)$$

Digitalni sistem

- Diskretni sistem je **digitalni** ako obrađuje diskretne signale sa amplitudama predstavljenim brojevima
- **Kvantizacija** preslikava kontinualni opseg vrednosti u jedan broj
- Digitalni sistem radi na digitalnom hardveru
 1. Eksplicitno sa elektronskim kolima (logička kola)
 2. Implicitno (kompjuterski program na računarima)

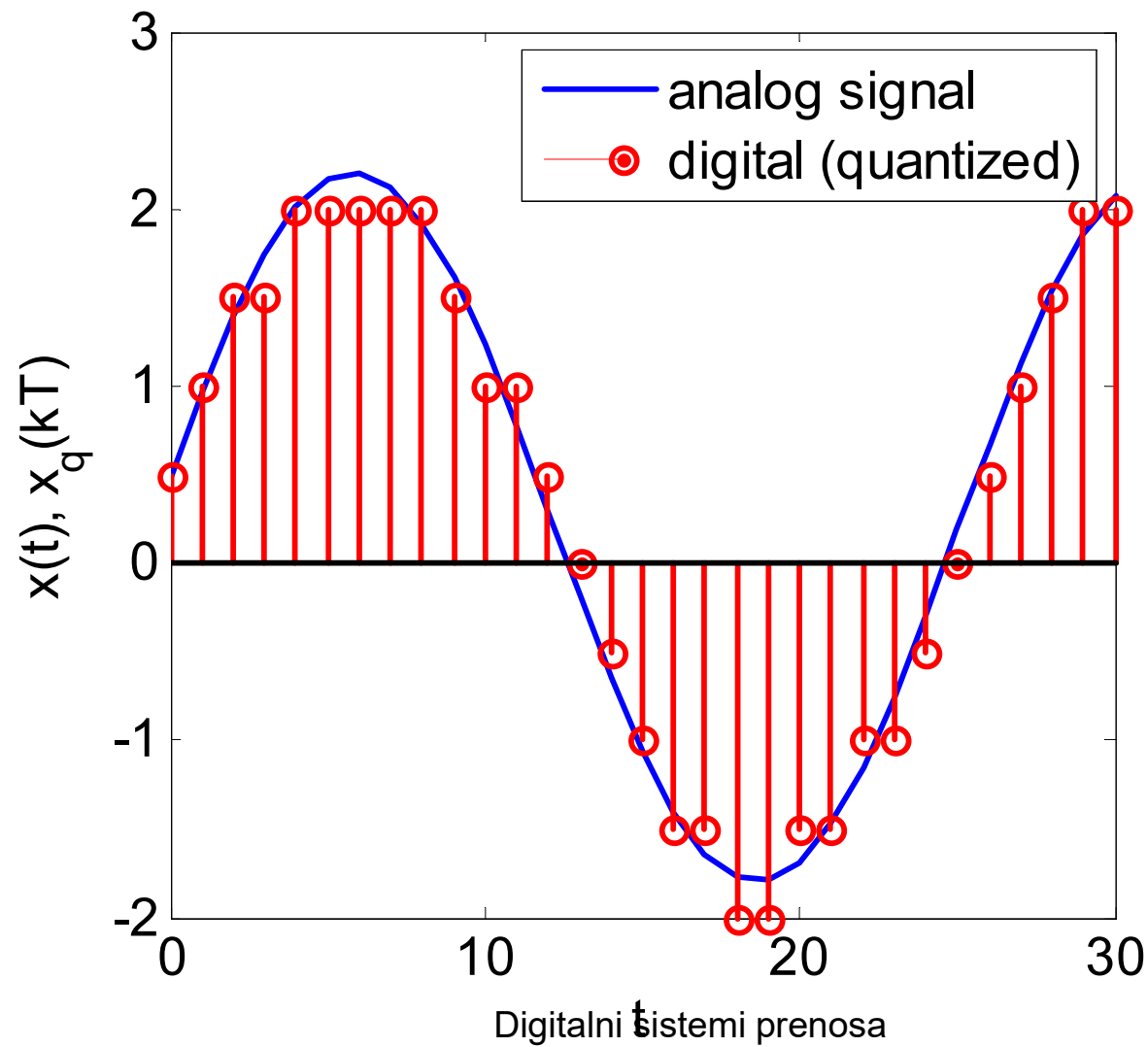
Kvantizacija signala

- Razlozi: prenos podataka, čuvanje podataka, obrada brojevima)ograničen opseg predstavljanja)
- Manje cifara – brži prenos, manji memorijski prostor, jednostavnija obrada
- Ograničena tačnost ima prednosti nad ekzaktnom predstavom

Izbor broja cifara za kvantizaciju

- Poželjno što manje cifara
- Premalo cifara - može da se izgubi informacija
 - 1) Minimalan broj cifara da se olakša prenos, memorisanje i obrada
 - 2) Maksimalan broj cifara da se sačuva informacija

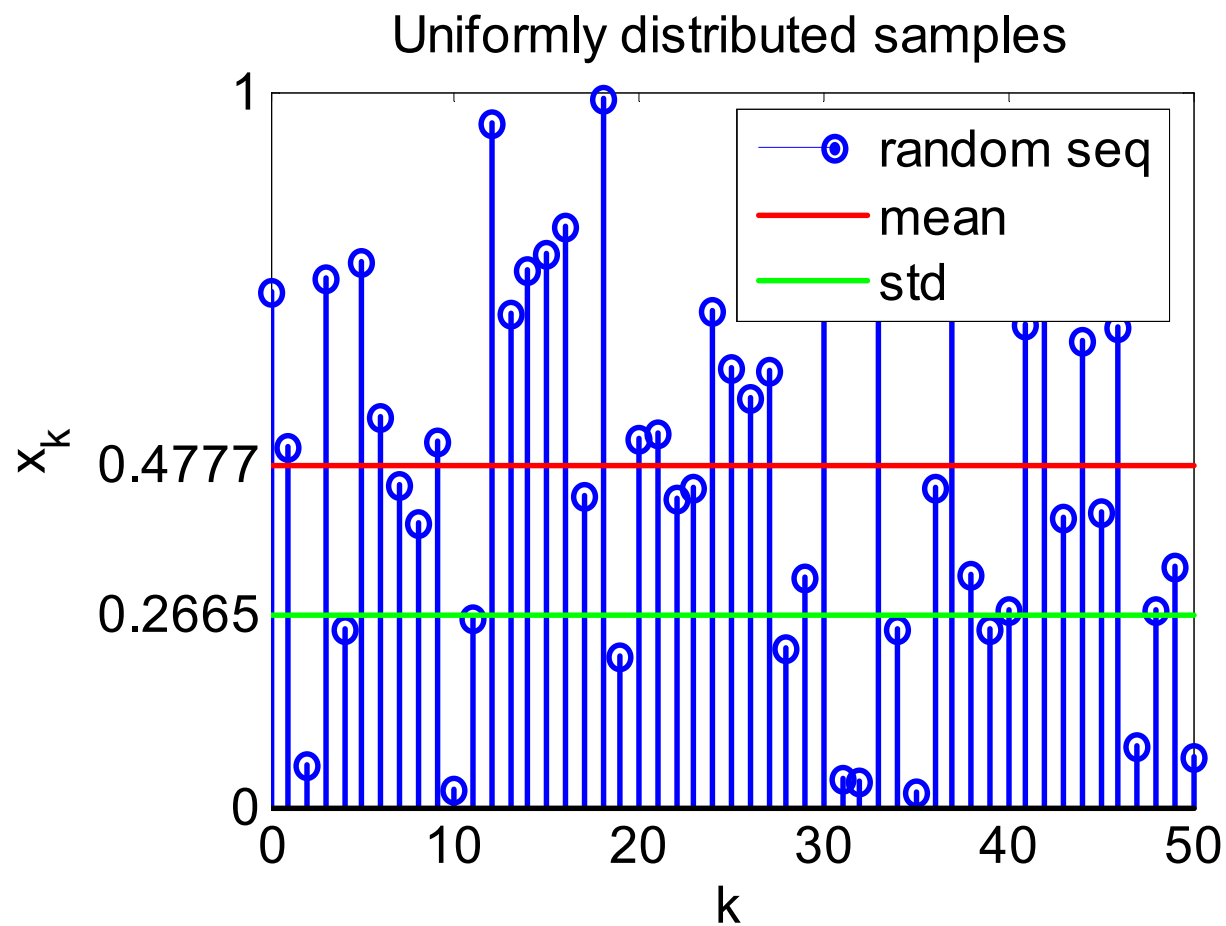
Digitalni signal



Periodični signali

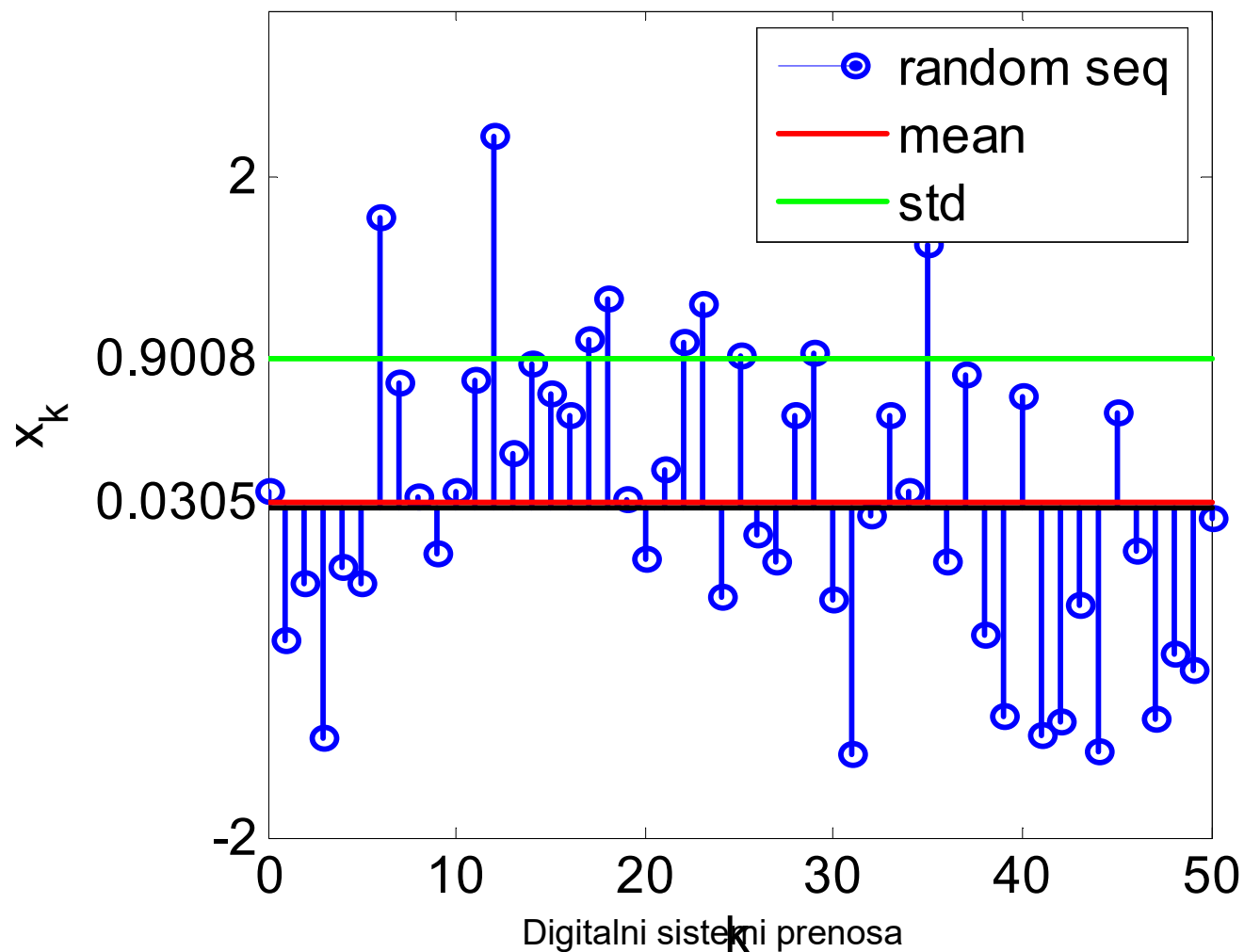
- Deterministički signal može biti periodičan
 - posmatra se samo opseg vremena koji se kasnije ponavlja beskonačno puta
- Aperiodični signal je onaj koji nema osobinu periodičnosti

Slučajni signal



Random signal

Normally distributed samples

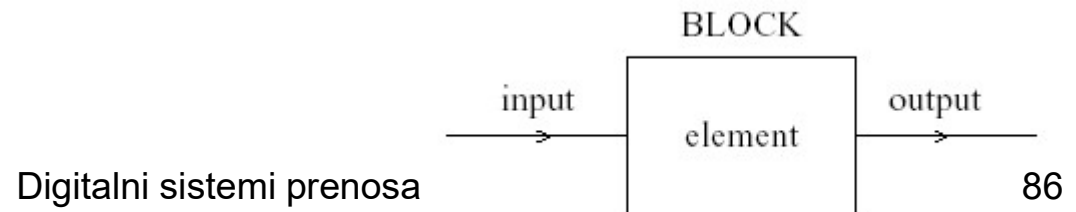


Analiza i projektovanje (design)

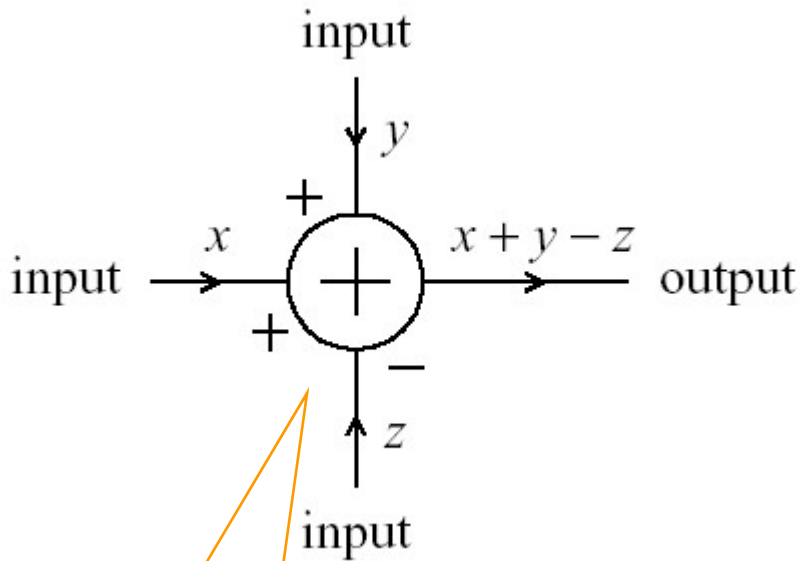
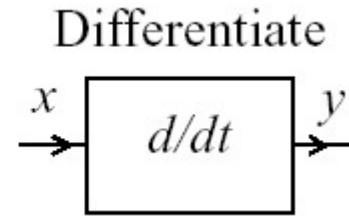
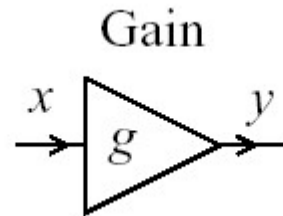
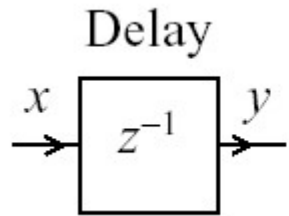
- **Analiza** sistema je istraživanje osobina sistema
- **Dizajn** sistem je izbor sastavnih delova koje mogu da izvrše obradu
- **Design by analysis** – modifikacija parametara postojećeg sistema dok se ne dobije željena karakteristika
- **Design by synthesis** – iz specifikacija (postavke zahteva koje treba da ispuni sistem) definišemo kako izgledaju sastavni elementi sistema

Blok dijagram

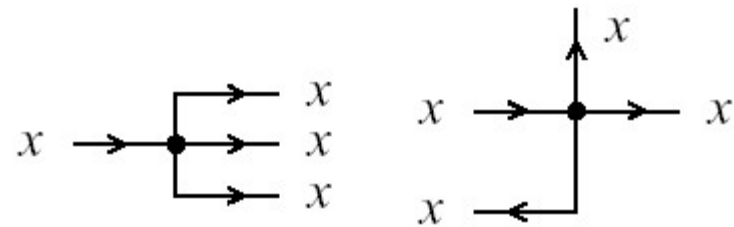
- ***Blok dijagram*** je grafička predstava sistema koji opisuje metod ili karakteristike ili relacije ulaz-izlaz pojedinih komponenti sistema
 - ime komponente
 - opis komponente
 - simbol koji opisuje funkcionalnost
- **Strelice** pravac toka signala



Elementi blok dijagrama

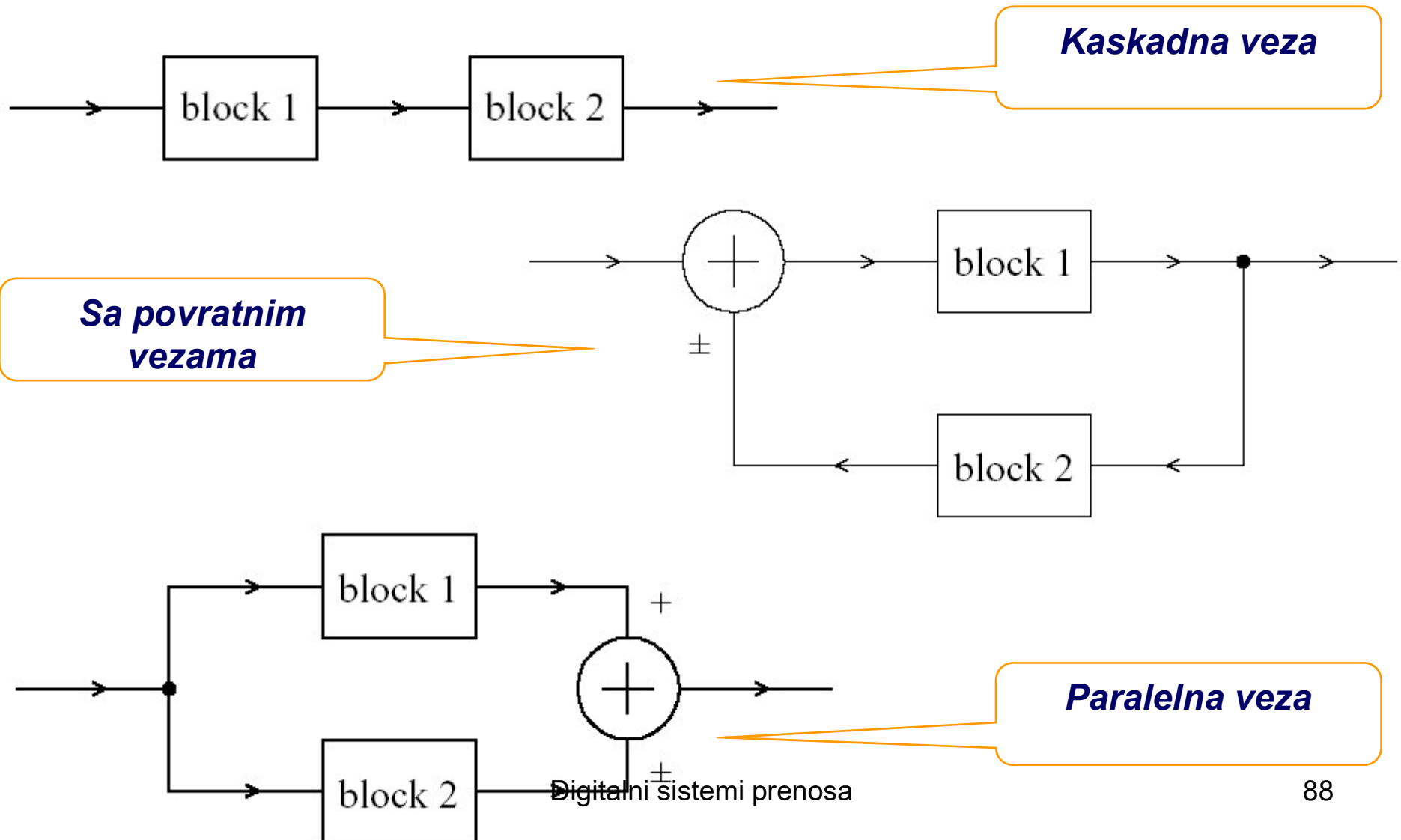


Summing point



Takeoff point

Povezivanje blokova



Stanja (State)

- Izlaz u trenutku t_0 zavisi od ulaza u trenutku t_0 , ali i ulaza pre t_0
- Stanje su svi signali u trenutku t_0 koji zajedno sa ulazom za $t \geq t_0$ jednoznačno određuju izlazni signal za $t \geq t_0$
- ***Dinamičke jednačine*** su set jednačina koje povezuju ulazni signal, stanja i izlazni signal

Relaxed system

- Relaksiran sistem u trenutku t_0 je onaj koji zavisi samo od ulaznog signala za $t \geq t_0$
- Koncept energije: sistem nema akumulisanu energiju pre t_0
- **zero-input** sistem: izlazni signal je funkcija stanja za $t \geq t_0$ iako je ulaz jednak 0

Kauzalnost i stabilnost

- Sistem je ***kauzalan*** ako izlaz zavisi samo od ulaza u prošlosti i tekućem trenutku
- Sistem je ***stabilan*** is je onaj čiji odziv teži ka 0 kada nema pobude
- Sistem je ***BIBO stabilan*** (bounded-input bounded-output) ako svaka konačna pobuda uzrokuje konačni odziv

Vremenski invarijantan sistem

- Sistem je ***time-invariant*** ako se dobije zakašnjen odziv kada se zakasni pobuda
- Diskretni sistemi: ***shift-invariant*** umesto time-invariant
- Karakteristike sistema se ne menjaju sa vremenom

Linearni sistem

- Sistem je linearan:
- ulaz $x_1(t)$ proizvodi izlaz $y_1(t)$
- ulaz $x_2(t)$ proizvodi izlaz $y_2(t)$,
- ulaz $c_1 x_1(t) + c_2 x_2(t)$ proizvodi izlaz $c_1 y_1(t) + c_2 y_2(t)$ za bilo koje $x_1(t)$, $x_2(t)$ i proizvoljne konstante c_1 i c_2

Princip superpozicije

- Odziv $y(t)$ LTI sistema na ulaze $x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)$ jednak sumi odziva na svaki od ulaza dok su drugi 0, $y_i(t)$ je odziv na ulaz $x_i(t)$

$$y(t) = \sum_{i=1}^N y_i(t)$$

Procedure za analizu sistema

1. Odrediti jednačine za svaku komponentu sistema
2. Izbor modela (blok dijagram)
3. Formirati model povezivanjem komponenti
4. Odrediti sistemske karakteristike

Konvoluciona suma

- Odziv na impulsnu pobudu sistema je karakteristika sistema
- Odziv sistema je određen ***konvolucionom sumom***

$$y_x[n] = \sum_{i=-\infty}^n y_{\delta}[n-i]x[i]$$

Motivacija



**1. originalna
slika**

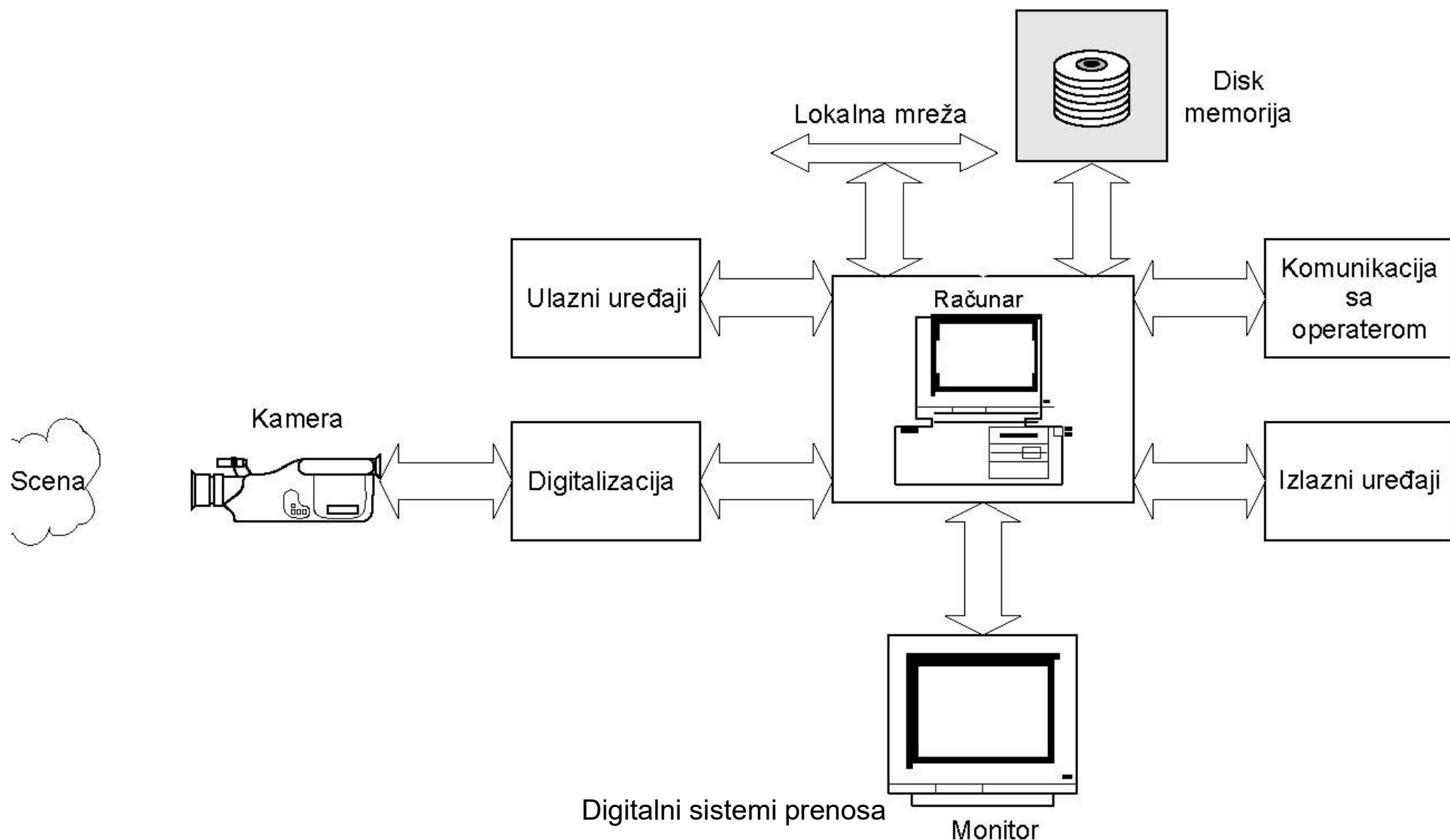


**2. Izobličena
slika**

**3. Posle
obrade**



Elementi sistema za obradu slike



Uticaj broja bita na kvalitet slike



1 b/p



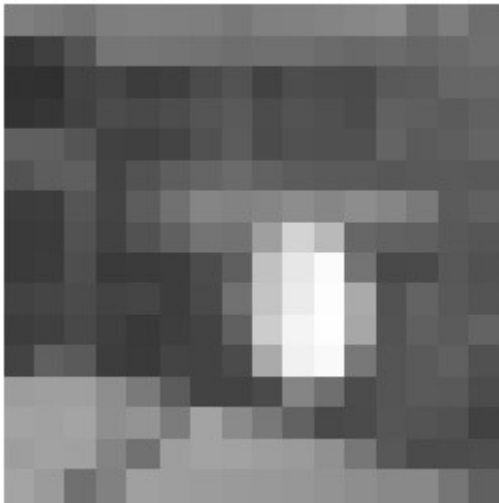
4 b/p



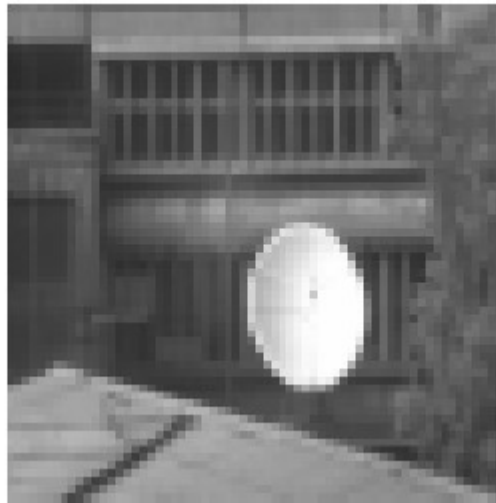
8 b/p

Uticaj prostorne rezolucije na kvalitet slike

veličina slike konstantna



16×16



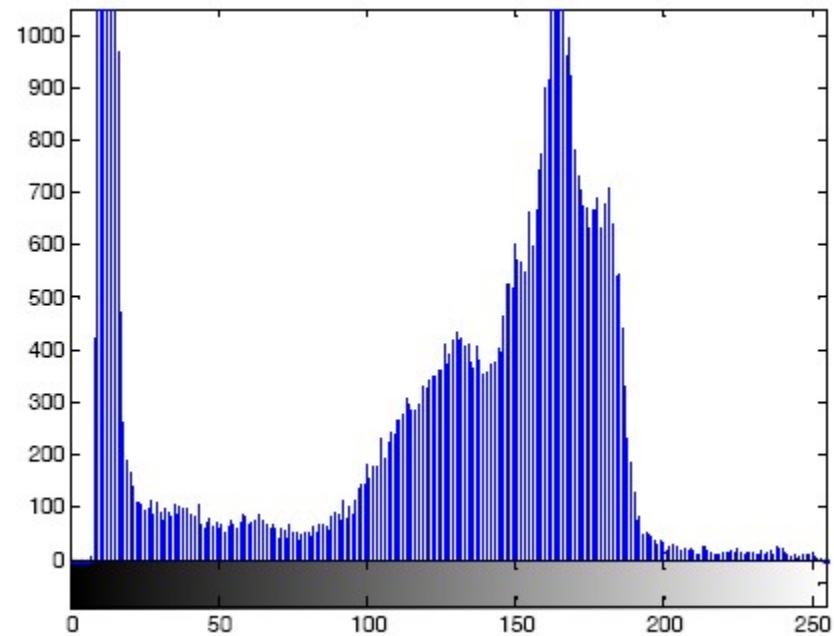
64×64



256×256

Digitalni sistemi prenosa

Histogram slike



Digitalna slika 256×256 piksela i njen histogram

Jednostavne transformacije kontrasta



Original

Razvlačenje kontrasta

Poređenje sa pragom

Profesor dr Miroslav Lutovac

mlutovac@viser.edu.rs

Ova prezentacija je nekomercijalna.

Slajdovi mogu da sadrže materijale preuzete sa Interneta, stručne i naučne građe, koji su zaštićeni Zakonom o autorskim i srodnim pravima.

Ova prezentacija se može koristiti samo privremeno tokom usmenog izlaganja nastavnika u cilju informisanja i upućivanja studenata na dalji stručni, istraživački i naučni rad i u druge svrhe se ne sme koristiti –

Član 44 - Dozvoljeno je bez dozvole autora i bez plaćanja autorske naknade za nekomercijalne svrhe nastave:

(1) javno izvođenje ili predstavljanje objavljenih dela u obliku neposrednog poučavanja na nastavi;

- ZAKON O AUTORSKOM I SRODNIM PRAVIMA

("Sl. glasnik RS", br. 104/2009 i 99/2011)