

Digitalni sistemi prenosa

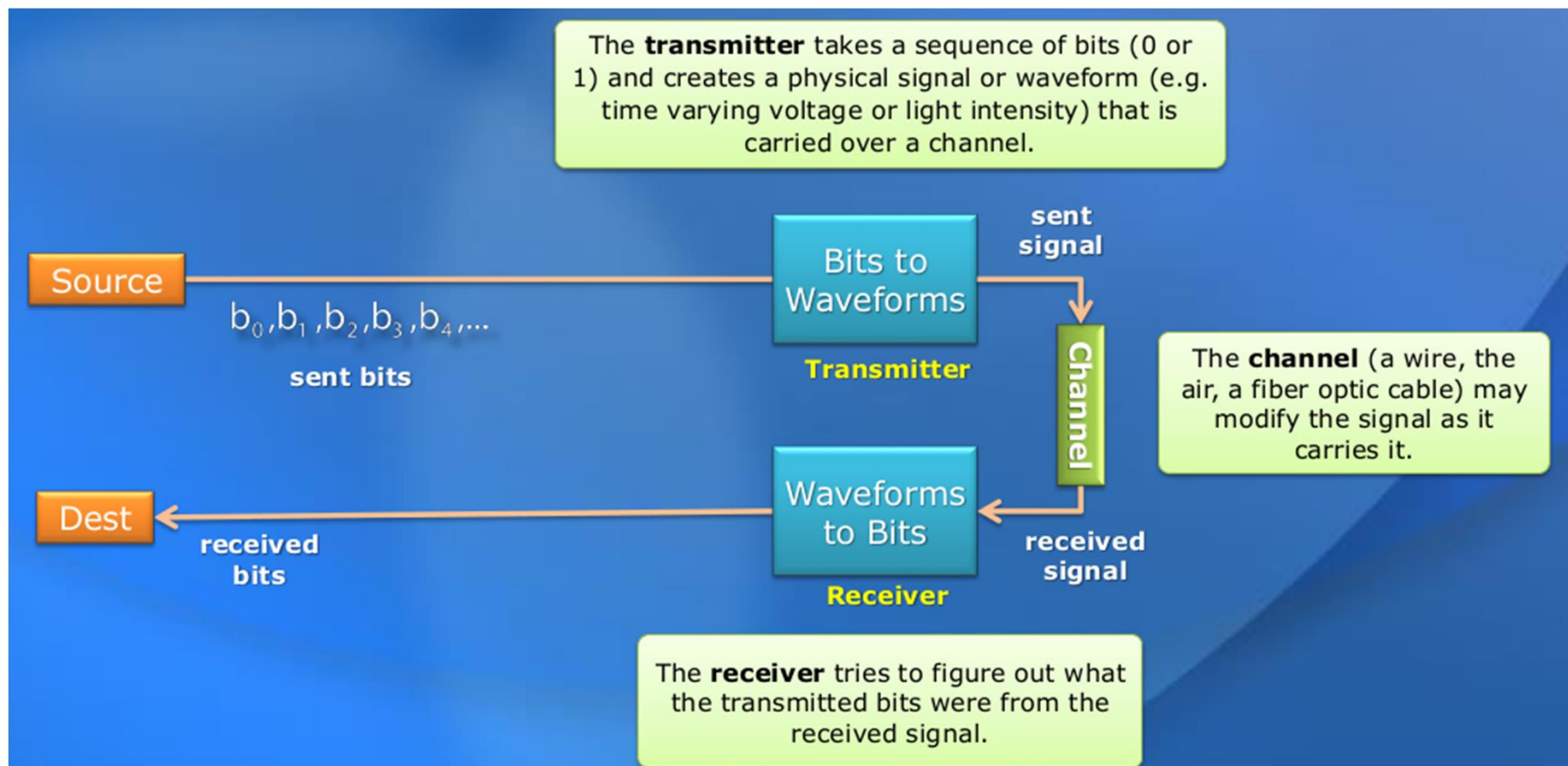
Profesor dr Miroslav Lutovac

- Digitalni sistemi prenosa
- Amela Zeković, Lekcija 4:
- Prenos u digitalnim sistemima:
od signala do paketa
- Literatura za ovu lekciju su
 - ✓ kurs A System View of Communications: From Signals to Packets, Hong Kong University of Science and Technology
 - ✓ kurs Digital Communication Systems razvijen na MIT univerzitetu

Prenos digitalnog signala

- Bit predstavlja osnovnu jedinicu informacije koja se koristi u modernim komunikacionim sistemima
- Veličina koja se pretstavlja jednim bitom je promenljiva koja može imati dve moguće vrednosti, koje se uobičajeno označavaju sa 0 ili 1
- Fizički se bit predstavlja kao dva jasno različita stanja promenljivih, kao što su:
 - ✓ napon (1 označava visok, a 0 nizak napon)
 - ✓ svetlost (1 uključena, 0 isključena)
- Složenije poruke se prenose kombinacijom više bita

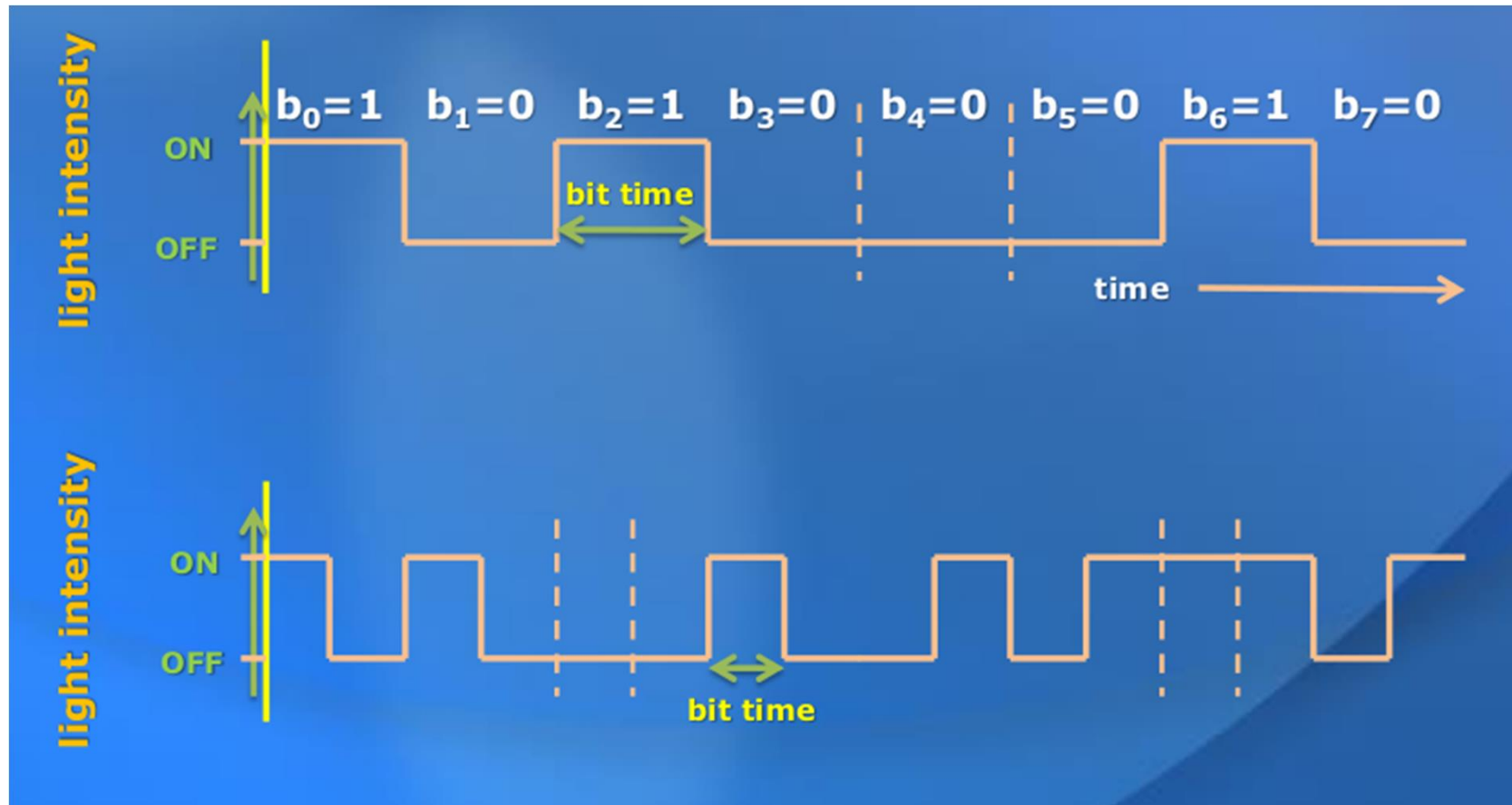
Blok šema osnovnog digitalnog komunikacionog sistema



Prenos digitalnog signala

- Od izvora informacije, na ulaz predajnika dolazi sekvenca bita
- Predajnik konvertuje niz bitova u talasni oblik koji odgovara sekvenci bitova
- Od predajnika do prijemnika, preko kanala za prenos, prostire se informacija u talasnom obliku
- Napon može da se pošalje preko žice za prenos
- Svetlost može da se pošalje preko optičkog vlakna

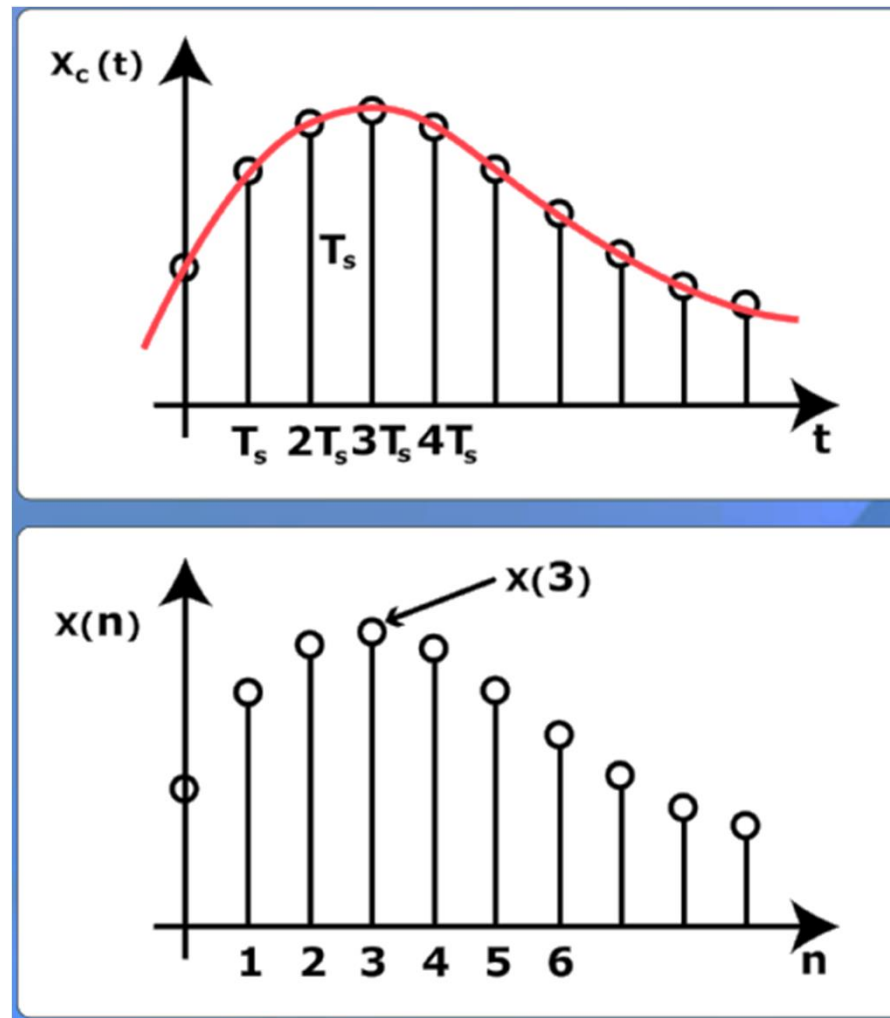
Predstavljanje bita pomoću talasnog oblika



Prenos digitalnog signala

- Prilikom predstavljanja bita u talasnom obliku, vreme koje je dodeljeno jednom bitu se označava kao bit time, pri čemu kraće vreme trajanja znači brži prenos informacija
- Talasni oblik koji je kontinualan u vremenu (ima vrednost u svakom trenutku) može da se diskretizuje u vremenu postupkom odabiranja (*sampling*)

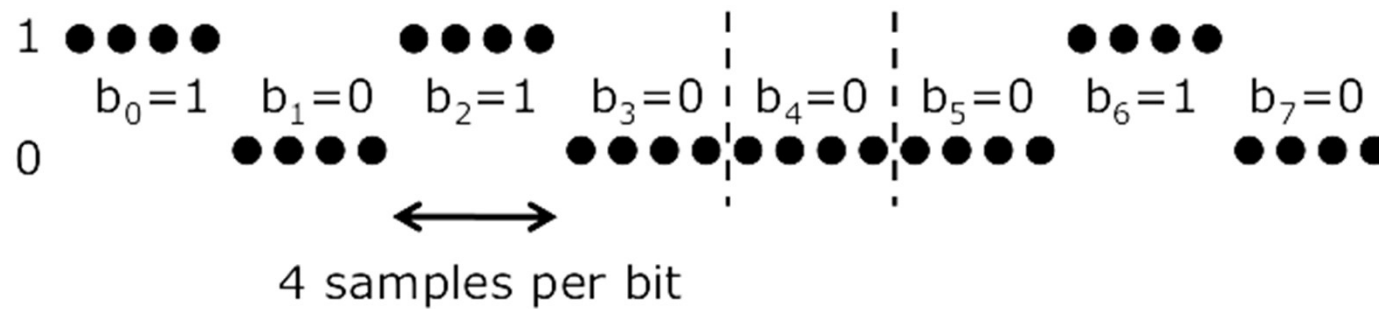
Kontinualan signal $x_c(t)$ i
diskretan signal $x(n) = x_c(nT_s)$ (nT_s),
gde je T_s perioda odabiranja



Broj odbiraka po bitu

- Primer talasnog oblika za predstavljanje bita u disretnom obliku, pri čemu je SPB (*Sample Per Bit*) broj odbiraka po bitu na sledećoj slici je jednak 4
- izračunavanja bitskog protoka za ovaj SPB dat je na narednom slajdu
- Ekvivalentni načini predstavljanja diskretnog talasnog oblika bita dati su na narednoj slici

Predstavljanje bita pomocu diskretnog talasnog oblika



Izračunavanja bitskog protoka

Sample rate

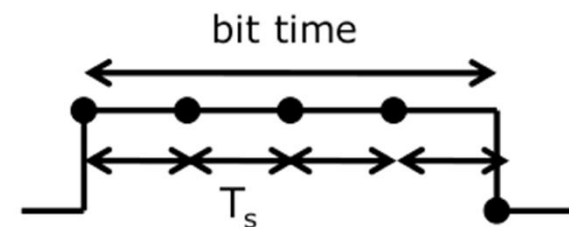
$$\begin{aligned}F_s &= 1\text{MHz} = 1\text{MegaHertz} \\&= 1,000,000 \text{ samples / second} \\&= 10^6 \text{ samples / second}\end{aligned}$$

**If we use 4 samples per bit (SPB = 4),
then**

$$\begin{aligned}T_s &= (F_s)^{-1} = 10^{-6} \text{ second} \\&= 1\mu\text{s} = 1 \text{ microsecond}\end{aligned}$$

The bit time $= \text{SPB} \cdot T_s = 4\mu\text{s}$

The bit rate $= \frac{F_s}{\text{SPB}}$
 $= \frac{1,000,000}{4} \text{ Hz} = 250\text{kHz}$



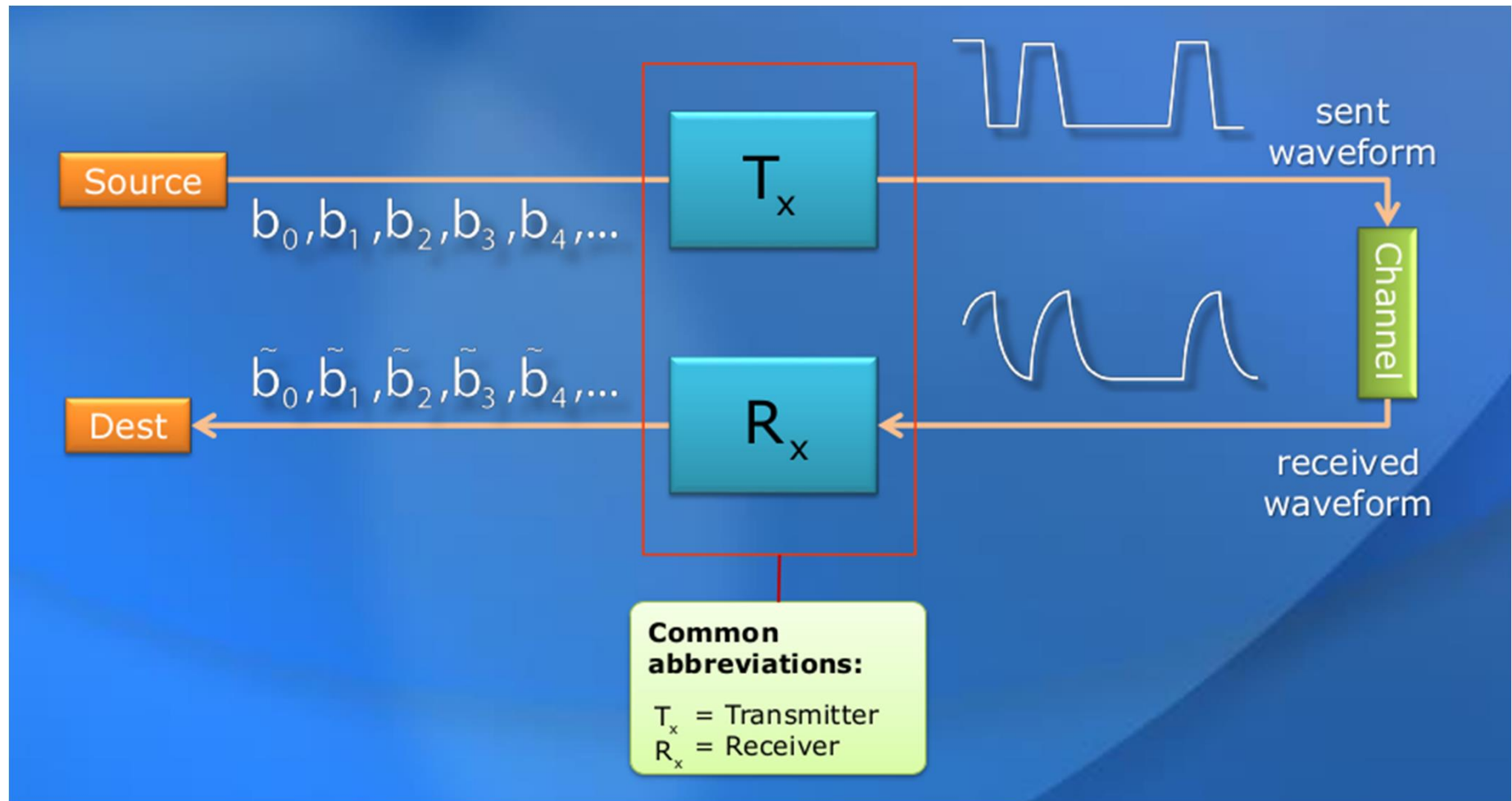
Ekvivalentni načini predstavljanja bita

Verbal	"Encoding of the bit sequence 1,0,1,0,0,0,1 at 4 samples per bit"
Graph	
List, table or vector of values	$n = [0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 11 \ 12 \ 13 \ 14 \ 15 \ 16 \ 17 \ \dots]$ $x(n) = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \dots]$
Sum of unit step functions	$x(n) = u(n) - u(n-4) + u(n-8) - u(n-12) + u(n-24) - u(n-28)$

Uticaj kanala za prenos na talasni oblik bita

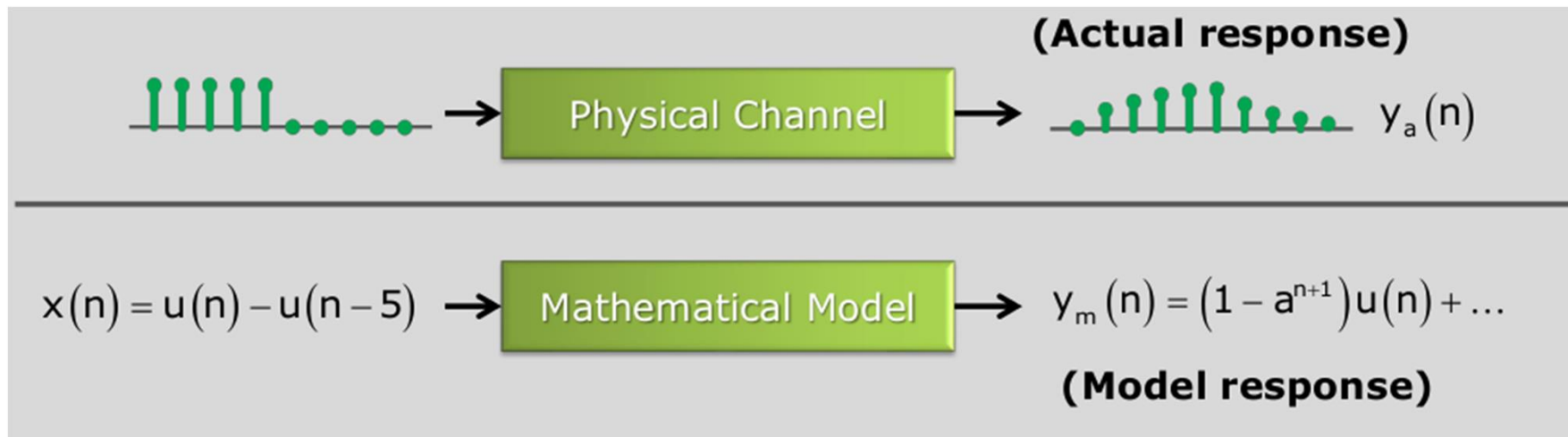
- Prilikom prenosa talasnog oblika bita kroz kanal za prenos dolazi do njegove promene, kao što je ilustrovano na sledećoj slici
- Ako je u pitanju diskretni kanal za prenos, izgled signala slici posle nje zajedno sa primerom modelovanja ovog sistema
- Modelovanje je korisno radi predikcije ponašanja sistema i razvoja sistema boljih karakteristika

Prenos talasnog oblika kroz kanal u komunikacionom sistemu



Digitalni sistemi prenosa

Uticaj diskretnog kanala za prenos i njegov model

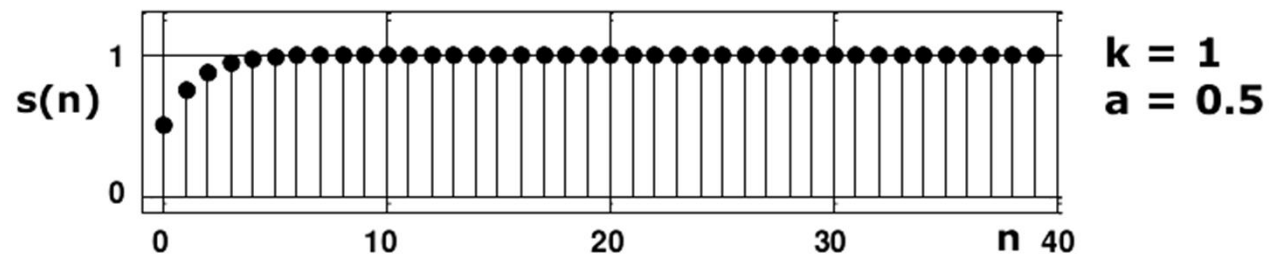
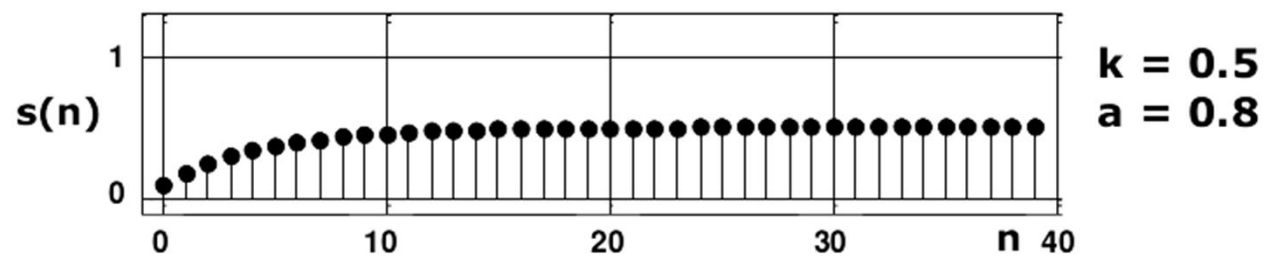
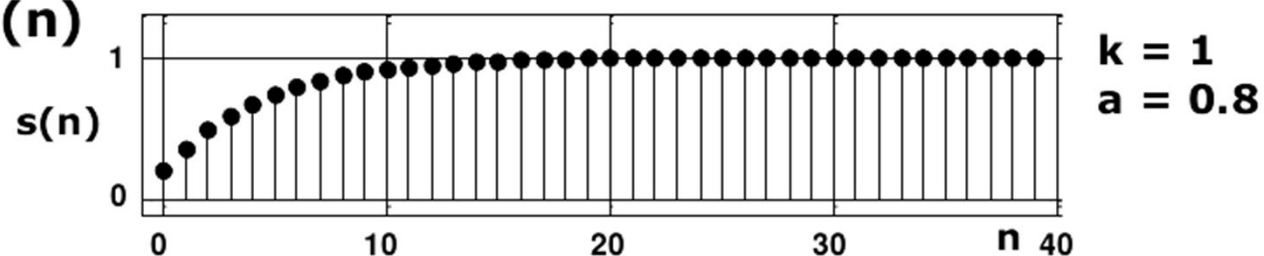


Uticaj kanala za prenos na talasni oblik bita

- Mogući uticaji kanala za prenos uključuju:
 - slabljenje
 - kašnjenje
 - offset
 - nedovoljno jasni prelazi između bita
 - šum

Primeri vrednosti parametara modela diskretnog kanala za prenos

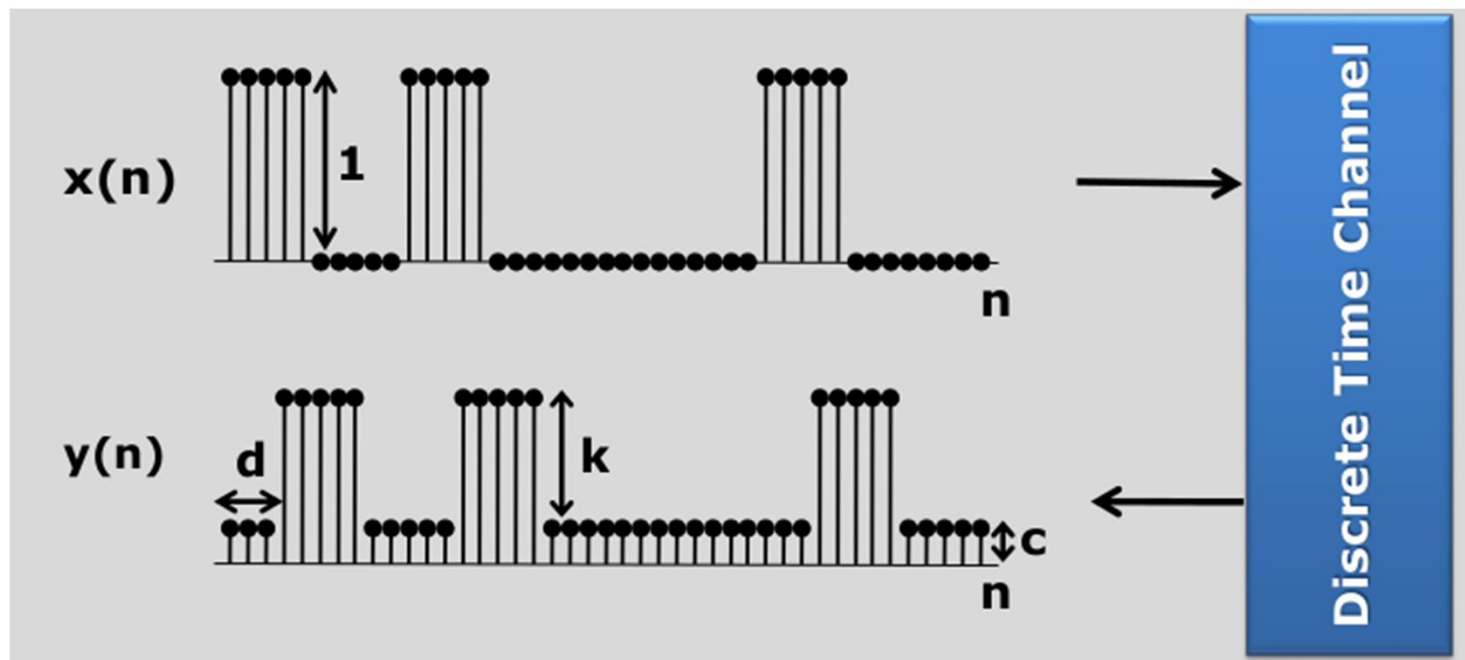
$$s(n) = k(1 - a^{n+1})u(n)$$



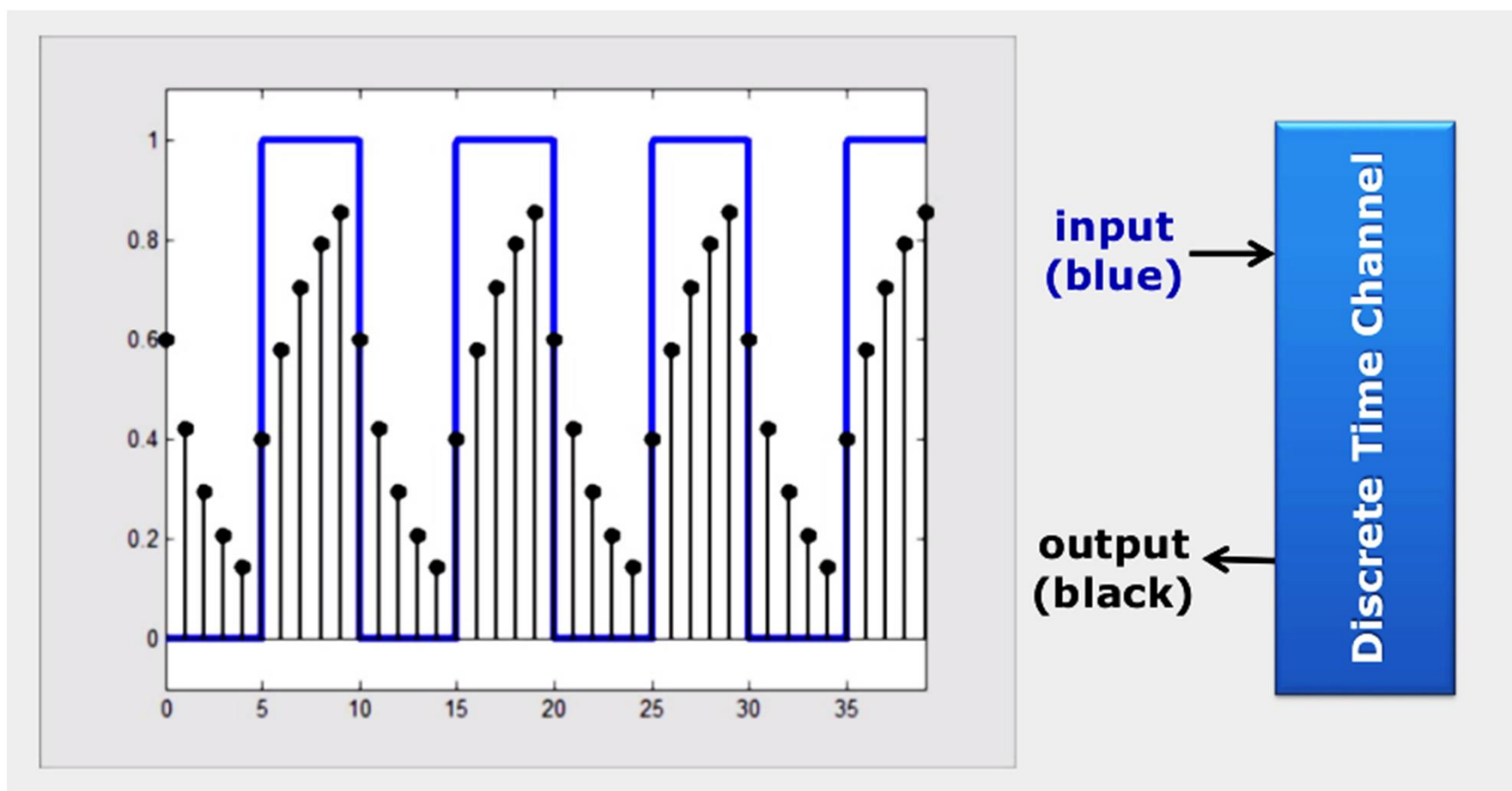
Primer uticaja kanala za prenos na diskretni talasni oblik bita



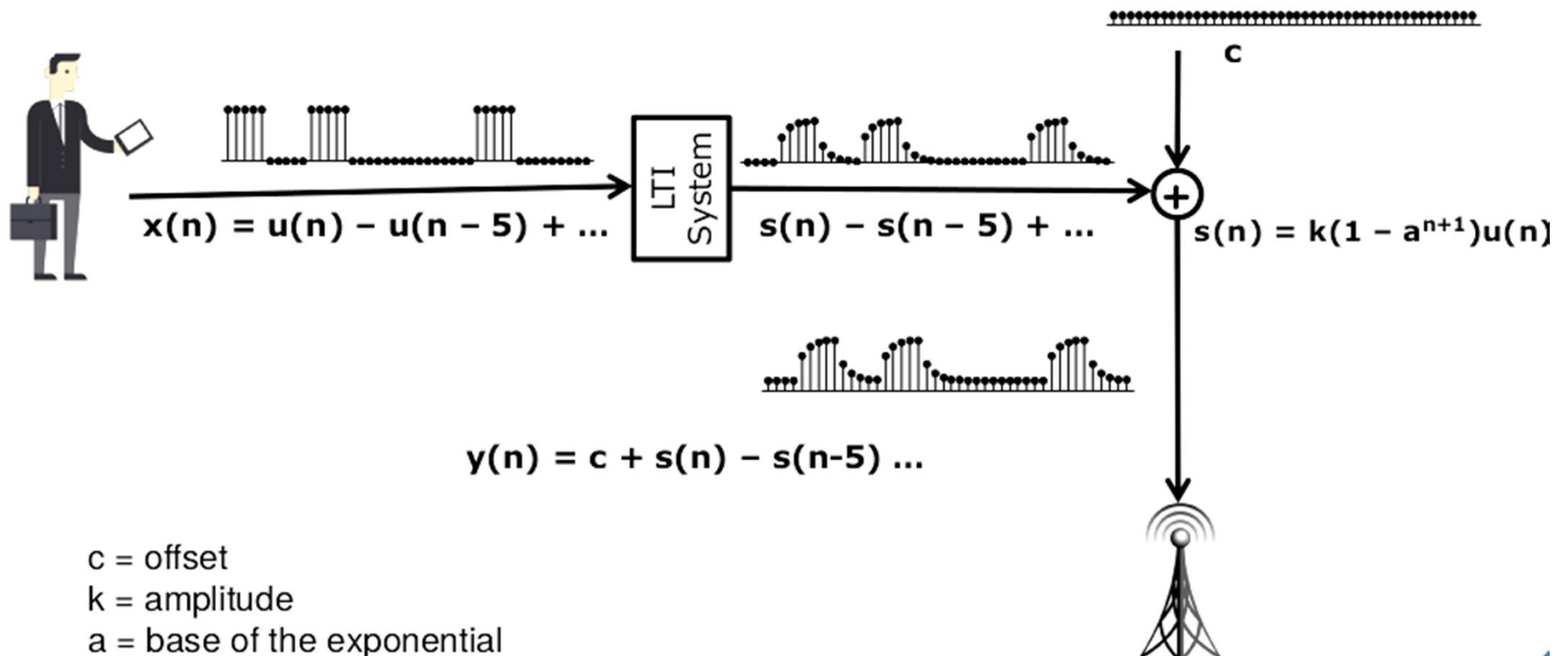
Slabljenje k , offset c i kašnjenje d
u diskretnom talasnom obliku bita usled
kanala za prenos, koji se može modelovati kao
$$y(n) = kx(n-d) + c$$



Uticaj ograničenog propusnog opsega kanala za prenos na diskretni talasni oblik bita, ako je vreme trajanja bita jednako 5 odbiraka po bitu (SPB)



Odziv kanala za prenos kao suma različitih faktora



Komunikacioni protokol

- Protokoli predstavljaju dogovor o skupu pravila ili procedura koji će biti poštovan prilikom komunikacije
- Protokli su neophodni u komunikacionim sistemima
- Ako predajnik ne poštuje protokol, prijemnik će možda moći da primi informacije koje su mu poslate, ali ne i da ih razume

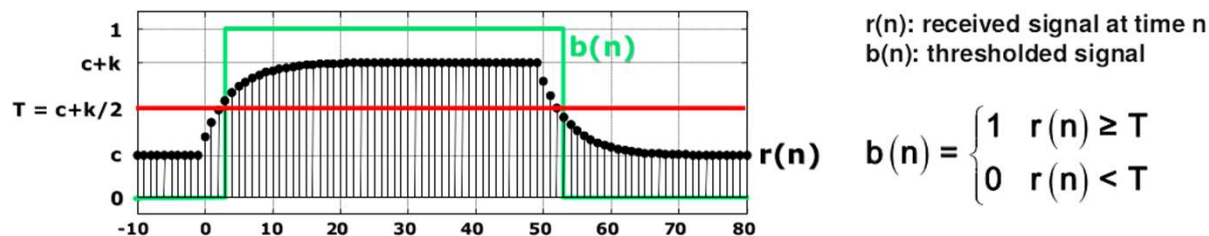
Aspekti predstavljanja u protokolima

Protokoli u komunikacionim sistemima obuhvataju sve aspekte predstavljanja podataka i neophodne signalizacije, kao što su:

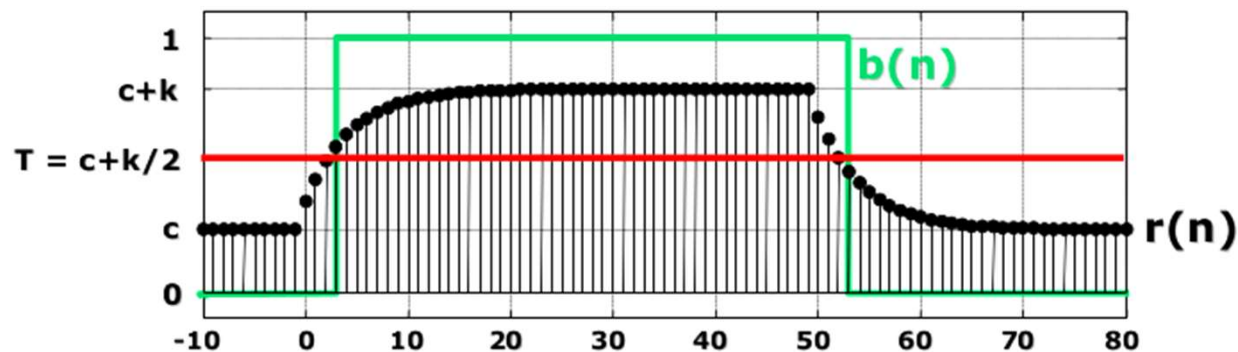
- predstavljanje tekstualnih karaktera (ASCII vs Unicode)
- redosled bita u sekvenci (prvi bit ima najveću ili najmanju važnost: MSB (Most Significant Bit) ili LSB (Least Significant Bit))
- način predstavljanja pojedinačnih bita (ima svetla 1, nema 0)
- vreme trajanja bita, SPB ili bit rate
- training sequence - sekvenca za učenje
- metod sinhronizacije

Sekvenca za učenje i metod sinhronizacije

- Sekvenca za učenje služi da bi se na prijemu odredili parametri kanala, kao što su slabljenje k ili offset c
- Ove informacije su dalje korisne da bi se ispravno postavio prag odlučivanja u odnosu koji će se dalje odlučivati da li je na prijemu bit 0 ili bit 1



Primer postavljanja praga i odlučivanja korišćenjem sekvence za učenje



$r(n)$: received signal at time n
 $b(n)$: thresholded signal

$$b(n) = \begin{cases} 1 & r(n) \geq T \\ 0 & r(n) < T \end{cases}$$

Asinhrona komunikacija

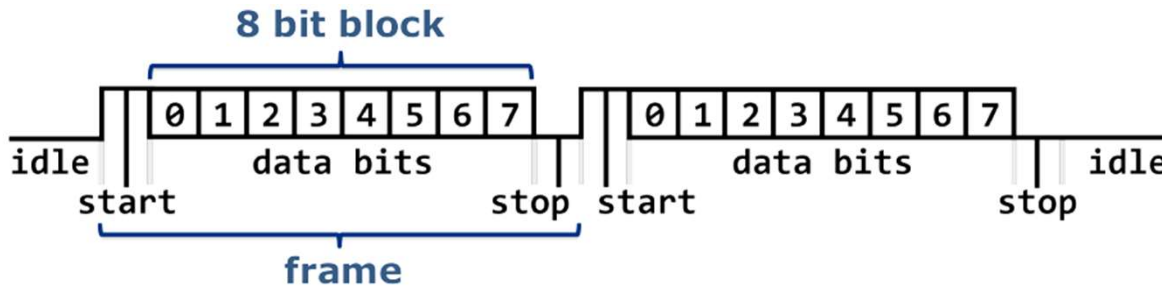
- U mnogim komunikacionim sistemima, predajnik i prijemnik nisu sinhronizovani - poravnati po vremenu
- Prijemnik nema informaciju kada će predajnik početi da emituje
- Ovo je primer asinhchrone komunikacije
- U ovoj vrsti komunikacije prijemniku je potreban signal od predajnika da će biti započeto emitovanje podataka, odnosno podaci se smeštaju u okvir (frame)
- Frejm podrazumeva da se podaci koji se prenose okružuju dodatnim bitima
- Jedan jednostavan primer je da se biti koji se prenose okružuju startnim bitom koji ukazuje na početak prenosa i stop bitom koji ukazuje na kraj prenosa

Asinhrona komunikacija

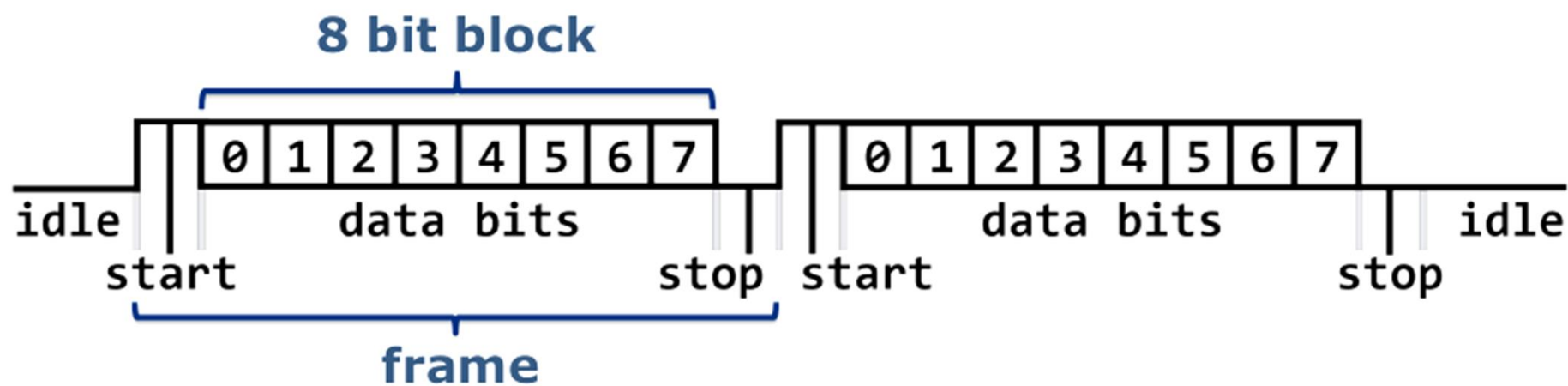
- Vrednost startnog bita zavisi od vrednosti neaktivnog (idle) stanja na linku
- Ako je neaktivno stanje 0, onda je uobičajeno startni bit 1
- Nakon startnog bita počinje blok podataka, pri čemu prijemnik i predajnik moraju da se dogovore o broju bita u jednom bloku
- Ako su podaci koji se šalju kraći od jednog bloka radi se dopuna bloka, na primer nulama, a ako su duži radi se podela na više blokova

Asinhrona komunikacija

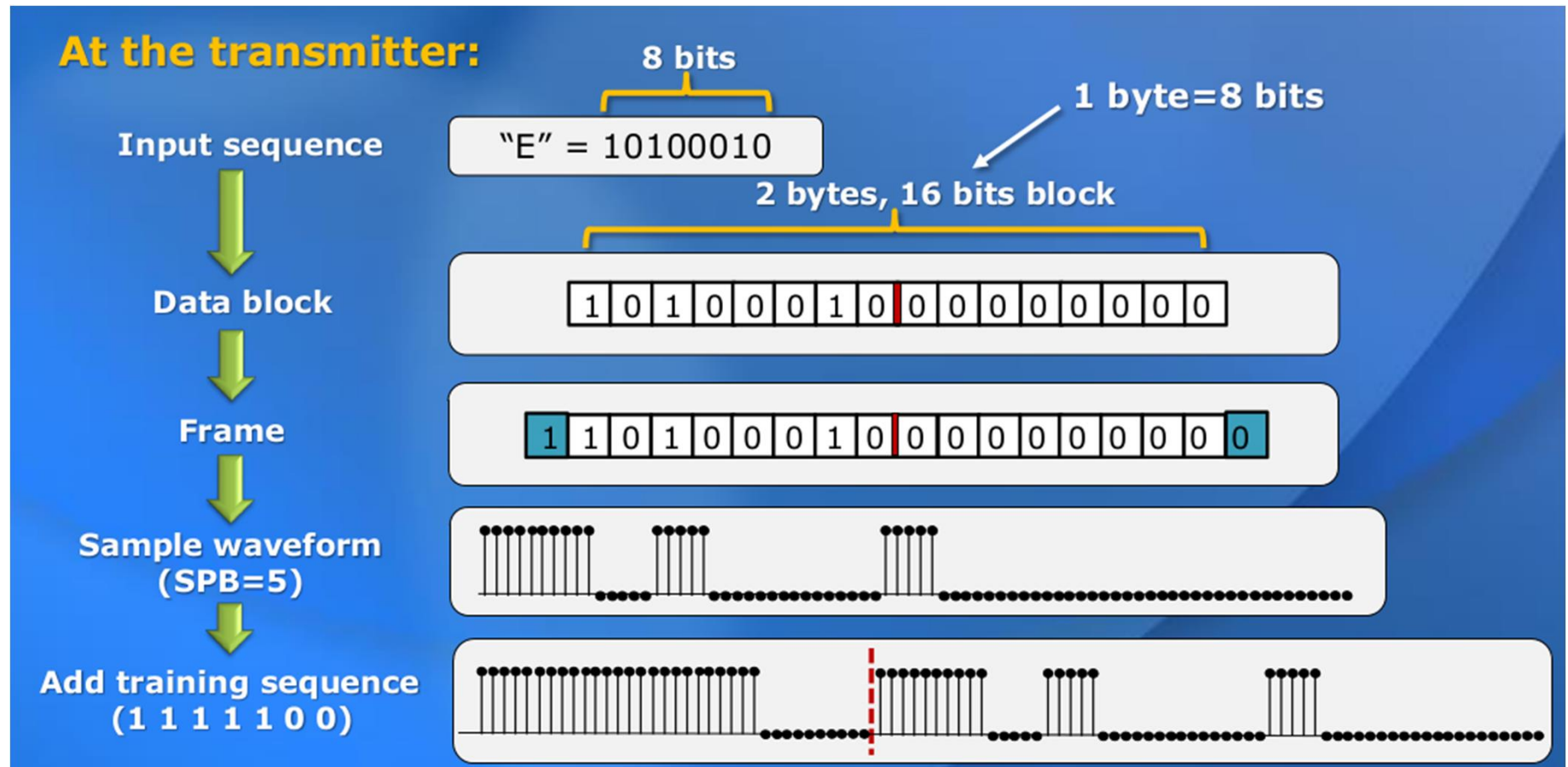
- Nakon bloka podataka sledi stop bit ili više bita, ako se ostavlja više vremena prijemniku da procesira blok
- Vrednost stop bita se uklapa sa neaktivnim stanjem linka, da bi se uspešno detektovao novi startni bit



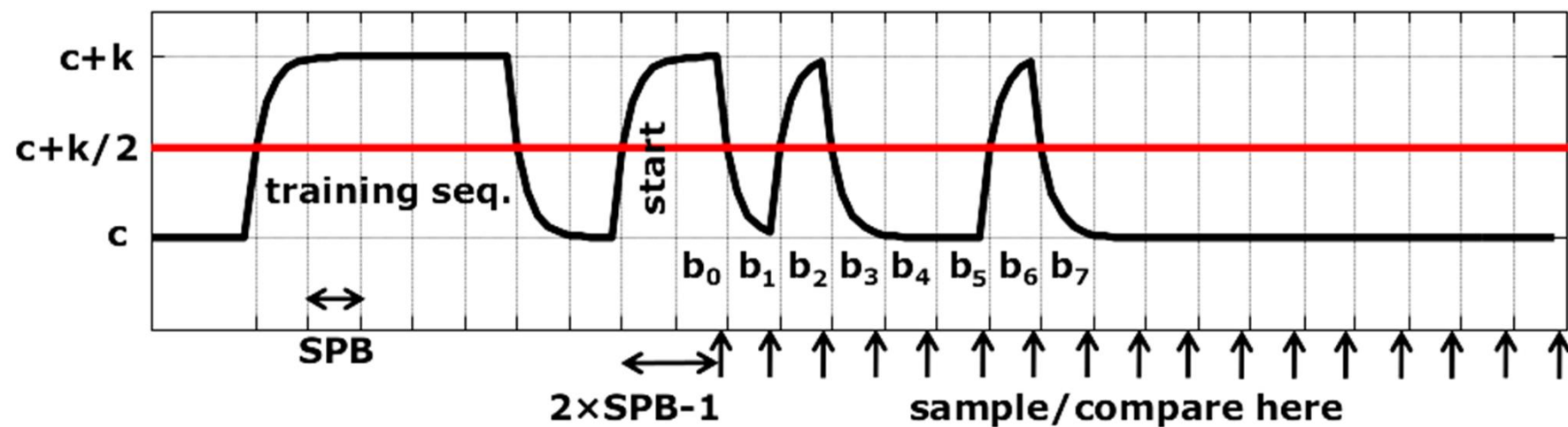
Formiranje frejma podataka



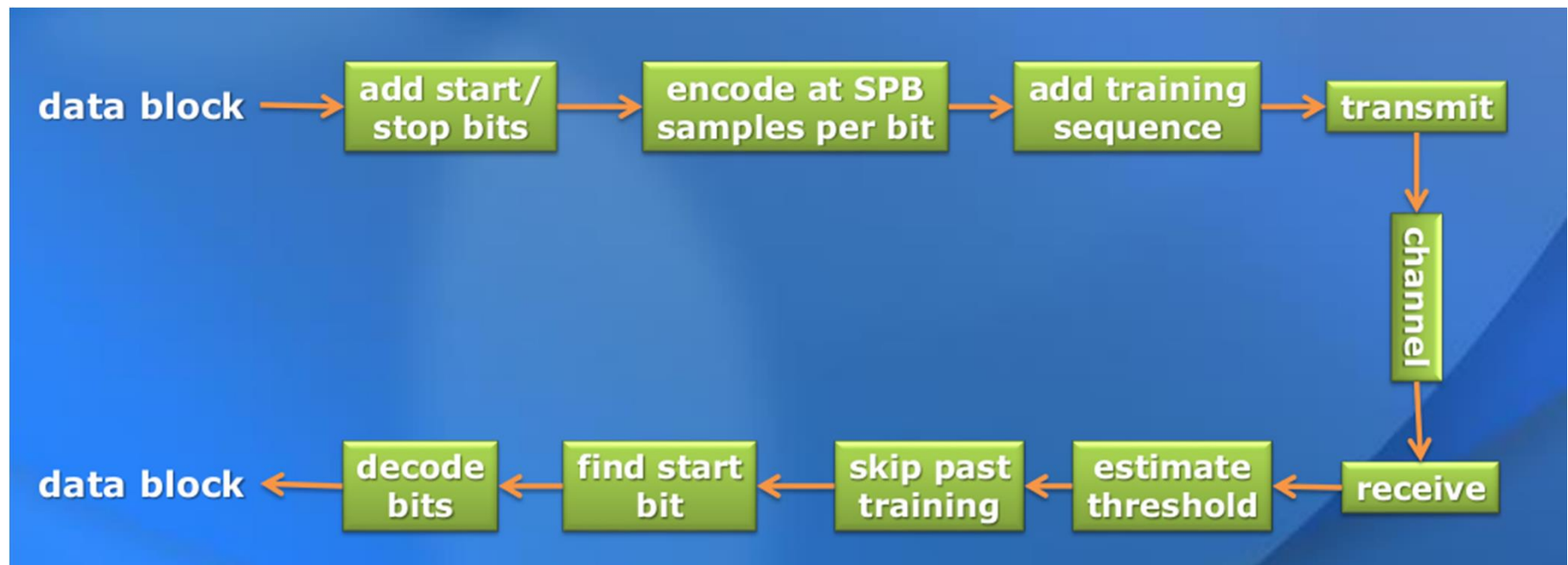
Primer jednostavnog protokola - predajna strana



Primer jednostavnog protokola - prijemna strana



Primer jednostavnog protokola - blok šema postupka



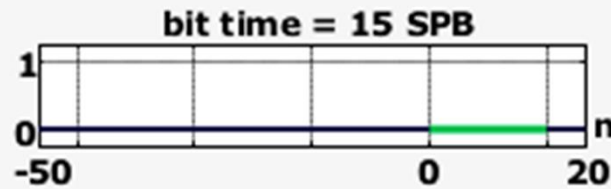
Intersimbolska interferencija

- Bitski protok R_b (bit rate) označava broj bita koji se mogu preneti u sekundi
- U većini sistema poželjno je da bitski protok ima veliku vrednost, odnosno malo vreme trajnja bita T_b
- *Bit Error Rate* (BER) predstavlja odnos pogrešno dekodovanih bita na prijemu u odnosu na ukupan broj bita
- Poželjno je da BER ima što manju vrednost
- Ako se postavlja veći bitski protok, odnosno manje vreme trajnja bita, BER raste.
- Jedan od razloga pojave grešaka na prijemu je intersimbolska interferencija (*Intersymbol Interference*, ISI)
- ISI je posledica pojave da odziv na bit 0 ili na bit 1 zavisi od bita koji je prenesen pre njega, jer je kanalu potrebno vreme da odrađuje na promenu

Odziv na 0 u slučaju različitih kombinacija prethodnih bita.

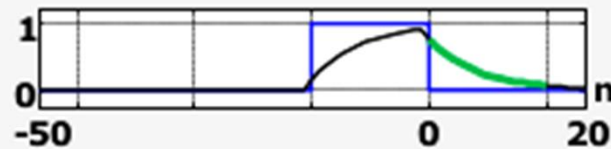
bit sequence

0000



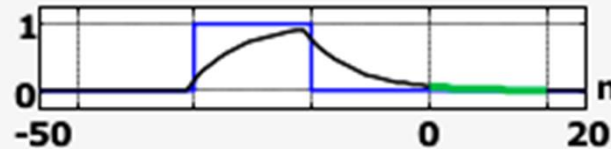
Response 0

0010



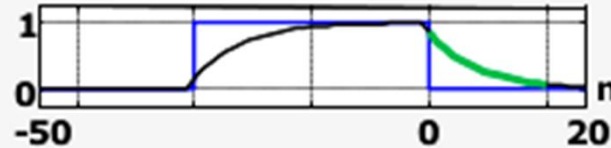
Response 1

0100



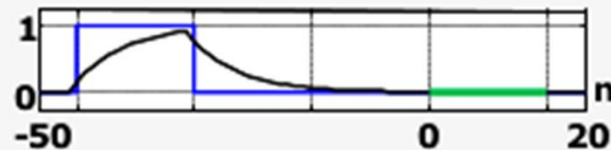
Response 0

0110



Response 1

1000



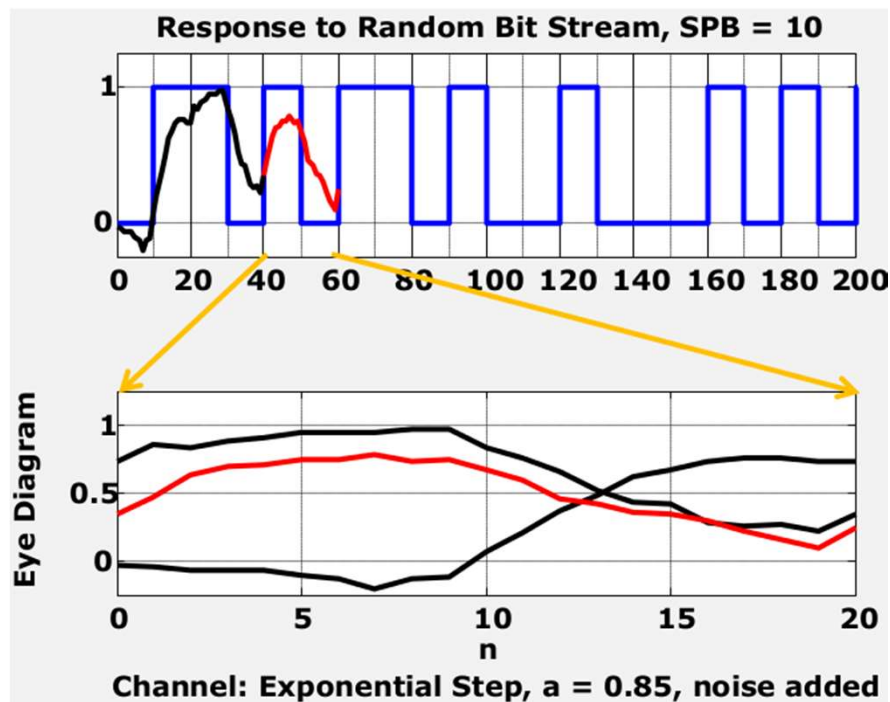
Response 0

Intersimbolska interferencija

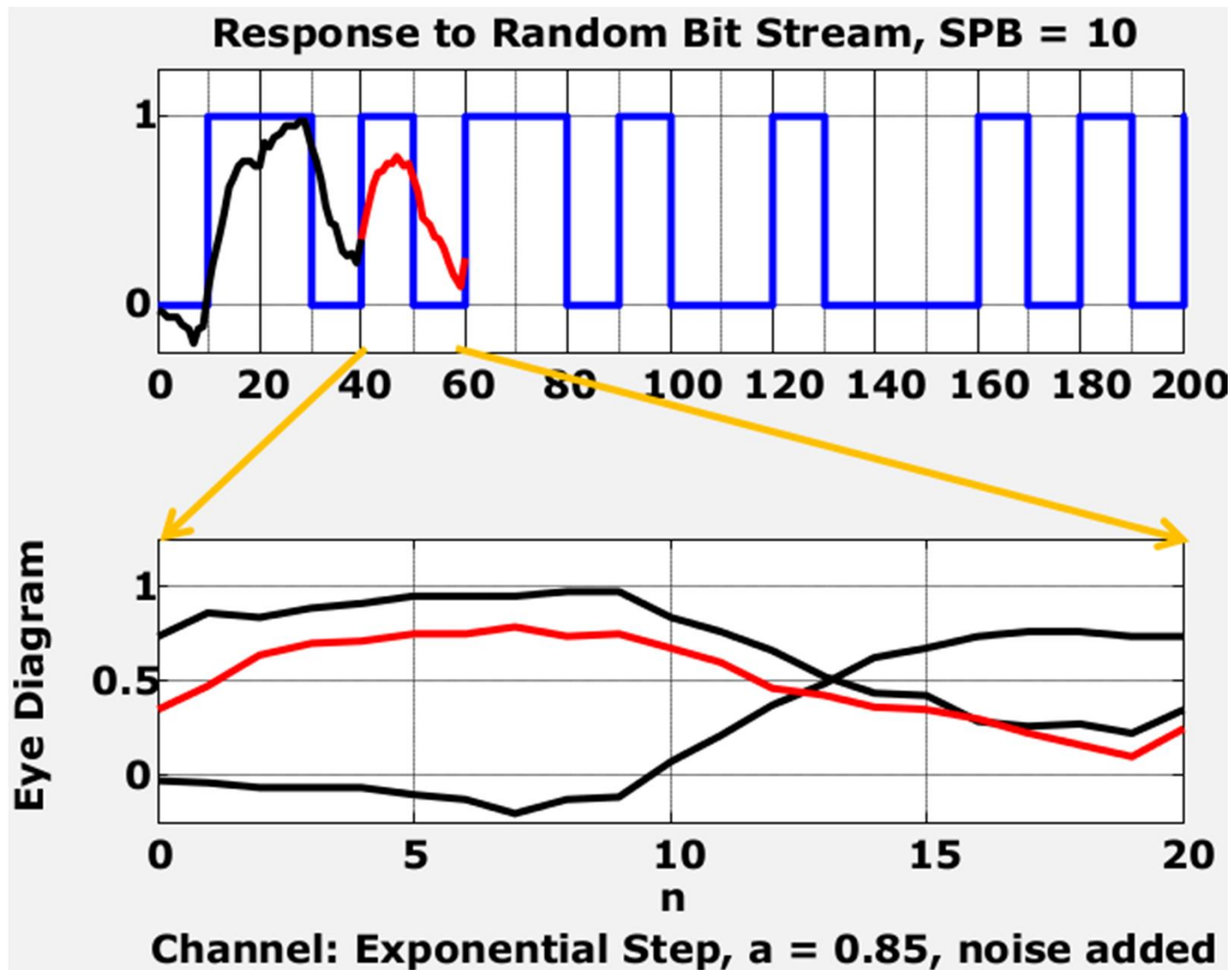
- Ako je broj odbiraka po bitu (SPB) manji, veća je ISI i više prethodnih bita utiče na detekciju trenutnog bita
- Da bi se smanjila ISI, moguće je na primer ubrzati reakciju kanala, međutim ovo nije uvek moguće i zahteva veću cenu realizacije
- Drugi način je da se poveća SPB, međutim to dovodi do povećanja vremena bita i smanjenja bitskog protoka
- Jedan način smanjenja ISI je pomoću ekvalizatora koji se razvijaju konstrukcijom modela u skladu sa modelom kanala

Dijagram oka

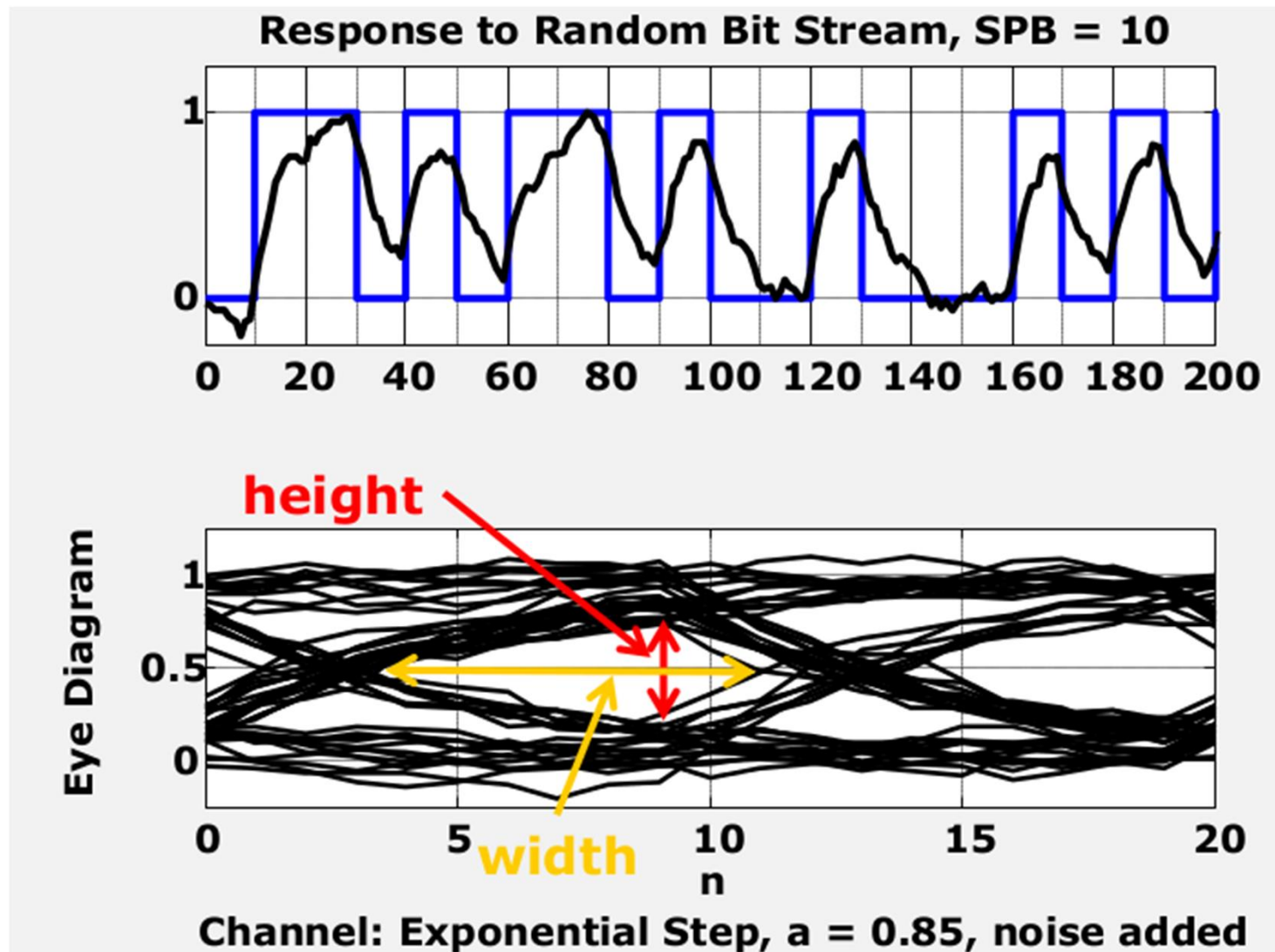
- Dijagram oka je grafička interpretacija ISI koja daje predstavu više odziva na bite 0 i 1



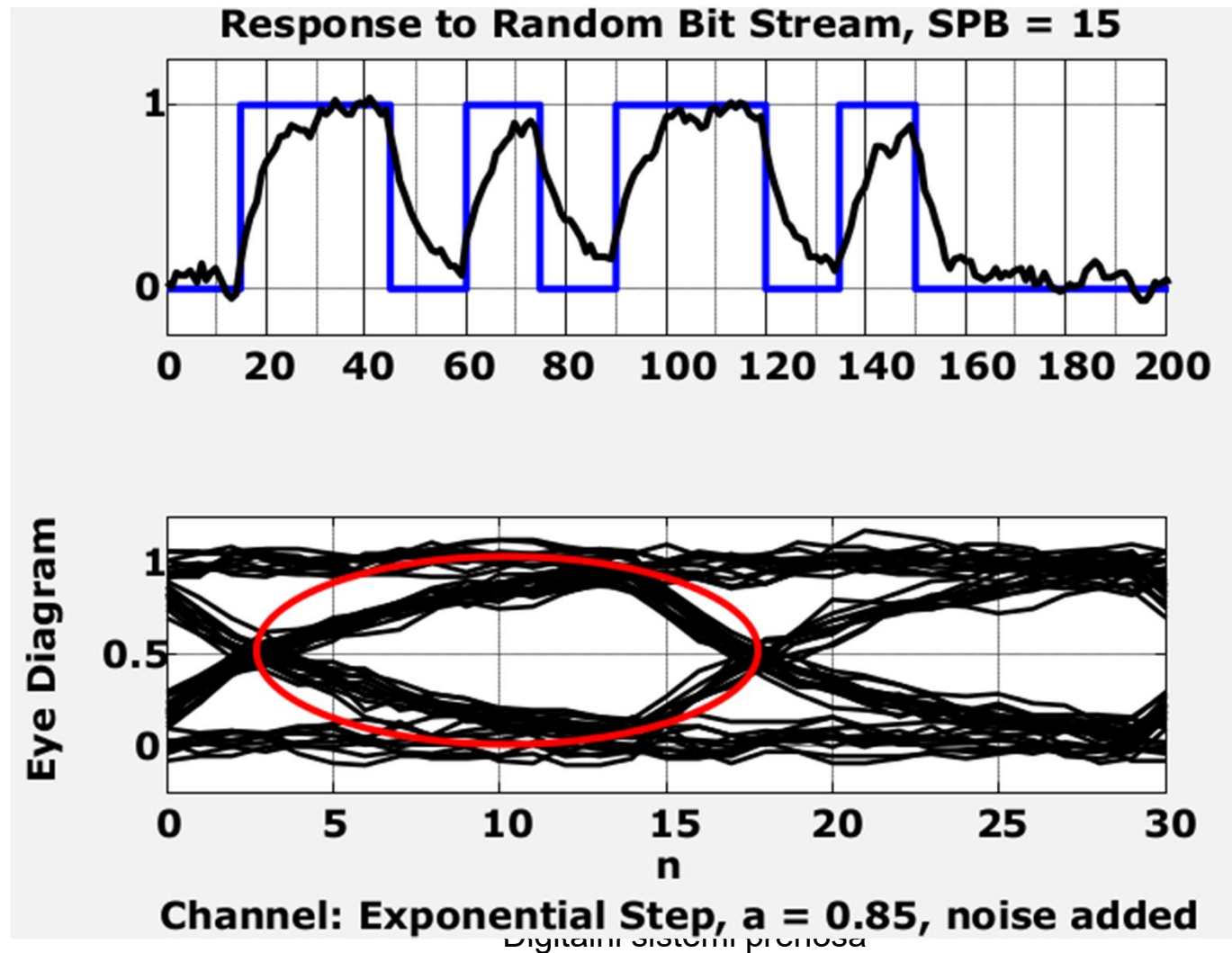
Konstrukcija dijagrama oka - rezultat nakon 60 odbiraka, SPB = 10



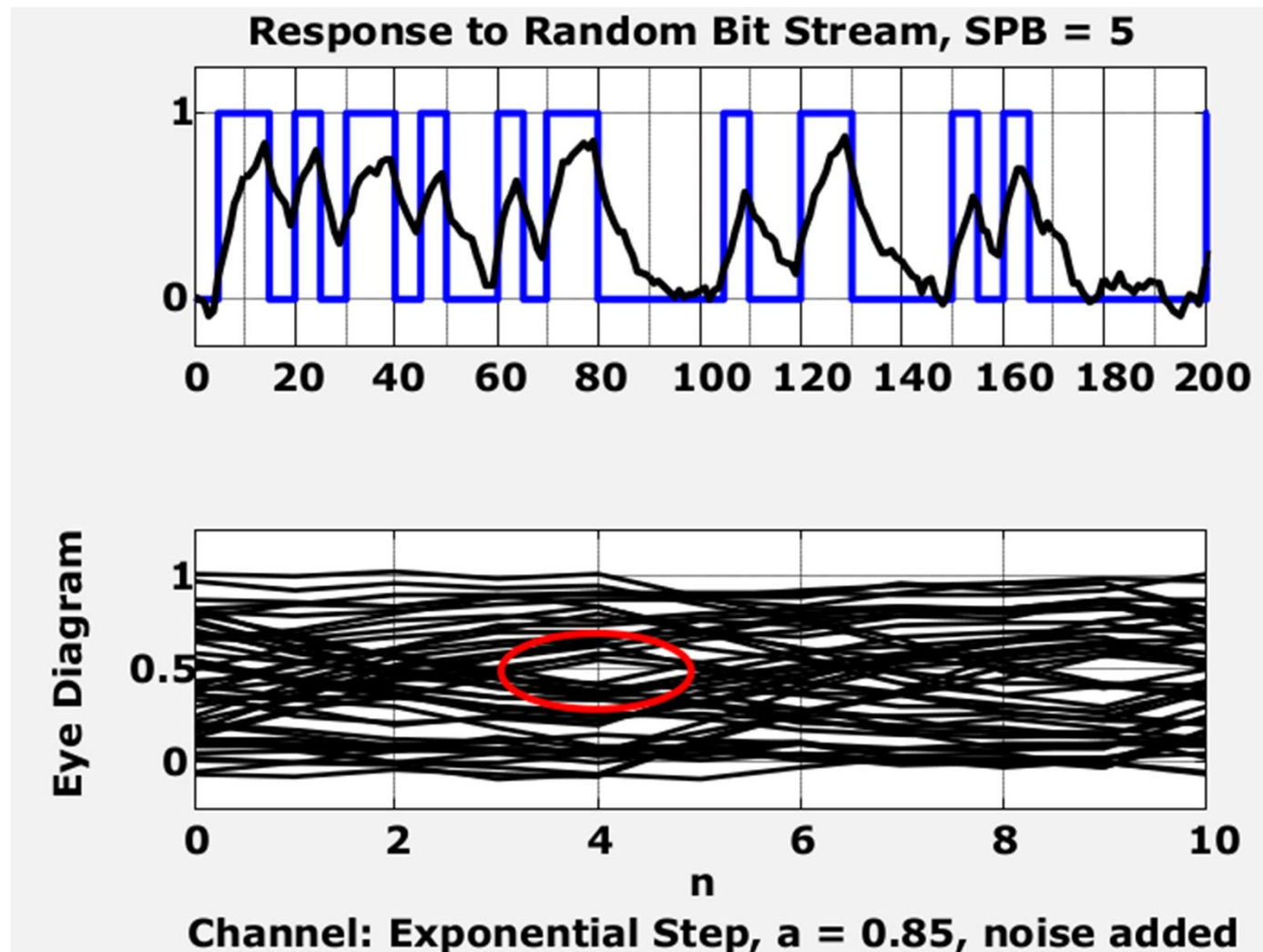
Konstrukcija dijagrama oka - rezultat nakon 200 odbiraka, SPB = 10



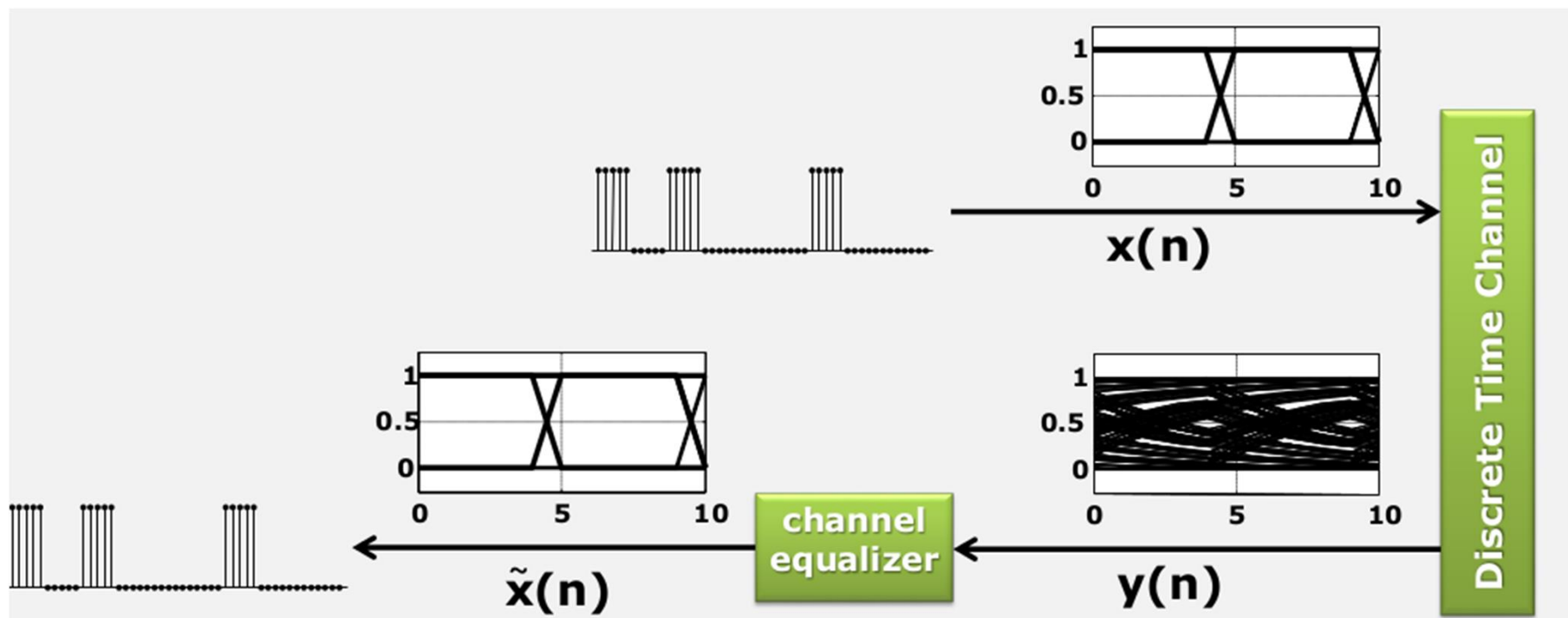
Dijagram oka za SPB = 15



Dijagram oka za SPB = 5



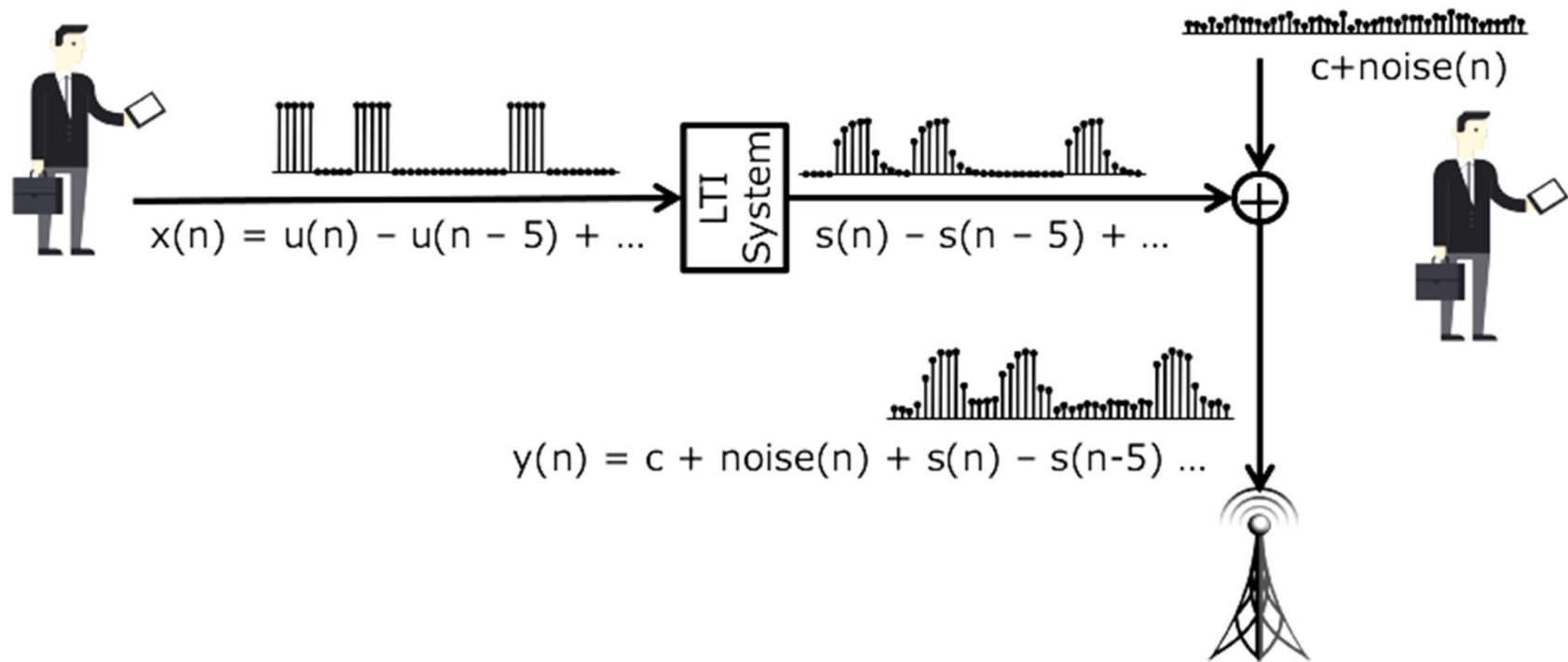
Uloga ekvalizatora



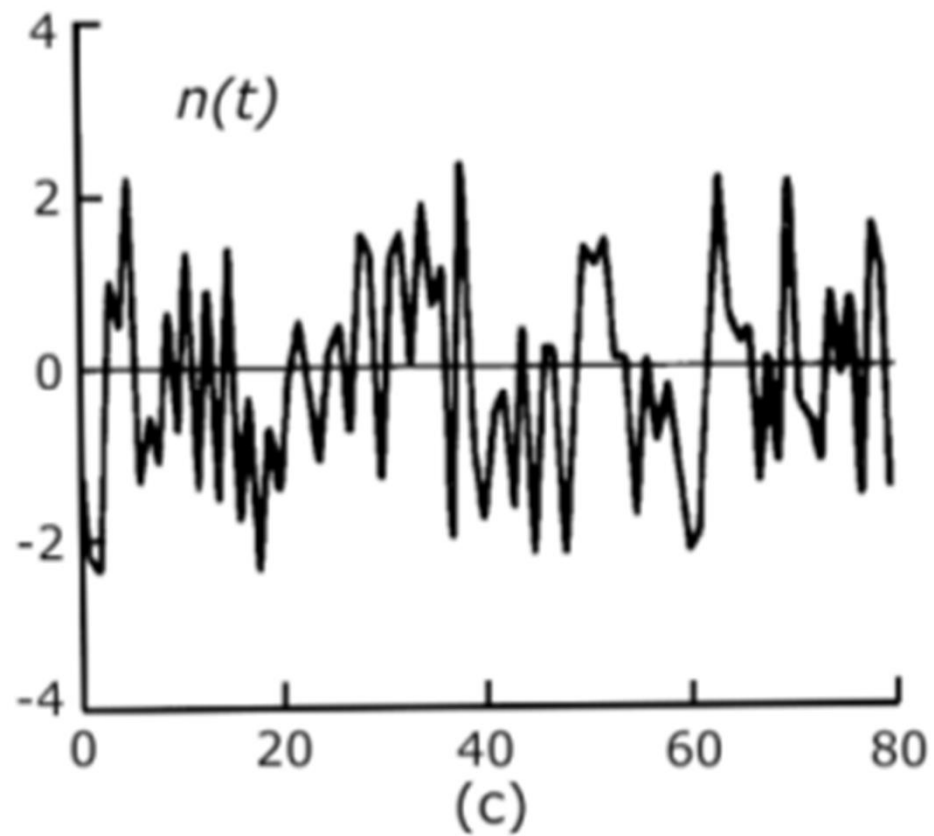
Šum

- Signal na prijemu predstavlja sumu dva člana: odziv na ulaz koji može da se izračuna kao odziv na step pobudu u skladu sa LTI (Long Time Invariant) pretpostavku i signala kao što su offset c i šum koje unosi okruženje (na primer, drugi korisnici, električne komponente)
- Šum je nezaobilazan u komunikacionim sistemima
- Tipičan šum predstavlja slučajni signal, kao što je ilustrovano na sledećoj slici
- Šum je prirodna pojava i najčešće je u pitanju termički šum
- Otpornici, uređaji, atmosfera su primeri izvora termičkog šuma
- Termički šum se javlja kao posledica kretanja elektrona i stvaranja slučajnih malih napona

Signal na prijemu kao suma odziva na ulaz i šuma



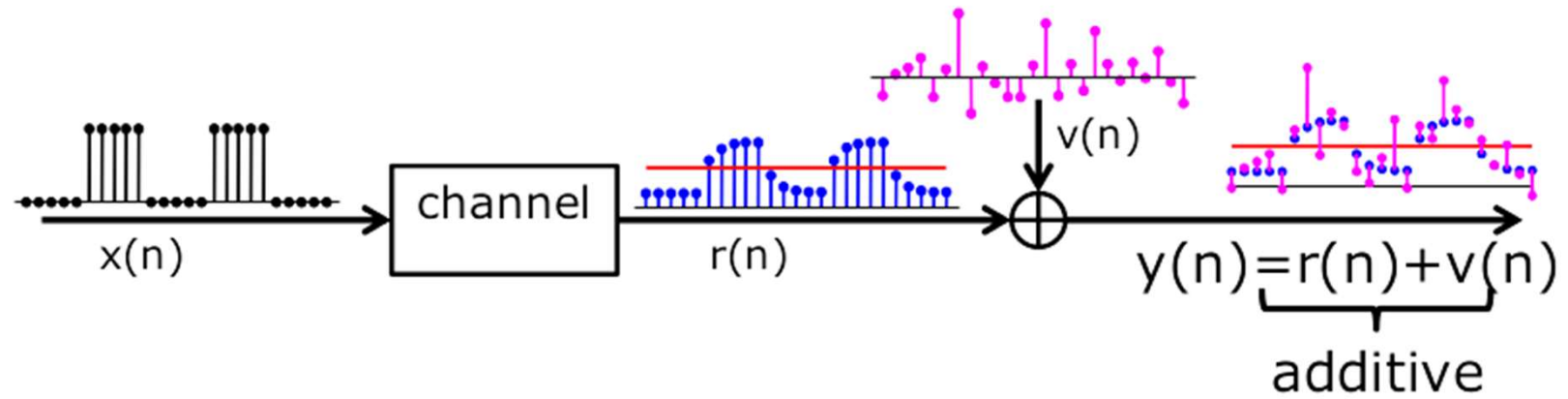
Signal šuma



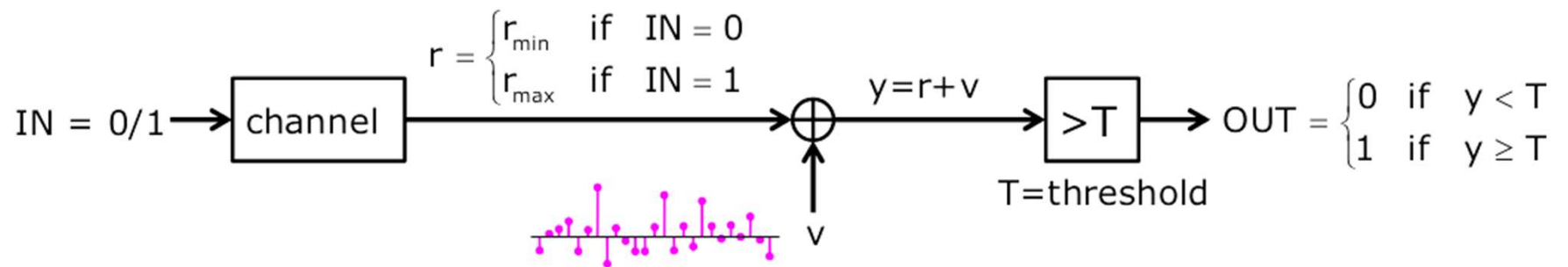
Šum

- Šum utiče na vrednost minimalnog signal koji se može uspešno detektovati na prijemu
- Manje vrednosti signala su poželjnije jer smanjuju potrošnju, ali ako je signal previše male amplitude koja pada i ispod nivoa šuma javljaju se greške
- Dodavanje šuma na signal ilustrovano je na slici
- Usvojene su oznake: $x(t)$ ulaz kanala, $r(t)$ izlaz kanala bez šuma, $v(t)$ šum i $y(t)$ primljeni signal
- Aditivni šum utiče na signal i može dovesti do pojave greške, ako je pomeraj šuma dovoljno veliki i odgovarajućem smeru da signal pređe prag odlučivanja

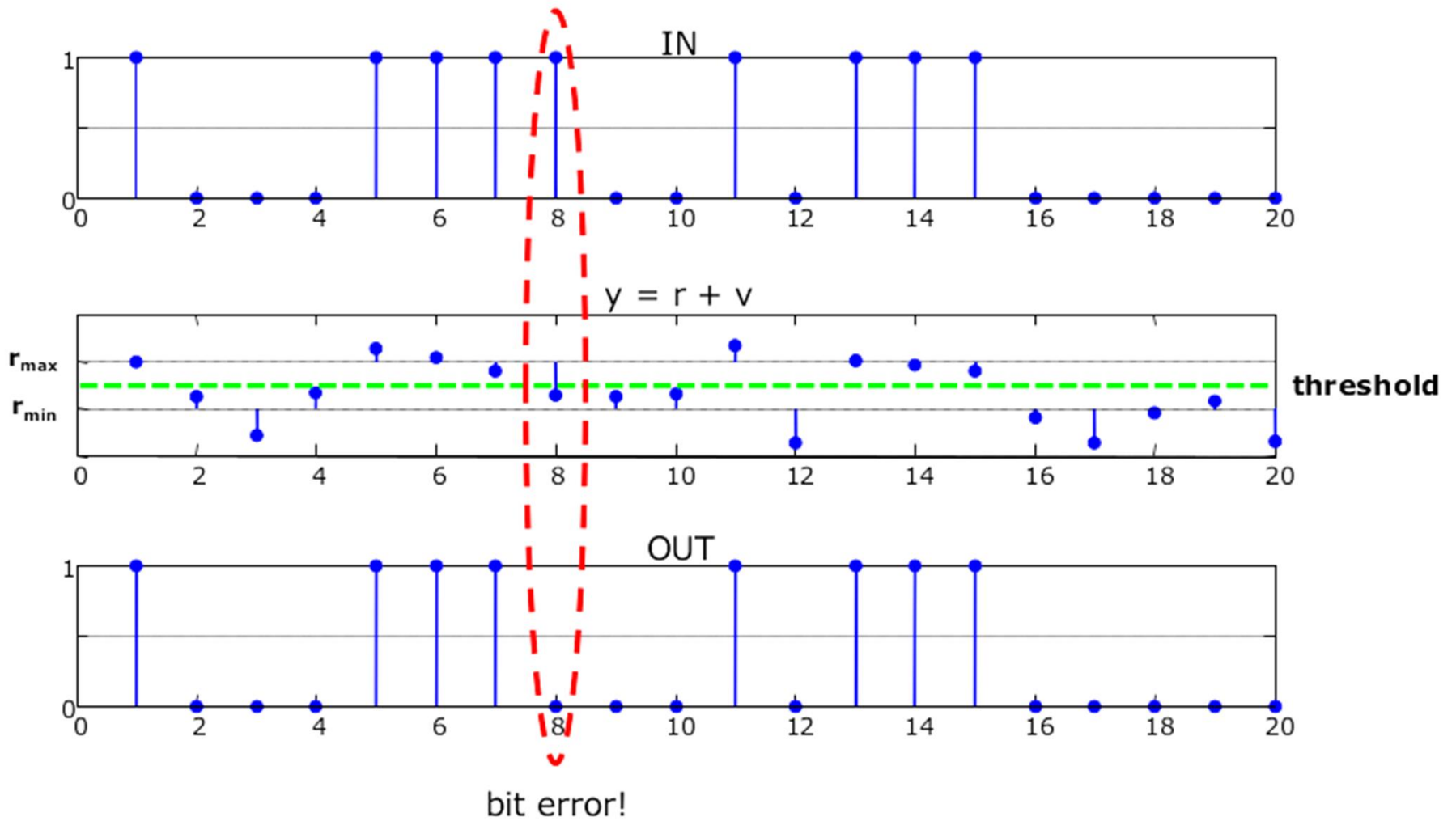
Signal šuma



Signal šuma



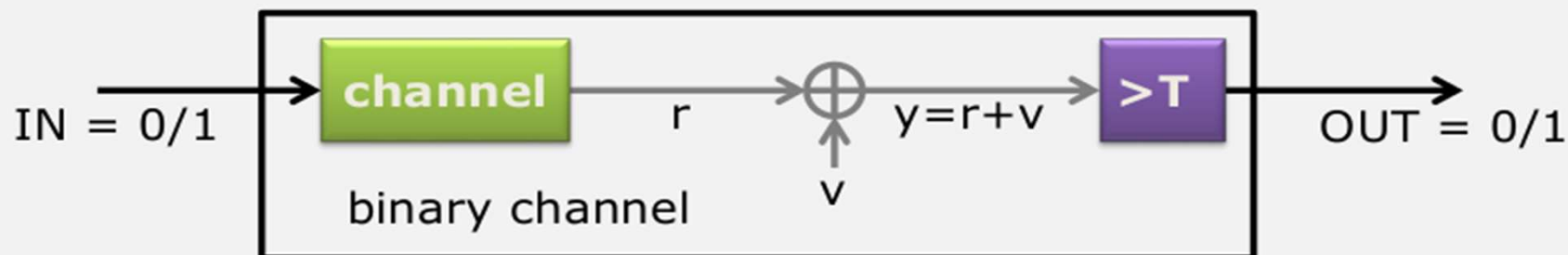
Signal šuma



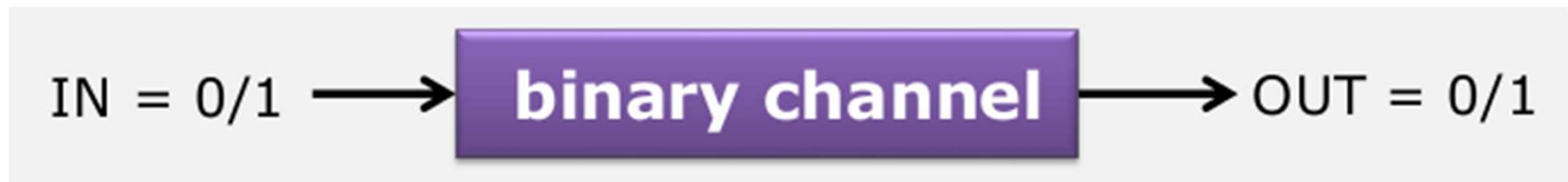
Model binarnog kanala i odredivanje BER-a

- Ako se zanemare detalji vezani za šum i nivoe primeljenog i ako se posmatraju samo ulazni i izlazni biti dobija se model binarnog kanala, kao što je ilustrovano na sledećej slici

Model binarnog kanala



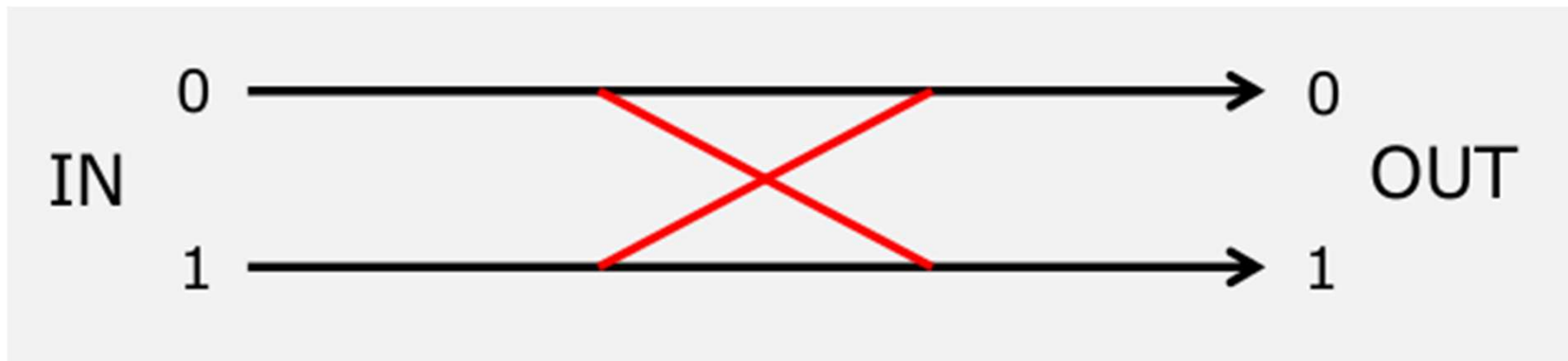
Pojednostavljeni model binarnog kanala



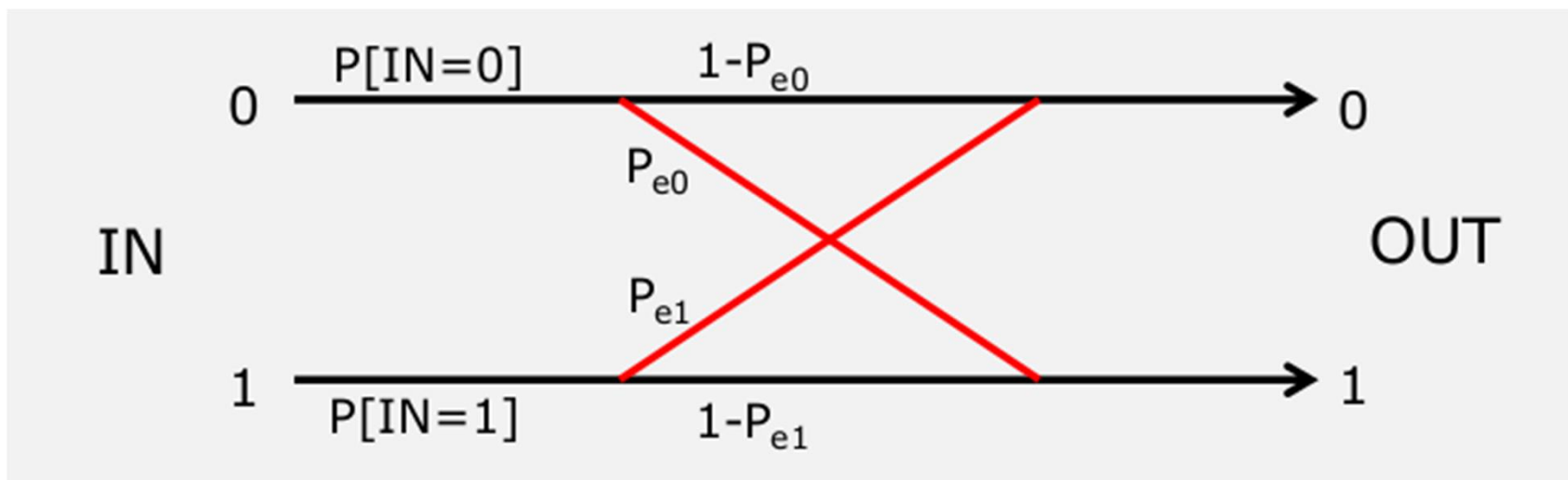
Model binarnog kanala i određivanje BER-a

- Binarni kanal podrazumeva da ulaz i izlaz imaju samo dve moguće vrednosti 0 ili 1, a idealno važe parovi
IN=0, OUT=0 i
IN=1, OUT=1
- Tada se kaže da nema greške pri prenosu, odnosno BER je nula
- Međutim, zbog postojanja šuma javljaju se i slučajevi kada je
IN=0, a OUT=1
i obrnuto
i tada važi $BER > 0$
- Ova četiri različita slučaja se opisuju verovatnoćama i ilustruju se kao na sledećoj slici

Moguće kombinacije bita ulaza i
izlaza binarnog kanala.



Model binarnog kanala - određivanje BER



Model binarnog kanala i određivanje BER-a

- Za određivanje BER binarnog kanala koristi se model kao na slici 33
gde su usvojene oznake:
- verovatnoća da je na ulazu bit nula $P[IN = 0]$,
- verovatnoća da je na ulazu bit jedinica $P[IN = 1]$,
- verovatnoća da je došlo do greške, ako je na ulazu bit nula P_{e0} ,
- verovatnoća da je došlo do greške, ako je na ulazu bit jedinica P_{e1} .

Model binarnog kanala i određivanje BER-a

- Važi da je
 $P[IN = 0] + P[IN = 1] = 1$
- Obično važi da je $P[IN = 0] = P[IN = 1] = 0.5$
- Verovatnoća greške BER se sada određuje pomoću izraza:
- $BER = P_e = P_{e0} P[IN = 0] + P_{e1} P[IN = 1]$
- Za model binarnog kanala dat na sledećoj slici
 $BER = 0.2 \cdot 0.6 + 0.3 \cdot 0.4 = 0.24.$

Primer detaljnog određivanja BER-a tabelarno i po modelu.

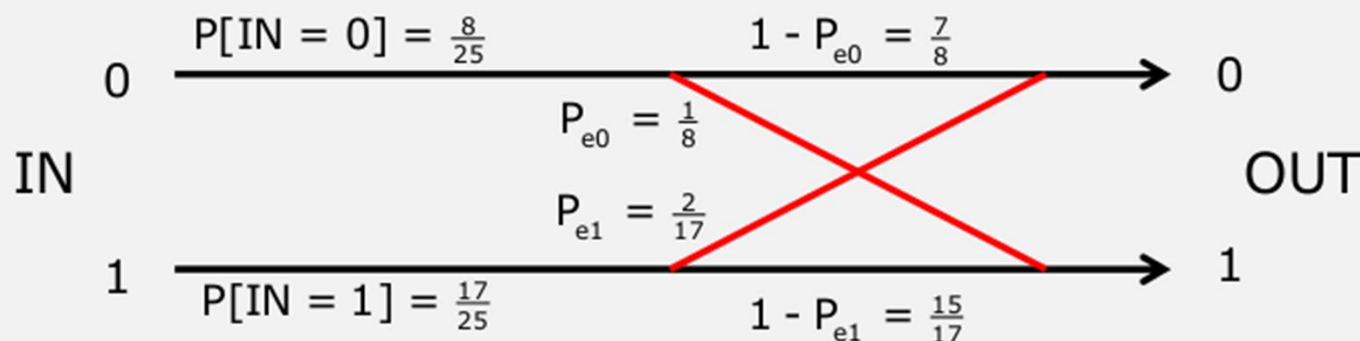
Input/Output Bit Streams

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
IN	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
OUT	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1

By definition:

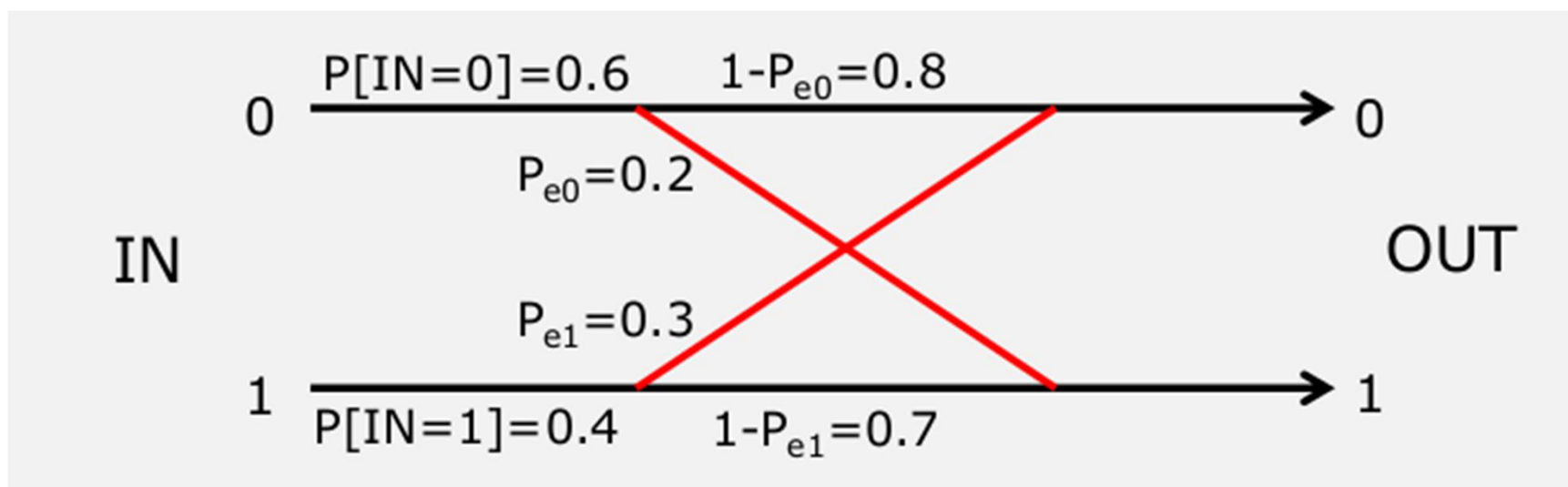
$$\text{BER} \approx \frac{\# \text{ of errors}}{\# \text{ of bit pairs}} = \frac{3}{25} = 12\%$$

Using our formula:



$$\text{BER} = P_{e0} \times [\text{IN} = 0] + P_{e1} \times [\text{IN} = 1] = \frac{1}{8} \times \frac{8}{25} + \frac{2}{17} \times \frac{17}{25} = \frac{3}{25}$$

Primer detaljnog određivanja BER-a - po modelu



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)