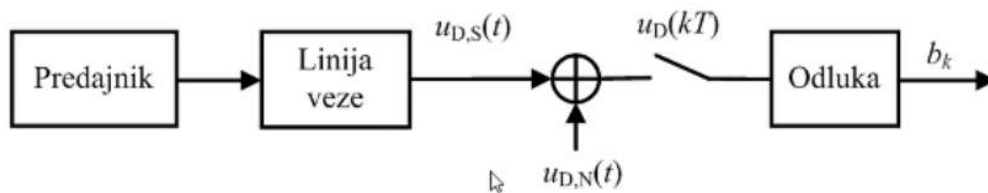


PREPORUČENA PITANJA ZA TREĆI KOLOKVIJUM

1. OPISATI PRINCIP ODLUČIVANJA U PRIJEMNIKU PRI PRENOSU BINARNIH SIGNALA (POLARNIH I UNIPOLARNIH)?

Uloga prijemnika je da na osnovu oblika prijemnog signala donese odluku koji simbol je poslat sa strane predaje. **Na osnovu pravila odlučivanja**, odluka se donosi za svaki interval signalizacije. Poredi se vrednost amplitude prijemnog signala sa pragom odlučivanja. Na osnovu posmatrane informacione sekvence na strani predaje se formira odgovarajući digitalni signal koji se šalje preko linije veze. Na strani prijema odluka o poslatom simbolu u datom intervalu signalizacije donose se na osnovu vrednosti odbiraka, koji se uzimaju odjednom u toku trajanja intervala signalizacije, ukupnog prijemnog signala. Ukupan prijemni signal (signal na ulazu u prijemnik) sadrži komponentu korisnog signala koji potiče sa strane predaje i predstavlja koristan signal koji nosi informaciju ($u_{D,S}$) i odgovarajuće smetnje ($u_{D,N}$) koja se opisuju modelom ABGŠ.



Iz toga zaključujemo da signal na osnovu koga se vrši odlučivanje ima oblik:

$u_D(t) = u_{D,S}(t) + u_{D,N}(t)$. Sa strane binarni simboli $b_k=1$ se pojavljuje sa verovatnoćom P_1 , a binarni simboli $b_k=0$ se pojavljuje sa verovatnoćom P_0 ($P_0+P_1=1$). Posmatra se NRZ signaliziranje, gde standardni signal kojim se vrši signaliziranje ima oblik pravougaonog impulsa trajanja intervalu signalizacije T . Komponenta korisnog dela signala, $u_{D,S}$ u k -tom intervalu signalizacije:

- $u_{D,S}(kt)=U_{D1}$ kada je u poslat binarni simbol $b_k=1$,
- $u_{D,S}(kt)=U_{D0}$ kada je poslat binarni simbol $b_k=0$.

Na mestu prijema nije poznato koji simbol b_k se prenosi u okviru posmatranog k -tog intervala signalizacije. Prijemnik "prepoznaje" simbole \rightarrow donosi odluke o tome koji simbol je poslat u posmatranom signalizacionom intervalu. Odluka se donosi na osnovu vrednosti amplitude signala $u_D(t)$ koja se uzima jednom u toku intervala signalizacije T .

- Koristan deo signala $u_{D,S}$ ima vrednost U_{D1} ($b_k=1$) sa verovatnoćom jednakom P_1 i vrednost U_{D0} ($b_k=0$) sa verovatnoćom jednakom P_0 .

- Analizira se slučaj kada greške pri odlučivanju nastaju kao posledica dejstva šuma.

- Kada ne bi postojalo dejstvo šuma ne bi dolazilo do grešaka u odlučivanju!

- Nije poznato unapred koliki je odbirak šuma koji deluje u trenutku uzimanja uzorka na osnovu kojeg se donosi odluka!

Poređenjem vrednosti $u_D(kT)$ sa naponom praga U_p (fiksni referentni napon) donosi se odluka o binarnom simbolu b_k , po pravilu odlučivanja:

$$u_D(kT) \geq U_p \Rightarrow b_k = 1,$$

$$u_D(kT) < U_p \Rightarrow b_k = 0.$$

2. IZVESTI OPŠTI IZRAZ ZA VEROVATNOĆU GREŠKE PRI ODLUČIVANJU U SLUČAJU PRENOSA BINARNIH SIGNALA U OSNOVNOM OPSEGU UČESTANOSTI KADA U KANALU DELUJE ABGŠ. NA ŠTA SE OVAJ IZRAZ SVODI U SLUČAJU UNIPOLARNIH I POLARNIH IMPULSA?

Pri odlučivanju može doći do dve vrste grešaka:

- Poslat simbol $b_k=1$, doneta odluka $b_k=0$ \rightarrow verovatnoća greške $P(0/1)$
- Poslat simbol $b_k=0$, doneta odluka $b_k=1$ \rightarrow verovatnoća greške $P(1/0)$

Pri prenosu simbola $b_k=1$ (na prijemu koristan signal amplitude $+U_{D1}$) do greške dolazi kada je amplituda odbirka u_D manja od praga, odnosno $u_D = +U_{D1} + u_{D,N} < U_p$, tj. odbirak šuma je (negativan) i manji od $u_{D,N} < -U_{D1} + U_p = -|U_{D1} - U_p|$, do čega dolazi sa verovatnoćom:

$$P(0|1) = P(u_D < U_p | U_{D1}) = \int_{-\infty}^{-|U_{D1} - U_p|} p(u_{D,N}) du_{D,N} = \int_{U_{D1} - U_p}^{+\infty} p(u_{D,N}) du_{D,N} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{U_{D1} - U_p}{\sqrt{2}\sigma_D} \right)$$

Pri prenosu simbola $b_k=0$ (poslat signal amplitude $+U_{D0}$) do greške dolazi kada je amplituda odbirka $u_D > U_p$, odnosno $u_D = U_{D0} + u_{D,N} > U_p$, tj. odbirak šuma $u_{D,N} > U_p - U_{D0} > 0$, do čega dolazi sa verovatnoćom:

$$P(1|0) = P(u_D > U_p | U_{D0}) = \int_{U_p - U_{D0}}^{+\infty} p(u_{D,N}) du_{D,N} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{U_p - U_{D0}}{\sqrt{2}\sigma_D}\right)$$

Funkcija $\operatorname{erfc}(\cdot)$ je monotono opadajuća, pa se verovatnoća greške $P(0/1)$ pri prenosu simbola $b_k=1$ smanjuje sa povećanjem rastojanja nivoa U_{D1} i napona praga U_p . Slično, verovatnoća greške $P(1/0)$ pri prenosu simbola $b_k=0$ se smanjuje sa povećanjem rastojanja nivoa U_{D0} i napona praga U_p .

Apriorne verovatnoće pojave binarnih simbola 0 i 1 u sekvenci koja se prenosi su P_0 i P_1 i srednja verovatnoća greške se može odrediti na osnovu formule totalne verovatnoće:

$$P_e = P_1 \times P(0/1) + P_0 \times P(1/0)$$

$$P_e = P_1 \times \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{U_{D1} - U_p}{\sqrt{2}\sigma_D}\right) + P_0 \times \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{U_p - U_{D0}}{\sqrt{2}\sigma_D}\right)$$

Izvedeni izraz važi za proizvoljne verovatnoće pojavljivanja simbola P_0 i P_1 i proizvoljan napon praga U_p . Formula se može primeniti za proizvoljan oblik impulsa koji se koristi za signaliziranje, gde su U_{D1} i U_{D0} amplitude komponente korisnog signala na odabiraču pri prenosu 1 i 0 u trenutku odabiranja i odlučivanja.

- P_e – ukupna, srednja verovatnoća greške pri odlučivanju
- $P(1)$ – apriorna verovatnoća da se pošalje 1
- $P(0|1)$ - verovatnoća da se primi 0 iako je poslata 1
- $P(0)$ - apriorna verovatnoća da se pošalje 0
- $P(1|0)$ - verovatnoća da se primi 1 iako je poslata 0

Kada su apriorne verovatnoće binarnih simbola međusobno jednake ($P_0=P_1$), optimalan prag odlučivanja jednak je aritmetičkoj sredini naponskih nivoa korisnih signala U_{D1} i U_{D0} , pa su prag i minimalna verovatnoća greške jednaki

$$U_{p,opt} = \frac{U_{D1} + U_{D0}}{2}$$

$$P_{e,min} = P_1 \times \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{U_{D1} - U_{p,opt}}{\sqrt{2}\sigma_D} \right) + P_0 \times \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{U_{p,opt} - U_{D0}}{\sqrt{2}\sigma_D} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{U_{D1} - U_{D0}}{2\sqrt{2}\sigma_D} \right)$$

U slučaju binarnog polarnog prenosa, binarnim simbolima 1 i 0 odgovaraju signali istih amplituda i suprotnih polariteta $\rightarrow U_{D1} = -U_{D0} = U_D$

$$P_{e,min} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{U_D}{\sqrt{2}\sigma_D} \right)$$

U slučaju binarnog unipolarnog prenosa, binarnom simbolu 1 odgovara koristan signal $U_{D1} = U_D$, a simbolu 0 odgovara koristan signal $U_{D0} = 0$

$$P_{e,min} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{U_D}{2\sqrt{2}\sigma_D} \right)$$

3. OBJASNITI NA KOJI NAČIN VEROVATNOĆA GREŠKE PRI ODLUČIVANJU ZAVISI OD PRAGA ODLUČIVANJA? KOJA VREDNOST PRAGA ODLUČIVANJA JE OPTIMALNA I OD KOJIH PARAMETARA PRI PRENOSU ONA ZAVISI?

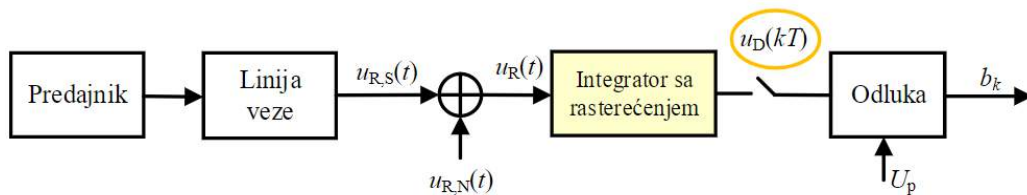
Napon praga odlučivanja može se slobodno birati u prijemniku, a izbor se najčešće obavlja tako da se postigne minimalna verovatnoća greške. Minimum verovatnoće greške se dobija kada je napon praga optimalan:

$$P_{e,min} = P_1 \times \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{U_{D1} - U_{p,opt}}{\sqrt{2}\sigma_D} \right) + P_0 \times \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{U_{p,opt} - U_{D0}}{\sqrt{2}\sigma_D} \right)$$

Ukoliko apriorne verovatnoće pojave simbola 1 i 0 nisu jednake, optimalna vrednost praga „udaljava“ se od nivoa koji odgovara simbolu koji se češće pojavljuje, tj. „bliža je“ naponskoj vrednosti koja odgovara simbolu koji se ređe

pojavljuje! Na taj način „štiti“ se prenos simbola koji ima veći „težinski faktor“ (jednak apriornoj verovatnoći pojavljivanja tog simbola) u ukupnoj verovatnoći greške pri odlučivanju P_e . Iz toga zaključujemo da prag odabiranja zavisi od apriornih verovatnoća pojave simbola 0 i 1.

4. PRINCIP RADA PRIJEMNIKA REALIZOVANOG U FORMI INTEGRATORA SA RASTEREĆENJEM. IZVESTI IZRAZE ZA VEROVATNOĆU GREŠKE PRI PRENOSA UNIPOLARNIH/POLARNIH BINARNIH NRZ SIGNALA.



Integrator sa rasterećenjem predstavlja prijemni filter (pre odabirača). Određuje integral ukupnog signala (koristan signal + ABGŠ) na ulazu u prijemnik u trajanju signalizacionog intervala T . Na ovaj način sakuplja se energija korisnog signala, usrednjava šum! Rezultat integracije se na početku signalizacionog intervala postavlja na nultu vrednost (integrator sa rasterećenjem). Predstavlja linearni sistem, prolazak signala i šuma mogu se posmatrati odvojeno.

Integrator sa rasterećenjem – polarno NRZ signaliziranje

Prenosi se polaran NRZ signal amplitude $\pm U$ (srednja snaga $P_s = U^2$), $P_0 = P_1$

Korisna komponenta signala na izlazu integratora sa rasterećenjem:

$$u_{D,S}(T) = \int_0^T \pm U dt = \begin{cases} U_{D1} = +UT, & \text{prenosi se binarni simbol 1,} \\ U_{D0} = -UT, & \text{prenosi se binarni simbol 0.} \end{cases}$$

Ako je SGSS šuma na ulazu u prijemnik p_N , pokazuje se da je srednja snaga šuma na izlazu integratora sa rasterećenjem:

$$\sigma_D^2 = \frac{p_N T}{2}$$

Kada je $P_0 = P_1$, optimalna vrednost praga je

$$U_{p,opt} = \frac{U_{D1} + U_{D0}}{2} = 0$$

Opšti izraz za verovatnoću greške:

$$P_e = P_1 \times \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{U_{D1} - U_{p,\text{opt}}}{\sqrt{2}\sigma_D} \right) + P_0 \times \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{U_{p,\text{opt}} - U_{D0}}{\sqrt{2}\sigma_D} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{UT}{\sqrt{2}\sigma_D} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{U^2 T}{P_N}} \right)$$

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{U^2 T}{P_N}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{P_S T}{P_N}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{P_N}} \right) \quad \begin{array}{l} P_S = U^2 \\ E_b = P_S T = U^2 T \end{array}$$

Integrator sa rasterećenjem – unipolarno NRZ signaliziranje

Prenosi se unipolaran NRZ signal amplituda U i 0 (srednja snaga $P_S = U^2/2$), $P_0 = P_1$

Korisna komponenta signala na izlazu integratora sa rasterećenjem:

$$u_{D,S}(T) = \begin{cases} U_{D1} = +UT, & \text{prenosi se binarni simbol 1,} \\ U_{D0} = 0, & \text{prenosi se binarni simbol 0.} \end{cases}$$

Ako je SGSS šuma na ulazu u prijemnik p_N , pokazuje se da je snaga šuma na izlazu integratora sa rasterećenjem

$$\sigma_D^2 = \frac{P_N T}{2}$$

Kada je $P_0 = P_1$, optimalna vrednost praga je:

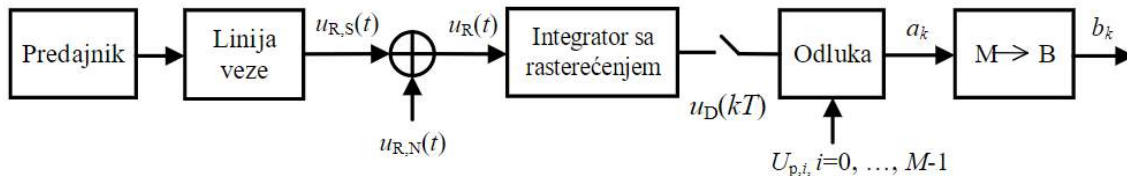
$$U_{p,\text{opt}} = \frac{U_{D1} + U_{D0}}{2} = \frac{UT}{2}$$

Opšti izraz za verovatnoću greške:

$$P_e = P_1 \times \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{U_{D1} - U_{p,\text{opt}}}{\sqrt{2}\sigma_D} \right) + P_0 \times \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{U_{p,\text{opt}} - U_{D0}}{\sqrt{2}\sigma_D} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{UT}{2\sqrt{2}\sigma_D} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{U^2 T}{4P_N}} \right)$$

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{U^2 T}{4P_N}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{P_S T}{2P_N}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{2P_N}} \right) \quad \begin{array}{l} P_S = U^2 / 2 \\ E_b = P_S T = U^2 T / 2 \end{array}$$

5. OPISATI PRINCIP ODLUČIVANJA U PRIJEMNIKU PRI PRENOSU POLARNIH VIŠENIVOVSKIH (M-ARNIH) SIGNALA U OSNOVNOM OPSEGU UČESTANOSTI, AKO U KANALU DELUJE ABGŠ. DA LI JE VEROVATNOĆA GREŠKE PRI ODLUČIVANJU JEDNAKA ZA SVE SIMBOLE? UKRATKO OPISATI POSTUPAK IZVOĐENJA IZRAZA ZA VEROVATNOĆU GREŠKE PO SIMBOLU.



Prenosi se M-arni polarni NRZ signal koji je na ulazu u prijemnik oblika:

$$u_{R,S}(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} a_k x(t - kT_M), a_k \in \{\pm 1, \pm 3, \dots, \pm(M-1)\}$$

U svakom intervalu signalizacije trajanja T_M prenosi se jedan od M mogućih simbola. Standardni signal $x(t)$ je pravougaoni impuls trajanja T_M i amplitude U . Signal na prijemu $u_R(t)$ se sastoji od sledećih komponenti: korisnog signala $u_{R,S}(t)$ i aditivnog belog Gausovog šuma $u_{R,N}(t)$ čija je SGSS jednaka p_N . Minimalna vrednost verovatnoće greške postiže se ako prijemni signal $u_R(t)$ pre donošenja odluke prolazi kroz integrator sa rasterećenjem. Integrator sa rasterećenjem je prijemnik koji obezbeđuje minimalnu verovatnoću greške - optimalni prijemnik za signaliziranje pravougaonim NRZ impulsima. Integrator sa rasterećenjem je linearni sistem pa se prolazak korisnog signala i šuma mogu posmatrati nezavisno. Ukupan signal na izlazu integratora sa rasterećenjem sastoji se od komponente korisnog signala $u_{D,S}$ i komponente šuma $u_{D,N}$. Vrednosti korisnog signala na ulazu u prijemnik jednake su:

$$u_{R,S}(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} a_k x(t - kT_M), a_k \in \{\pm 1, \pm 3, \dots, \pm(M-1)\}$$

Vrednosti korisnog signala na izlazu integratora sa rasterećenjem:

$$U_{Di} = \int_0^{T_M} u_{R,S}(t) dt = \int_0^{T_M} a_k x(t) dt = a_k UT_M$$

$$U_{Di} \in \{-(M-1)UT_M, \dots, -3UT_M, -UT_M, +UT_M, +3UT_M, \dots, (M-1)UT_M\}$$

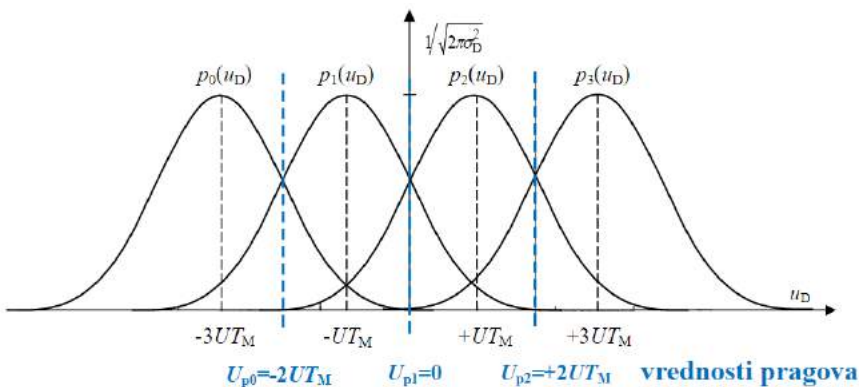
Odluke se donose na kraju intervala signalizacije trajanja T_M . Na kraju svakog intervala signalizacije, vrednost amplitude odbirka $u_D(kT)$ poredi se sa $M-1$ pragova odlučivanja, na osnovu čega se donosi odluka koji od mogućih M simbolaje poslat. Svih M simbola pojavljuje sa jednakim apriornim verovatnoćama, pa se pragovi odlučivanja U_{pi} , $i=0,1,\dots,M-2$ nalaze na jednakim rastojanjima između napona koji odgovaraju susednim simbolima. Pragovi odlučivanja jednaki su:

$$U_{pi} \in \{-(M-2)UT_M, \dots, -2UT_M, 0, +2UT_M, \dots, (M-2)UT_M\}$$

Vrednost snage šuma na izlazu integratora sa rasterećenjem (na ulazu u odabirač):

$$\sigma_D^2 = \frac{P_N T_M}{2}$$

Postupak odlučivanja ilustrovan je na primeru $M=4$.



Za svaku od $M=4$ vrednosti amplituda, vrednosti amplituda odbiraka $u_D(kT)$ prate Gausovu raspodelu:

$$p_i(u_D) = p(u_D|i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_D}} e^{-\frac{(u_D - U_{Di})^2}{2\sigma_D^2}}, \quad i = 0, 1, \dots, M-1 \quad \sigma_D^2 = \frac{P_N T_M}{2}$$

Srednja vrednost U_D i odgovara vrednosti korisnog dela signala.

$$U_{Di} \in \{-3UT_M, -UT_M, +UT_M, +3UT_M\}$$

Pravilo odlučivanja

$$\begin{aligned}
 u_D(kT_M) < U_{p0} &\Rightarrow a_k = -3, \\
 U_{p0} \leq u_D(kT_M) < U_{p1} &\Rightarrow a_k = -1, \\
 U_{p1} \leq u_D(kT_M) < U_{p2} &\Rightarrow a_k = +1, \\
 u_D(kT_M) \geq U_{p2} &\Rightarrow a_k = +3.
 \end{aligned}$$

Verovatnoću da dođe do greške pri odlučivanju za svaki od M simbola računamo kao verovatnoću da šum uzme vrednost veću/manju od granične, tako da dođe do greške. Verovatnoća greške pri prenosu signala najmanje amplitude (pri odlučivanju postoji jedan prag U_{p0} sa desne strane) i signala najveće amplitude (pri odlučivanju postoji jedan prag U_{p2} sa leve strane) je dvostruko manja u odnosu na verovatnoću greške pri prenosu signala za koje pri odlučivanju postoje pragovi odlučivanja sa „obe“ strane.

Verovatnoća da dođe do greške pri prenosu signala amplitude $-3U$ (na izlazu integratora $-3UT_M$)

$$P_e(k \neq 0 | 0) = \Pr\{-3UT_M + u_{D,N} > -2UT_M\} = \Pr\{u_{D,N} > UT_M\} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{UT_M}{\sqrt{2}\sigma_D}\right)$$

Verovatnoća da dođe do greške pri prenosu signala amplitude $+3U$ (na izlazu integratora $+3UT_M$)

$$P_e(k \neq 3 | 3) = \Pr\{3UT_M + u_{D,N} < 2UT_M\} = \Pr\{u_{D,N} < -UT_M\} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{UT_M}{\sqrt{2}\sigma_D}\right)$$

Slično, verovatnoće greške pri prenosu signala amplitude $-U$ i $+U$ (na izlazu integratora amplitude $-UT_M$ i $+UT_M$) jednake su verovatnoći da komponenta šuma $u_{D,N}$ po apsolutnoj vrednosti bude veća od UT_M tako da ukupan odbirak u_D ne bude u regionu odlučivanja koji odgovara poslatom simbolu

$$P_e(k \neq 1 | 1) = P_e(k \neq 2 | 2) = \Pr\{u_{D,N} < -UT_M \vee u_{D,N} > UT_M\} = \Pr\{|u_{D,N}| > UT_M\} = 2 \times \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{UT_M}{\sqrt{2}\sigma_D}\right)$$

Pretpostavlja se da su apriorne verovatnoće pojavljivanja svih simbola jednake $P_k = 1/M$, $k=0, \dots, M-1$. Za $M=4$, srednjaverovatnoća greške po simbolu pri M -arnom prenosu u OOU je:

$$P_{e,s} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{UT_M}{\sqrt{2}\sigma_D}\right) + 2 \times \operatorname{erfc}\left(\frac{UT_M}{\sqrt{2}\sigma_D}\right) + \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{UT_M}{\sqrt{2}\sigma_D}\right) \right) = \frac{3}{4} \operatorname{erfc}\left(\frac{UT_M}{\sqrt{2}\sigma_D}\right)$$

U opštem slučaju, verovatnoće greške za signal najmanje i najveće amplitude su dvostruko manje od verovatnoće greške pri prenosu preostalih (M-2) simbola i

$$P_{e,s} = \sum_{k=1}^M \frac{1}{M} P_e(i \neq k | k) = \frac{1}{M} \left(\frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{UT_M}{\sqrt{2}\sigma_D} \right) + (M-2) \times \operatorname{erfc} \left(\frac{UT_M}{\sqrt{2}\sigma_D} \right) + \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{UT_M}{\sqrt{2}\sigma_D} \right) \right)$$

$$P_{e,s} = \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \left(\frac{UT_M}{\sqrt{2}\sigma_D} \right)$$

Srednja snaga M-arnog NRZ signala na ulazu u prijemnik P_R i srednja snaga šuma σ_D^2 na odabiraču mogu se izraziti kao

$$P_R = \frac{M^2-1}{3} U^2 \wedge \sigma_D^2 = \frac{p_N T_M}{2} \Rightarrow P_{e,s} = \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3P_R T_M}{(M^2-1)p_N}} \right)$$

Verovatnoća P_e , Spokazuje sa kojom verovatnoćom dolazi do greške pri odlučivanju o vrednosti poslatog simbolana osnovu očitane amplitude prijemnog signala na odabiraču. Do greške dolazi kada je poslat neki simbol a_k , $k=0, \dots, M-1$, a u prijemniku je doneta odluka da je poslat neki drugi simbol a_i , $i \neq k$.

• Izraz za verovatnoću greške po simbolu (Symbol Error Rate, SER) može se napisati u sledećem obliku:

$$P_{e,s} = \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3P_R T_M}{(M^2-1)p_N}} \right)$$

gde je P_R srednja snaga M-arnog signala na ulazu u prijemnik, p_N je spektralna gustina srednje snage ABGŠ na ulazu u prijemnik, M je broj simbola, T_M je trajanje intervala signalizacije, $V_M=1/T_M$ brzina signaliziranja.

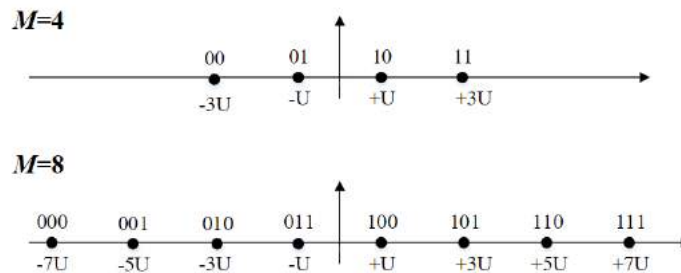
6. OPISATI NA KOJI NAČIN SE VRŠI BINARNO, A NA KOJI GREJEVO MAPIRANJE BITA U M-ARNE SIMBOLE. DO KOJIH GREŠAKA PRI ODLUČIVANJU O POSLATOM SIMBOLU NAJČEŠĆE DOLAZI? KOJA VEZA POSTOJI IZMEĐU VEROVATNOĆE GREŠKE PO SIMBOLU I VEROVATNOĆE GREŠKE PO BITU KADA JE PRIMENJENO GREJEVO MAPIRANJE?

Binarni kod:

Pri prelazu sa binarnih na M-arne simbole, može se koristiti direktan način kodovanja (decimalni redni broj simbola koduje se binarnom kodnom reči). Na osnovu izvođenja verovatnoće greške po simbolu, može se uočiti da se u najvećem broju slučajeva greške javljaju tako da se umesto simbola a_k detektuju

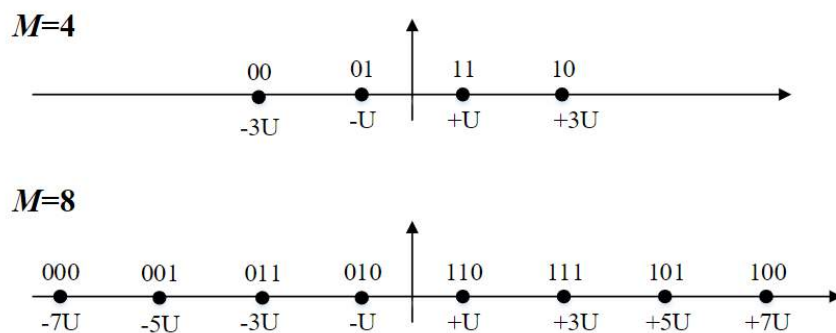
susedni simbol a_{k+1} ili a_{k-1} (postoje i greške druge vrste, ali se javljaju znatno ređe!). Nedostatak direktnog načina kodovanja, može se ilustrovati na primeru $M=8$

- Pogrešno primljen $-5U(001)$ umesto $-7U(000)$ -> jedan bit pogrešno prenet
- Pogrešno primljen $-5U(001)$ umesto $-3U(010)$ -> dva bita pogrešno prenet
- Primljen $+U(100)$ umesto $-U(011)$ -> sva tri bita u kodnoj reči su pogrešna.



Grejev kod:

Kod Grejevog (Gray) koda preslikavanje je izvršeno na takav način da se susedni simboli razlikuju samo za jedan bit. Kada su simboli kodovani na ovde prikazan način, ukoliko dođe do greške i umesto bilo kog simbola se donese pogrešna odluka da je poslat neki od susednih simbola (upravo takve greške se najčešće javljaju!), kao posledica ove odluke doći će do greške na samo jednom prenetom bitu.



U slučaju primene Grejevog koda, ukoliko dođe do greške pri prenosu simbola, u proseku je samo jedan od $\log_2 M$ bita pogrešno prenet pa je verovatnoća greške po bitu $P_{e,b}$ približno $\log_2 M$ puta manja od verovatnoće greške po simbolu $P_{e,S}$.

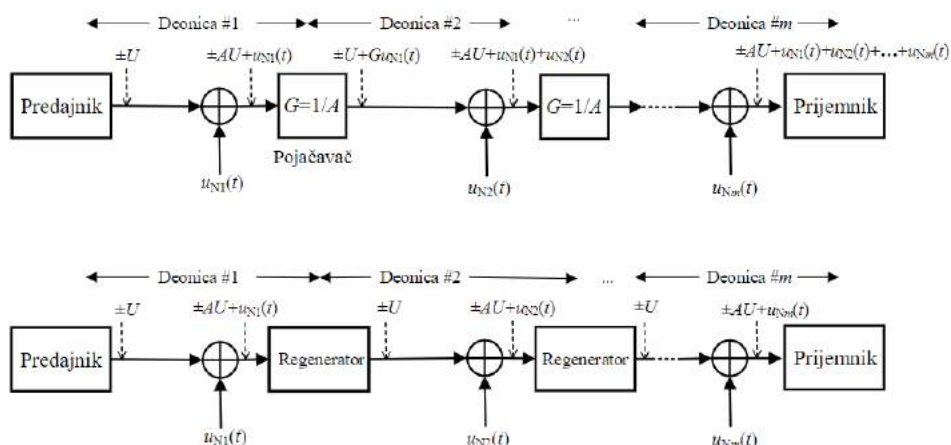
Na osnovu prethodno izvedenih izraza za verovatnoću greške po simbolu, verovatnoća greške po bitu se može napisati u sledećem obliku:

$$P_{e,b} = \frac{1}{\log_2 M} P_{e,S} = \frac{1}{\log_2 M} \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3P_R T_M}{(M^2 - 1)P_N}} \right)$$

7. UPOREDITI NAČIN I KARAKTERISTIKE PRENOSA DIGITALNIH SIGNALA NA VEĆIM RASTOJANJIMA PRIMENOM SISTEMA SA REGENERATORIMA I POJAČAVAČIMA.

Značajan efekat na prenos signala osim dejstva šuma i ISI ima i slabljenje signala. Kao posledica slabljenja, prenos digitalnih signala sa prihvatljivom vrednošću verovatnoće greške (dovoljno malom) je realno moguć samo do određenog rastojanja. Ukupna dužina linije veze može se podeliti na više deonica (tako da ukupna verovatnoća greške pri prenosu ima željenu vrednost), gde se na kraju svake deonice nalaze:

- Pojačavači - na kraju svake deonice signal se pojačava i prosleđuje na sledeću deonicu
- Regeneratora - na kraju svake deonice vrši se detekcija signala i generisanje „novog“ signala „očišćenog“ od dejstva šuma.



Kada se primenjuje sistem sa pojačavačima, na kraju svake deonice ukupan prijemni signal se pojačava i dalje prenosi na sledeću deonicu. Svaki pojačavač generiše šum snage σ^2 , koji se prenosi na sve sledeće deonice u nizu, pa dolazi do kumulativnog efekta šuma i ukupna snaga šuma nakon m deonica iznosi

$m\sigma^2$. U sistemu sa regeneratorima, na kraju svake deonice se vrši detekcija signala i generisanje „novog“ signala „očišćenog“ od dejstva šuma. Na svakom od regeneratora može doći do greške pri odlučivanju sa verovatnoćom $P_{e,1}$. Ukoliko je sistem dobro dimenzionisan ($P_{e,1} \ll 1$), ukupna verovatnoća greške pri prenosu binarnog simbola je približno $m \times P_{e,1}$ (verovatnoća pojave greške na dva ili više regeneratora je zanemarljivo mala). Regeneratorski pristup ne dovodi do akumulacije šuma -> jedna od najvažnijih prednosti korišćenja digitalnih signala! Pojačava se signal ali i šum (na ulazu u n-ti pojačavač, snaga šuma je n puta veća u odnosu na prvi pojačavač -> kumulativni uticaj šuma)

Primena regeneratora

$$P_{e,reg} \approx m \times \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{AU}{\sqrt{2\sigma^2}} \right)$$

Primena pojačavača

$$P_{e,poj} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{AU}{\sqrt{2m\sigma^2}} \right)$$

PREPORUČENA PITANJA ZA TREĆI KOLOKVIJUM(1)

8. POJAM MODULACIJE. ŠTA PODRAZUMEVA PRENOS SIGNALA U OSNOVNOM OPSEGU UČESTANOSTI, A ŠTA U TRANSPONOVANOM OPSEGU UČESTANOSTI?

U osnovnom opsegu učestanosti (OOU):

Prenos digitalnog signala moguće je obaviti u opsegu učestanosti u kojem se njegov spektar prirodno nalazi (baseband). Značajne spektralne komponente se prenose na relativno niskim učestanostima, a širina opsega zavisi od brzine signaliziranja i vrste digitalnog signala. Kanal se opisuje filtrom propusnikom niskih učestanosti. Na ovaj način signal se prenosi u digitalnoj telefoniji, računarskim mrežama.

U transponovanom opsegu učestanosti (TOU):

Signal se prenosi u višem opsegu učestanosti (u uskom opsegu oko centralne učestanosti f_0), u kojem se ne nalazi prirodno. Transponovanje spektra signala na više učestanosti obavlja se postupkom modulacije, a prenos se vrši u transponovanom opsegu učestanosti (opseg zavisi od učestanosti nosioca f_0 , primenjene modulacione tehnike i brzine signaliziranja). Kanal se opisuje filtrom propusnikom opsega učestanosti. Ovakav način prenosa signala je neophodno koristiti kada je za prenos signala na raspolaganju određeni opseg na višim učestanostima, za bilo koju vrstu bežičnog prenosa signala, kao i kad god se primenjuje FDM pristup (frekvencijski multipleks).

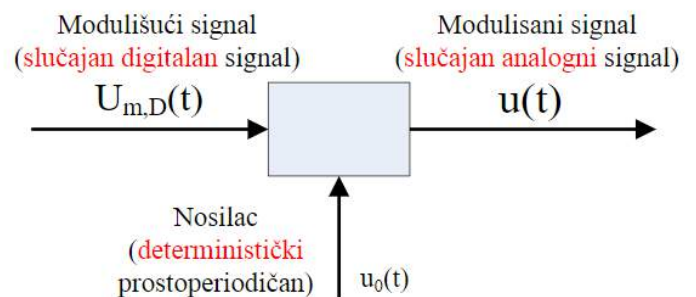
9. OBJASNITI ŠTA PREDSTAVLJA DIGITALNO MODULISAN SIGNAL, MODULIŠUĆI SIGNAL I SIGNAL NOSIOCA. OBJASNITI PRINCIP PRENOSA BINARNIH SIGNALA POSTUPCIMA ASK, FSK I PSK.

Digitalni modulacioni postupci podrazumevaju prenos digitalnih signala pomoću nosioca, u transponovanom opsegu učestanosti. Informacija je sadržana u modulišućem signalu. U slučaju digitalnih modulacionih postupaka modulišuć signal je digitalan.

Nosilac je deterministički prostoperiodičan signal.

Određen je sa tri parametra: amplitudom, fazom, frekvencijom.

Promenom jednog od parametara nosioca pod diktatom digitalnog signala koji se prenosi (sa druga dva parametara konstantna), dobijaju se tri osnovna tipa digitalno moduliranih signala.



U zavisnosti od toga koji parametar nosioca se modifikuje pod uticajem digitalnog modulišućeg signala razlikujemo sledeće osnovne tipove digitalnih modulacija:

- Amplitudski modulisan signal - Amplitude Shift Keying (ASK)
- Fazno modulisan signal - Phase Shift Keying (PSK)
- Frekvencijski modulisan signal - Frequency Shift Keying (FSK)

Binarni modulacioni postupci nisu dominantno zastupljene u savremenim telekomunikacionim sistemima zbog male spektralne efikasnosti.

U zavisnosti od informacionog sadržaja (simbola koji se prenosi):

- Kod ASK se menja amplituda signala u posmatranom signalizacionom intervalu.
- Kod PSK se menja početna faza signala u posmatranom intervalu.
- Kod FSK se menja učestanost signala u posmatranom signalizacionom intervalu.

PSK i FSK modulisani signali imaju konstantnu anvelopu (obvojnica), dok ASK nema konstantnu anvelopu. Zato su PSK i FSK otpornije na nelinearna amplitudska izobličenja, kakva se često javljaju u radio vezama u mikrotalasnom opsegu i satelitskim kanalima. ASK je veoma jednostavna tehnika korišćena još u bežičnoj telegrafiji, dok se danas koristi u optičkim sistemima prenosa. Mogući su i hibridni digitalni modulacioni postupci koji predstavljaju kombinaciju nekih od navedenih postupaka.

- **BINARNA ASK MODULACIJA:**

Binarna ASK modulacija (BASK) predstavlja najjednostavniji postupak prenosa digitalnog signala modulisanim nosiocem. Nosilac se uključuje se i isključuje pod diktatom digitalnog modulišućeg signala. Kada se u posmatranom signalizacionom intervalu trajanja $T=T_b$ prenosi binarni simbol 1, modulisani signal je po obliku jednak nosiocu, a kada se prenosi simbol 0, signal koji se emituje na liniju veze jednak je nuli. Uključivanje i isključivanje nosioca predstavlja promenu njegove amplitude, pa se radi o amplitudskoj modulaciji. Uključivanje nosioca može se predstaviti množenjem nosioca sa "1", a isključivanje kao množenje sa "0". Realizacija u slučaju signaliziranja NRZ impulsima—tokom čitavog signalizacionog intervala nosilac treba pomnožiti binarnim unipolarnim signalom koji ima odgovarajući informacioni sadržaj. Kada je standardni impuls $x(t)$ pravougaoni NRZ impuls, optimalni prijemnik za digitalni signal u OOU je prijemnik sa integracijom i rasterećenjem.

- **DIGITALNA BINARNA FREKVENCIJSKA MODULACIJA (BFSK):**

Naizmenično se uključuju dva nosioca koji imaju različite učestanosti. Uključivanje jednog i isključenje drugog nosioca obavlja se pod diktatom digitalnog modulišućeg signala. Kada informacijski sadržaj modulišućeg signala ima vrednost "0", modulirani signal je po obliku jednak nosiocu učestanosti f_{01} , a kada se prenosi "1" modulirani signal je po obliku jednak nosiocu učestanosti f_{02} . U pitanju je frekvencijska modulacija jer se od jednog do drugog signalizacionog intervala menja učestanost signala. Realizacija u slučaju signaliziranja NRZ impulsa - informacijski sadržaj binarnog unipolarnog modulišućeg signala $u_m(t)$ se množi prvim nosiocem, a invertovana binarna sekvenca množi se drugim nosiocem, pa se odredi njihov zbir. Standardni impuls $x(t)$ je u posmatranom slučaju oblika pravougaonog NRZ impulsa, pa je optimalan prijemnik za digitalni signal u OOU (nakon množenja nosiocem u prijemniku) prijemnik sa integracijom i rasterećenjem. BFSK postupak:

Modulacija – binarni unipolarni digitalni signal pomnoži se nosiocem, a njegova invertovana verzija drugim nosiocem i ova dva signala se saberu formirajući BFSK signal.

Prenos – modulirani signal se prenosi kroz liniju veze, koja ne unosi izobličenja u opsegu značajnih komponenta BFSK signala. Primiti signal je oslabljen i na njega je dodat šum.

Demodulacija – Modulirani signal se u svakoj od grana množi sa svakim od dva nosioca učestanosti f_{01} i f_{02} . Kroz integrator sa rasterećenjem prolazi samo komponenta na niskim učestanostima, pa će samo na izlazu jednog integratora biti dovoljno jak signal (nezanemarljive snage). Na kraju signalizacionog intervala vrši se odabiranje i odlučivanje poređenjem sa pragom.

- **BINARNA PSK (BPSK):**

Nosilac se povremeno invertuje pod diktatom digitalnog modulišućeg signala. Kada informacijski sadržaj modulišućeg signala ima vrednost "1", modulirani signal je po obliku jednak nosiocu $\cos(2\pi f_0 t)$, tj. jednak je kosinusoidi početne faze 0. Kada se prenosi "0" modulirani signal je po obliku jednak invertovanom nosiocu - $\cos(2\pi f_0 t) = \cos(2\pi f_0 t + \pi)$, tj. kosinusoidi početne faze π . Informacija o binarnom simbolu koji se prenosi je sadržana u početnoj fazi nosioca (na početku signalizacionog intervala ona je 0 ili π), pa radi se o binarnoj faznoj modulaciji. Invertovanje nosioca, predstavlja množenje nosioca faktorom "-1". Realizacija u slučaju NRZ : tokom čitavog signalizacionog intervala nosilac treba pomnožiti binarnim polarnim modulišućim signalom $u_m(t)$ koji sadrži informacijski sadržaj koji se prenosi.

$$u_{\text{BPSK}}(t) = \begin{cases} +U \cos(2\pi f_0 t), & b_k = 1, \\ -U \cos(2\pi f_0 t), & b_k = 0. \end{cases}$$

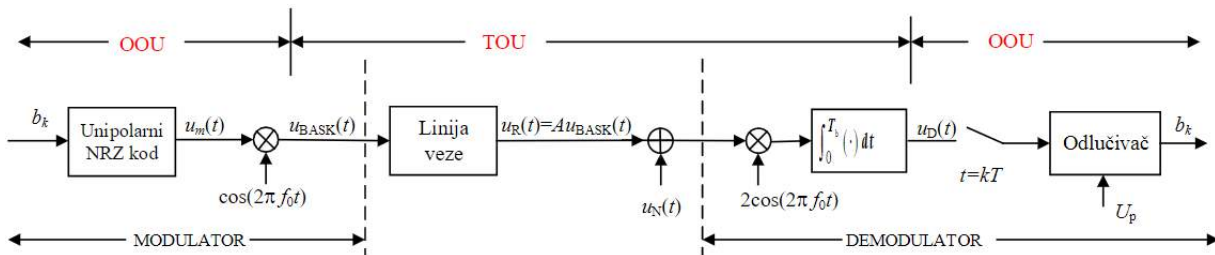
$$u_{\text{BPSK}}(t) = \begin{cases} U \cos(2\pi f_0 t + 0), & b_k = 1, \\ U \cos(2\pi f_0 t + \pi), & b_k = 0. \end{cases}$$

Ako je standardni (elementarni) impuls $x(t)$ oblika pravougaonog NRZ impulsa, optimalan prijemnik za digitalni signal u OOU predstavlja prijemnik sa integracijom i rasterećenjem.

Širina spektra B i spektralna efikasnost η_s :

$$B = 2V_b \Rightarrow \eta_s = \frac{V_b}{B} = 0.5 \text{ b/s/Hz}$$

10. NACRTATI BLOK ŠEMU SISTEMA I OBJASNITI NAČIN RADA SISTEMA ZA PRENOS SIGNALA POSTUPKOM BASK. NACRTATI KONSTELACIONI DIJAGRAM BASK SIGNALA I OBJASNITI ŠTA PREDSTAVLJA. NAPISATI IZRAZ ZA VEROVATNOĆU GREŠKE PO BITU I OBJASNITI OD KOJIH PARAMETARA ZAVISI.



BASK postupak:

Modulacija – Binarni unipolarni digitalni signal pomnoži se nosiocem, čime se spektar modulišućeg signala translira se u deo oko centralne učestanosti f_0 . Osnovna učestanost signala nosioca bira se tako da predstavlja celobrojan umnožak brzine signaliziranja i:

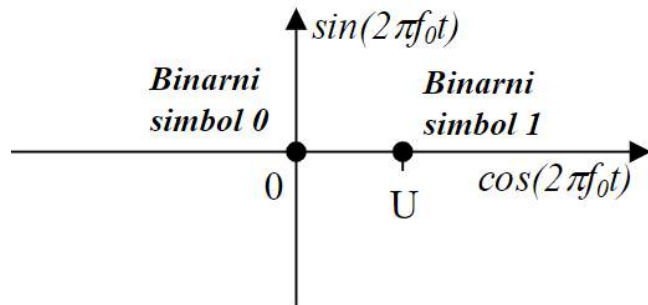
$$f_0 = \frac{m}{T_b} = mV_b, \quad m \in \mathbb{Z}, m \gg 1$$

Prenos – Modulirani signal se prenosi kroz liniju veze, koja ne unosi izobličenja u opsegu značajnih komponenta BASK signala. Priljeni signal je oslabljen i na njega je dodat šum.

Demodulacija – Signal se demoduliše, tj. njegov spektar se transponuje u OOU. Signal na izlazu produktnog modulatora se propusti kroz integrator sa rasterećenjem, uzmu se odbirci na kraju svakog signalizacionog intervala i na njima se izvrši odlučivanje poređenjem s pragom.

Konstelacioni dijagram digitalno modulisanog signala grafički prikazuje na koji se način skup simbola koji se prenose primenom posmatranog digitalnog modulacionog postupka predstavlja skupom digitalnih signala u okviru jednog intervala signalizacije.

Konstelacioni dijagram BASK signala



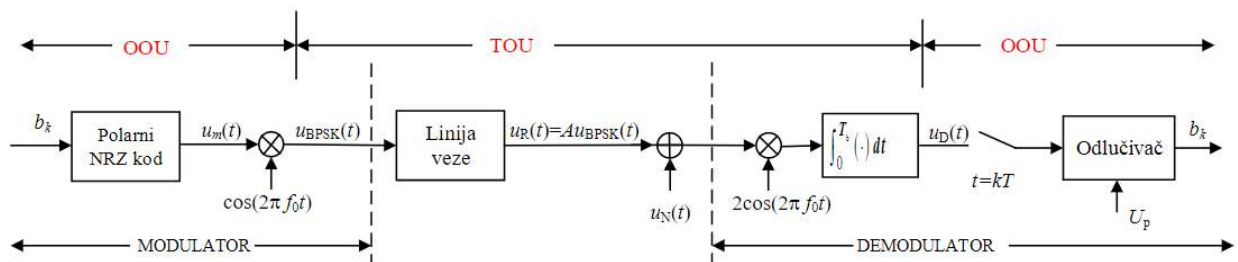
BASK, u toku signalizacionog intervala trajanja T šalje se signal:

$u(t)=0$, kada se šalje binarni simbol 0
 $u(t)=U\cos(2\pi f_0 t)$, kada se šalje binarni simbol 1

Izraz za verovatnoću greške kod BASK: $P_{e,\min} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{2P_N}} \right)$

Zavisi od E_b - srednja energija signala po bitu i od snage šuma na ulazu u odabirač $\sigma_D^2 = P_N T_b$

II. NACRTATI BLOK ŠEMU SISTEMA I OBJASNITI NAČIN RADA SISTEMA ZA PRENOS SIGNALA POSTUPKOM BPSK. NAPISATI IZRAZ ZA VEROVATNOĆU GREŠKE PO BITU I OBJASNITI OD KOJIH PARAMETARA ZAVISI. NACRTATI KONSTELACIONI DIJAGRAM BPSK SIGNALA I OBJASNITI ŠTA PREDSTAVLJA. U KOJEM OPSEGU UČESTANOSTI SE NALAZE ZNAČAJNE SPEKTRALNE KOMPONENTE SIGNALA AKO JE UČESTANOST NOSIOCA JEDNAKA f_0 ?



BPSK postupak (koherentna demodulacija):

Modulacija – binarni polarni digitalni signal pomnoži se nosiocem, čime se spektar modulišućeg signala transponuje na više učestanosti (translira se u deo oko centralne učestanosti f_0)

$$f_0 = \frac{m}{T_b}, m \in Z, m \gg 1$$

Prenos – modulirani signal se prenosi kroz liniju veze, koja ne unosi izobličenja u opsegu značajnih komponenta moduliranog signala. Primiti signal je oslabljen i na njega je dodat šum.

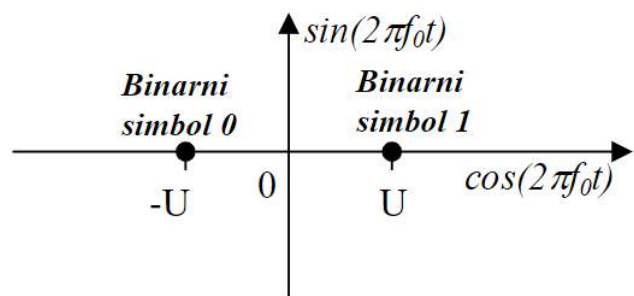
Demodulacija – Signal se demoduliše množenjem sa nosiocem učestanosti f_0 (u idealnom slučaju je fazno usklađen sa nosiocem na strani predaje). Signal na izlazu produktnog modulatora se propusti kroz integrator sa rasterećenjem, uzmu se odbirci na kraju svakog signalizacionog intervala i na njima se izvrši odlučivanje poređenjem s pragom (integrator ima funkciju NF filtra).

$$P_{e,\min} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{P_N}} \right)$$

Izraz za verovatnoću greške kod BPSK:

Zavisi od E_b - srednja energija signala po bitu i od snage šuma na ulazu u odabirač

Konstelacioni dijagram BPSK signala



BPSK, u toku signalizacionog intervala trajanja T šalje se signal

$u(t) = U \cos(2\pi f_0 t + \pi)$, kada se šalje simbol 0
 $u(t) = U \cos(2\pi f_0 t + 0)$, kada se šalje simbol 1

Binarna sekvenca koja se prenosi modulacionim postupkom je slučajna, pa je slučajan i BPSK modulirani signal.

- BPSK signal se u spektru opisuje spektralnom gustinom srednje snage (SGSS).

- SGSS BPSK signala odgovara SGSS binarnog polarnog signala koji je transliran na učestanosti oko f_0 u dvostranoj predstavi signala.

Širina opsega učestanosti potrebna za prenos BPSK signala je dvostruko veća u odnosu na širinu opsega potrebnu za prenos polarnog NRZ signala iste brzine signaliziranja V_b .

- Pri prenosu signala primenom polarnog NRZ signala u OOU, značajne spektralne komponente (po kriterijumu prve nule) zauzimaju opseg od 0 do $B_{OOU} = V_b$ [Hz].

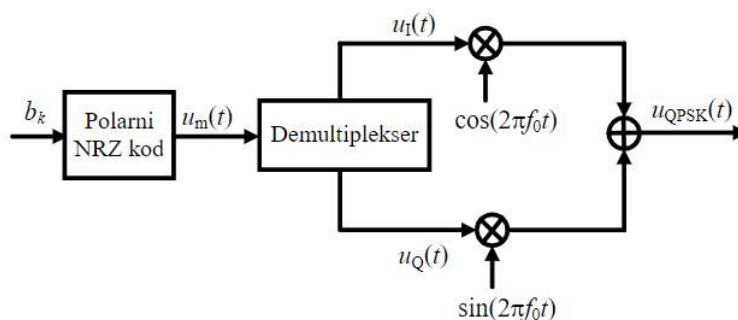
•**Nakon modulacije** (množenja prostoperiodičnim signalom učestanosti f_0) dobija se BPSK signal čije se značajne spektralne komponente nalaze u opsegu $[f_0 - B_{\text{OOU}}, f_0 + B_{\text{OOU}}]$

12. NACRTATI BLOK ŠEMU SISTEMA I OBJASNITI NAČIN RADA SISTEMA ZA PRENOS SIGNALA POSTUPKOM QPSK. NAPISATI ODGOVARAJUĆI IZRAZ ZA VEROVATNOĆU GREŠKE. NACRTATI KONSTELACIONI DIJAGRAM QPSK SIGNALA. ŠTA SE POSTIŽE PRINCIPOM PRENOSA POMOĆU NOSIOCA „U KVADRATURI“?

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) modulisan signal predstavlja digitalni fazno modulisan signal, gde je informacija o binarnim simbolima koji se prenose sadržana u fazi prostoperiodičnog signala učestanosti f_0 . Informaciona sekvenca dužine dva bita (dibit) u svakom interval signalizacije trajanja T_s prenosi se kroz jednu od $M=4$ moguće vrednosti faza kontinualnog modulisanog signala učestanosti nosioca jednake f_0 , pa je simbolski protok QPSK signala jednak $V_s = 1/T_s$.

Osnovna ideja realizacije QPSK postupka modulacije je u konceptu prenosa signala primenom **ortogonalnih nosilaca** iste učestanosti $\cos(2\pi f_0 t)$ i $\sin(2\pi f_0 t)$ -> nosioci su u kvadraturi.

Binarni modulišući signal trajanja intervala signalizacije T_b se razdvaja (blok za demultipleksiranje) na dva „duplo sporija“ digitalna signala u granama, $u_I(t)$ i $u_Q(t)$, kod kojih je signalizacioni interval dvostruko dužeg trajanja i $T_s = 2T_b$. Učestanost nosioca je odabrana tako da važi $f_0 = m/T_s$, $m \in \mathbb{Z}$.



Blok šema modulatora kvadrature digitalne fazne modulacije (QPSK) sastoji se od dva binarna digitalna fazna modulatora sa nosiocima „u kvadraturi“.

Iz jednog binarnog signala, razdvajajući parne i neparne bite, formiraju se dva paralelna binarna niza. Razdvajanje se obavlja u bloku demultipleksiranja.

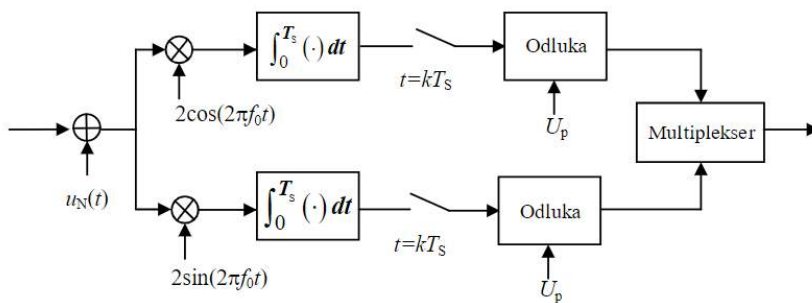
U gornjoj grani modulatora signal $u_1(t)$ čine samo neparni biti, a signal $u_0(t)$ čine samo parni biti, pa se u svakoj grani modulatora prenosi signal protoka $V_b/2$, tj. signal dva puta manjeg binarnog protoka u odnosu na binarni protok V_b signala na ulazu u modulator.

Dva puta manji binarni protok znači da je na izlazu množača i u gornjoj i u donjoj grani signal dva puta manje širine spektra.

Izlazni QPSK modulirani signal, kao zbir ova dva signala ima istu širinu spektra kao i signali u pojedinim granama. Znači da se na ovaj način dvostruko bolje koristi propusni opseg, odnosno ostvaruje se dvostruko poboljšanje spektralne efikasnosti.

Prenos signala $u_1(t)$ i $u_0(t)$ se obavlja u istom opsegu učestanosti zahvaljujući činjenici da su signali modulirani ortogonalnim nosiocima. Na prijemu se za svaki od signala vrši demodulacija odgovarajućim nosiocem (kojim je izvršena modulacija).

Prijemnik:

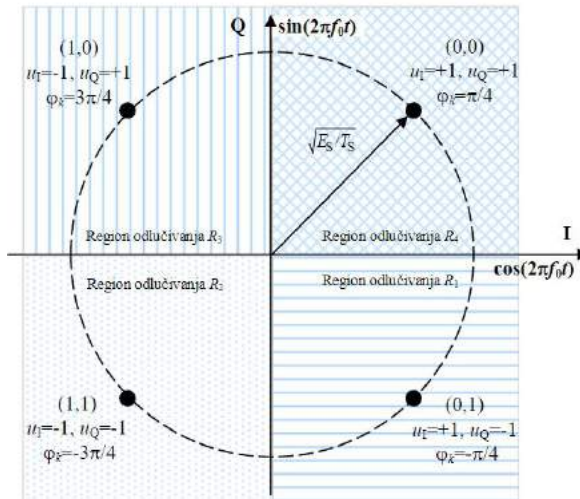


Prijemnik se sastoji od dva prijemnika BPSK signala u kvadraturi. Demodulacija se obavlja množenjem signalima $\cos(2\pi f_0 t)$ i $\sin(2\pi f_0 t)$, iza kojih se nalazi

integrator sa rasterećenjem i odlučivač, nakon čega sledi blok za multipleksiranje, kojim se vrši "učestljavanje" parnih i neparnih bita iz dve paralelne grane u prijemniku u jedan, originalni binarni signal. U idealnim uslovima, kada nije došlo do greške u odlučivanju primljena informaciona sekvenca jednaka je poslatoj.

Verovatnoća greške po bitu:

$$P_{e,b} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{P_N}}$$



Konstelacioni dijagram QPSK signala sa Grejevim mapiranjem:

•Svaka od tačaka na dijagramu odgovara jednom od mogućih četiri oblika signala u okviru trajanja intervala signalizacije QPSK signala T_s . Može se uočiti da je amplituda signala konstantna, a faza φ_k ima jednu od četiri moguće vrednosti: $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$.

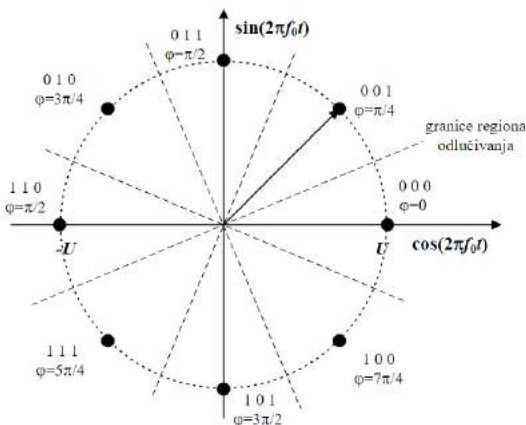
Amplituda QPSK signala i energija po simbolu E_s je jednaka za svaki od $M=4$ simbola

Primenom QPSK, ostvaruje se ista verovatnoća greške po bitu kao i uslučaju BPSK, dok je spektralna efikasnost dvostruko veća (za isto V_b potreban je dvostruko uži propusni opseg). Ipak, uvođenjem prenosa korišćenjem nosioca u kvadraturi značajno se povećava složenost prijemnika i predajnika. Za prijem QPSK signala neophodno je uspostaviti sinhronizaciju po fazi nosioca u obe grane.

13. M-PSK MODULACIONI POSTUPAK. NACRTATI KONSTELACIONI DIJAGRAM M-PSK SIGNALA (ZA ZADATO M) I OBJASNITI ŠTA PREDSTAVLJA. KAKO POVEĆANJE REDA KONSTELACIJE M UTIČE NA VEROVATNOĆU GREŠKE, A KAKO NA SPEKTRALNU EFIKASNOST?

Prenos digitalnog signala u transponovanom opsegu učestanosti, može se ostvariti i primenom MPSK, tj. M-arne digitalne fazne modulacije. U svakom signalizacionom interval trajanja T_s prenosi se jedan od M mogućih oblika kontinualnog signala, sa jednom od M mogućih vrednosti faze φ_k ($k=1, \dots, M$), u kojoj je sadržana informacija o $\log_2 M$ bita.

Konstelacioni dijagram M-PSK signala definiše M mogućih oblika digitalnog signala u toku trajanja intervala T_s (predstavljaju informacije o bitima koji se prenose, svaki simbol predstavlja $\log_2 M$ bita). Sve tačke na konstelacionom dijagramu nalaze se na jednoj kružnici (jednake amplitude signala), a susedne tačke na konstelacionom dijagramu nalaze se na ugaonim rastojanjima od $2\pi/M$.



Primer - 8PSK signal: Početna faza se menja sa svakom simbolom trajanja $T_s=3T_b$. 8PSK signal u toku jednog signalizacionog intervala T_s može imati jednu od sledećih vrednosti faza: $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4, \pi/2, 5\pi/4, 3\pi/2, 7\pi/4$ u zavisnosti od informacije koju nosi (tri bita po 8PSK simbolu).

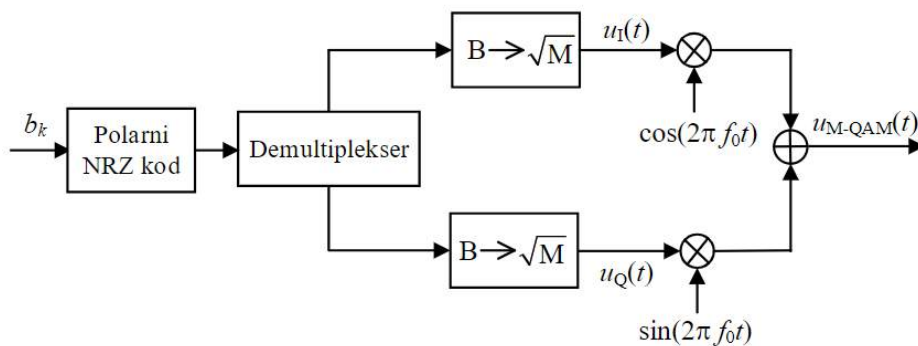
Kod M-arnog PSK modulacionog postupka $\log_2 M$ bita binarnog signala prenosi se jednim M-arnim simbolom u toku trajanja intervala signalizacije $T_s = T_b \log_2 M$. Sa porastom M opada širina opsega za prenos signala i raste spektralna efikasnost. Povećanjem M raste spektralna efikasnost, ali i verovatnoća greške pri prenosu signala, što se može nadoknaditi samo povećanjem srednje snage.

14. NACRTATI BLOK ŠEMU SISTEMA I OBJASNITI NAČIN RADA SISTEMA ZA PRENOS SIGNALA POSTUPKOM M-QAM. NACRTATI ODGOVARAJUĆI KONSTELACIONI DIJAGRAM M-QAM SIGNALA (ZA ZADATO M) SA GREJEVIM MAPIRANJEM. KAKO POVEĆANJE REDA KONSTELACIJE M UTIČE NA VEROVATNOĆU GREŠKE, A KAKO NA SPEKTRALNU EFIKASNOST?

Kvadraturno amplitudski modulirani signal sa više nivoa (M-QAM) predstavlja hibridnu amplitudsko faznu modulaciju:

- Koristi se princip prenosa sa nosiocima u kvadraturi, $\cos(2\pi f_0 t)$ i $\sin(2\pi f_0 t)$.
- U svakoj od grana nosioci se modulišu M-arnim signalom (digitalnim signalom sa više amplitudskih nivoa).
- Energetska efikasnost je bolja nego kod M-PSK, a dizajn modulatora i demodulatora jednostavan.

Predajnik:



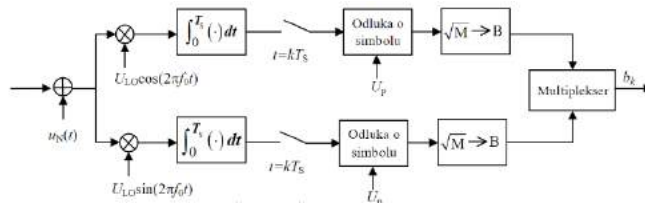
Dolazni informacioni tok dovodi se na ulazu polarni NRZ koder, na čijem izlazu se dobija binarni signal protoka V_b . Polarni NRZ signal se dovodi u blok za demultipleksiranje, pa se dolazni signal razdvaja na dva paralelna signala u granama, dvostruko manjeg protoka $V_b/2$ (trajanje intervala signalizacije u granama je $2T_b$). U se svaka grupa od n bita pretvara u jedan od \sqrt{M} različitih simbola. Potrebno je da vrednost \sqrt{M}

$$V_S = \frac{V_b/2}{\log_2 \sqrt{M}} = \frac{V_b}{\log_2 M}$$

konvertoru bude stepen

broja 2, pa je M stepen broja 4, a brzina signaliziranja na izlazu konvertora je

Prijemnik:



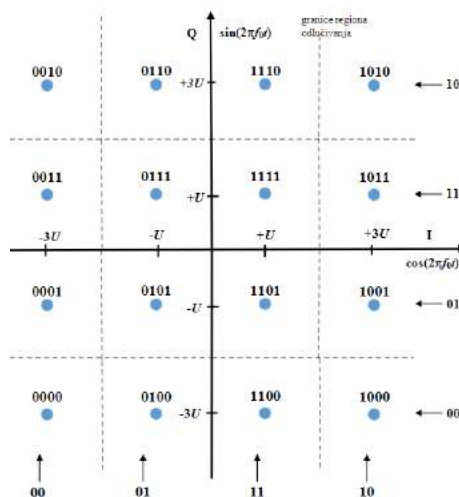
M-QAM signal se u demodulatoru direktno void na dve paralelne grane, gde se demodulacija signala u gornjoj grani vrši nosiocem u fazi, dok se demodulacija u donjoj grani vrši nosiocem ukvadraturi.

Nakon toga, dobijeni signali se vode na ulaz integratora sa rasterećenjem trajanja integracije jednakog T_S , I na osnovu odbiraka se u idealnim uslovima rekonstruišu višenivovski signali (signali sa mogućih \sqrt{M} amplituda) amplitude jednakih $U_{I,k}$ i $U_{Q,k}$. Nakon konverzije višenivovskih u binarne signale, dobijaju se dva paralelna toka bita trajanja intervala signalizacije $2T_b$, koji se zatim multipleksiraju i formiraju rekonstruisani informacioni niz b_k .

Primer: M-QAM, M=16

Nosiocima u kvadraturi prenose se dva signala, od kojih svaki ima po četiri nivoa. U svakom intervalu signalizacije 16-QAM signala prenosi se infomacija o $\log_2 16=4$ bita. NRZ signali sa više amplitudskih nivoa u gornjoj i donjoj grani modulatora koji se modulišu nosiocem u fazi i kvadraturi, $\cos(2\pi f_0 t)$ i $\sin(2\pi f_0 t)$ imaju amplitude $U_{I,k}, U_{Q,k} \in \{\pm U, \pm 3U\}$

Primenjen je konstelacioni dijagram sa Grejevom mapiranjem bita u simbole, da bi $P_{e,b}$ bila minimalna moguća za datu $P_{e,s}$, pa se u svim susednim regionima odlučivanja binarne sekvence koje odgovaraju simbolu razlikuju u samo jednom od 4 bita.



Povećanjem M smanjuje se potrebna širina spektra za prenos signala, pa raste I spektralna efikasnost (prednost), ali se povećava verovatnoća greške za isti odnos E_b/pN na ulazu u

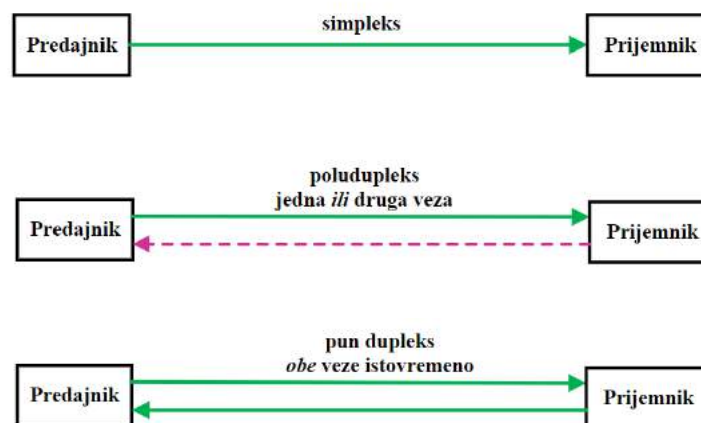
prijemnik (mana). Da bi se pri povećanju M održala vrednost verovatnoće greške treba povećati srednju snagu signala na predaji!

15. ODREDITI ŠIRINU OPSEGA UČESTANOSTI POTREBNU ZA PRENOS DIGITALNOG BINARNOG SIGNALA PROTOKA VB PRIMENOM BPSK MODULACIONOG POSTUPKA (ODNOSNO QPSK ILI M-QAM). KORISTITI KRITERIJUM PRVE NULE U SPEKTU SIGNALA. U KOJEM OPSEGU UČESTANOSTI SE NALAZE ZNAČAJNE KOMPONENTE SIGNALA AKO JE UČESTANOST NOSIOCA JEDNAKA f_0 ?

16. ŠTA PREDSTAVLJAJU TEHNIKE DUPEKSIRANJA? OBJASNITI KOJI NAČINI OSTVARIVANJA VEZA POSTOJE U ZAVISNOSTI OD SMERA I NAČINA RAZMENE INFORMACIJA?

Vrsta veze je u zavisnosti od smera i način razmene informacija među korisnicima može biti:

- Simpleks (simplex mode)
- Poludupleks (half duplex, HDX)
- Pun dupleks (full duplex, FDX)



U **simpleks** vezi prenos se uvek obavlja samo u jednom smeru

- Prenos od jednog korisnika (izvora informacija) ka jednom ili više korisnika.
- Primer, sistemi nadgledanja (bez mogućnosti upravljanja) ili širokodifuzni prenos TV signala.

U **dupleks modu**, između dva korisnika izvršava se dvosmerna razmena informacija. U zavisnosti od načina dvosmerne razmene razlikuju se poludupleks i pun dupleks režim rada.

U **poludupleks režimu** prenos između dva korisnika u bilo kom trenutku moguć je samou jednom smeru.

- Za svaki od smerova prenosa na raspolaganju je celokupan kapacitet kanala (primer, toki-voki komunikacija).

U **punom dupleks** režimu, krajnji korisnici u bilo kom trenutku mogu da istovremeno emituju i primaju informacije (najčešći način rada u savremenim telekomunikacijama).

- Kada se primenjuje pun dupleks režim rada za svaki od smerova istovremene komunikacije u sistemu potrebno je dodeliti zasebne resurse.
- Dodeljivanje resursa za svaki od smerova komunikacije može se izvršiti podelom u vremenskom i frekvencijskom domenu.

17. OBJASNITI PRINCIP DUPEKSIRANJA FDD I TDD TEHNIKAMA. DA LI SE OVE TEHNIKE MOGU PRIMENJIVATI I U SLUČAJU ANALOGNIH I DIGITALNIH SIGNALA?

FDD (FREQUENCY DIVISION DUPLEXING)

Dupleksiranje na bazi frekvencijske raspodele(FDD) – za svaki od smerova komunikacije dodeljen je zaseban opseg učestanosti. Može se primenjivati kako za prenos digitalnih i analognih signala. Za svakog od korisnika jedan opseg učestanosti dodeljuje se za emitovanje (uplink), dok se drugi opseg dodeljuje za prijem informacija (downlink). Frekvencijski opsezi dodeljeni za svaki smer komunikacije bi trebalo da budu dovoljno razdvojeni tako da se izbegne međusobno ometanje (interferencija) odlaznih i dolaznih signala u toku istovremene komunikacije. FDD je pogodan kada su zahtevani kapaciteti u oba smera komunikacije isti(govorna komunikacija). Primenjen u ćelijskim sistemima mobilne telefonije, satelitskim sistemima.

TDD (TIME DIVISION DUPLEXING)

Dupleksiranje na bazi vremenske raspodele (TDD) – za svaki od smerova komunikacije naizmenično se dodeljuju nepreklapajući vremenski intervali. Intervali se smenjuju dovoljno brzo i iz perspektive korisnika komunikacija je neprekidna. Primena TDD moguća isključivo u slučaju

prenosa digitalnih signala. Prednost TDD je što se emitovanje i prijem informacija vrši u istom opsegu učestanosti, ali su povećani zahtevi po pitanju sinhronizacije u sistemu. Između intervala za komunikaciju postoji zaštitni vremenski interval. Zaštitni interval između intervala dodeljenih različitim smerovima prenosa trebalo bi da bude veći od propagacionog kašnjenja signala pri njegovom prenosu u oba smera, pa se TDD princip najčešće primenjuje u sistemima u kojima je rastojanje korisnika malo. Bluetooth uređaji, bežične lokalne mreže. Postoje sistemi koji kombinuju FDD i TDD tehnike dupleksiranja.

18. OPISATI TEHNIKE MULTIPLEKSIRANJA FDM, TDM I WDM.

Multipleksiranje signala je način kombinovanja signala iz više nezavisnih izvora u cilju njihovog zajedničkog neometanog prenosa. Koristi se kada su raspoloživi frekvencijski resursi u kanalu dovoljni za prenos signala više korisnika sistema sa ciljem poboljšanja iskorišćenosti resursa. Na strani predaje vrši se multipleksiranje više nezavisnih signala, tako da se omogući njihov zajednički, istovremeni prenos bez međusobnog ometanja. Na prijemnoj strani vrši se demultipleksiranje, odnosno razdvajanje individualnih signala iz zajedničkog, multipleksnog signala. Raspodela i kontrola korišćenja resursa vrši se sa centralne lokacije, gde se svakom od korisnika apriori dodeljuje raspored i način korišćenja kanala.

Tipovi multipleksiranja:

- Na bazi frekvencijske raspodele, FDM (Frequency Division Multiplexing),
- Multipleksiranje po talasnim dužinama, WDM (Wavelength Division Multiplexing),
- Multipleksiranje na bazi vremenske raspodele, TDM (Time Division Multiplexing).

FREKVENCIJSKI MULTIPLEKS-FDM

Signali svakog od korisnika multipleksa se istovremeno prenose u unapred definisanim nepreklapajućim opsezima učestanosti(kanalima multipleksa). FDM sisteme prenosa moguće je primeniti i u slučaju analognih i digitalnih signala. Međusobni štetni uticaj signala u multipleksu, smanjuje se primenom zaštitnih opsega učestanosti između kanala multipleksa. Zaštitni opsezi se ne koriste za prenos informacija. Povećanjem širine zaštitnog opsega se smanjuje međusobni uticaj kanala, ali se smanjuje i efikasnost korišćenja resursa. Neophodna modulacija signala na predaji, kojom se svaki od individualnih signala smešta u željeni opseg učestanosti. Na prijemnoj strani vrši se filtriranje FDM multipleksnog signala radi izdvajanja zasebnih kanala, nakon čega se demodulacijom izdvaja koristan signal. Primena: kablovska televizija, prvi analogni telefonski sistemi.

MULTIPLEKS TALASNIH DUŽINA -WDM

Multipleks talasnih dužina (Wavelength Division Multiplexing, WDM) je srodan FDM principu multipleksiranja na bazi frekvencijske raspodele.

- Koristi se u optičkim sistemima prenosa, omogućava bolje iskorišćenje kapaciteta optičkog vlakna.
- Optičko vlakno karakteriše veoma širok opseg učestanosti, koji se može koristiti za prenos signala izuzetno velikih protoka ili prenos velikog broja signala optičkim sistemom prenosa.

Svakom od optičkih signala se pridružuje talas različite talasne dužine (različite frekvencije), pa se prenos većeg broja optičkih signala može izvršiti na različitim talasnim dužinama, njihovim multipleksiranjem u zajednički snop koji se prenosi istim optičkim vlaknom.

VREMENSKI MULTIPLEKS - TDM

Korisnicima u sistemu na bazi vremenskog multipleksa (TDM) dodeljuju se unapred definisani nepreklapajući vremenski intervali, čime se formira zajednički tok podataka velikog kapaciteta koji se prenosi u istom opsegu učestanosti.

Mogu se razlikovati sinhroni i statistički TDM multipleks.

19. OPISATI RAZLIKE I SLIČNOSTI IZMEĐU SINHRONOG I STATISTIČKOG TDM

Kod sinhronog TDM prenosa korisnicima multipleksa se unapred dodeljuje fiksni vremenski interval u okviru okvira (frejma) fiksne dužine u kojem svaki od korisnika raspolaganju ima svoj slot za prenos signala (bez obzira da li kod korisnika postoji potreba za prenosom ili ne).

U slučaju statističkog TDM multipleksa resursi se stavljaju na raspolaganje korisnicima samo u slučaju potrebe za prenosom informacija, čime se poboljšava efikasnost korišćenja resursa. Podaci svakog od korisnika multipleksa se u dolaznom redosledu segmentiraju u okvire (frejmove) određene dužine, koji se formiraju samo u slučaju kada postoje podaci koje je potrebno preneti.

Multipleksiranje se izvršava na nivou paketa, pa se pri ovakvom prenosu radi o jednoj vrsti paketske komutacije (packet switching), dok sinhroni TDM i FDM predstavljaju način prenosa koji se zasniva na komutaciji kola (circuit switching).

20. PRINCIP USPOSTAVLJANJA VEZE NA BAZI KOMUTACIJE KOLA I KOMUTACIJE PAKETA. KOJI PRINCIP JE DOMINANTNIJI U SAVREMENIM TELEKOMUNIKACIONIM SISTEMIMA?

Kada se prilikom uspostavljanja veze između korisnika svakom kanalu dodeljuje jedna putanja kroz mrežu, kojom se podaci prenose onim redosledom kojim su poslani prenos se vrši na bazi komutacije kola (circuit switching). U savremenim telekomunikacionim mrežama najčešće se obavlja komutacija paketa (packet switching) – princip prenosa u IP (Internet Protocol) mrežama.

Podaci koji se prenose segmentiraju se u pakete. Paket sadrži zaglavlje u kome je naveden izvor, odredište, redni broj paketa iz niza paketa upućenih od nekog izvora ka odredištu, itd. Za svaki paket može se odrediti optimalna putanja, čime se smanjuje opterećenje mreže, povećava brzina i pouzdanost prenosa poruka do odredišta. Na odredištu se vrši preuređivanje redosleda primljenih paketa i kompletiranje poruke.

21. ŠTA PREDSTAVLJAJU TEHNIKE VIŠESTRUKOG PRISTUPA? KOJI SU OSNOVNE VRSTE TEHNIKA VIŠESTRUKOG PRISTUPA?

Višestruki pristup – predstavlja skup tehnika kojima se omogućava da više nezavisnih korisnika istovremeno koriste isti medijum za prenos informacija. Kontrolu pristupa resursima vrši centralni kontrolor sistema koji dinamički na zahtev korisnika određuje koji korisnik će imati na raspolaganju resurse. Dodeljivanje resursa raznim korisnicima sistema se menja u toku vremena, u zavisnosti od ostalih zahteva u sistemu i raspoloživosti resursa. Primenom tehnika višestrukog pristupa omogućava se da veliki broj korisnika sistema može nezavisno pristupati spektralnim resursima, uz njihovu dobru iskorišćenost i visok kvalitet servisa krajnjih korisnika.

Tehnike višestrukog pristupa mogu se podeliti na nekoliko osnovnih vrsta:

- FDMA (Frequency Division Multiple Access),
- TDMA (Time Division Multiple Access),
- CDMA (Code Division Multiple Access),
- OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access),
- SDMA (Space Division Multiple Access),
- Slučajni pristup resursima (Random Access, RA).

22. OSNOVNE KARAKTERISTIKE FDMA I TDMA PRISTUPA. KOJI SE NAČIN PRISTUPA KORISTI U GSM SISTEMU MOBILNE TELEFONIJE?

FDMA (FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS)

Tehnika višestrukog pristupa na bazi frekvencijske raspodele kanala. Celokupan opseg učestanosti koji je na raspolaganju za prenos signala svih korisnika deli se na veći broj nepreklapajućih podkanala (definišu se centralnom učestanošću i širinom opsega). Prenos signala svakog od korisnika u njemu dodeljenom opsegu frekvencija obavlja se putem neke od tehnika modulacija. U svakom od opsega signali se emituju kontinualno i bez međusobnog ometanja, zahvaljujući zaštitnim opsezima između kanala. Raspodela korisnika u odgovarajuće kanale najčešće se obavlja u postupku uspostave poziva, pa se nakon ove faze taj opseg dodeljuje na neprekidno trajno korišćenje korisniku u toku celokupnog trajanja poziva.

FDMA predstavlja najjednostavniji i najstariji način pristupa zajedničkim resursima. Čelijski sistemi prve generacije (1G) mobilne telefonije su raspodelu resursa među korisnicima zasnivali na

ovom principu. Nedostatak ovog pristupa je u smanjenom nivou fleksibilnosti i ograničenjima u hardveru (potreban veliki broj filtara za realizaciju). Spektralna efikasnost je značajno ograničena primenom zaštitnih opsega između frekvencijskih kanala. Za prenos signala u punom dupleks režimu rada, za svaki od smerova prenosa potrebno je obezbediti zaseban opseg frekvencija.

TDMA (TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS)

TDMA - tehnika višestrukog pristupa na bazi vremenske raspodele kanala. Primena TDMA moguća je isključivo u slučaju prenosa digitalnih signala. Korisnici koji pristupaju resursima sistema imaju na raspolaganju celokupan opseg učestanosti u tačno određenim nepreklapajućim vremenskim intervalima. Za pravilan rad sistema ključna je sinhronizacijameđu korisnicima. Sinhronizacija se obezbeđuje pomoću centralnog kontrolera koji šalje signal sa kojim svi predajnici sinhronizuju svoje taktove. Da bi se osigurao prenos signala u nepreklapajućim intervalima između emitovanja signala postoji zaštitni interval kojim se kompenzuje dozvoljena greška u sinhronizaciji, nastala usled fizičkih rastojanja korisnika u mreži (tj. usled različitih propagacionih kašnjenja u zavisnosti od lokacije korisnika). TDMA ima veoma široku primenu, često i u hibridnim verzijama.

Hibridni TDMA/FDMA pristup primenjen je u GSM (Global System for Mobile Communication) sistemu druge generacije mobilne telefonije (2G).

23. PRINCIP VIŠESTRUKOG PRISTUPA SPEKTRU PRIMENOM CDMA.

CDMA (Code Division Multiple Access) predstavlja tehniku višestrukog pristupa na bazi kodne raspodele kanala. Kod CDMA ne postoji jasna razdvojenost dodeljivanja resursa u spektralnom ili vremenskom domenu, kao što je to slučaj kod FDMA i TDMA pristupa. Signali svakog od korisnika prenose se u opsegu čija je širina znatno veća od minimalne širine potrebne za njegov prenos, pa je ovakav način prenosa poznat i kao prenos signala u proširenom spektru (spread spectrum). CDMA pristup moguće primeniti isključivo u slučaju prenosa digitalnih signala.

24. PRINCIP VIŠESTRUKOG PRISTUPA SPEKTRU PRIMENOM SDMA.

U SDMA se koristi princip razdvajanja signala u prostoru, koje se postiže usmerenim zračenjem antena i primenom dodatnih tehnika obrade signala. Emitovanje signala kojim se prenosi informacija može se izvršavati u svim pravcima (omnidirekciona antena), a može biti i usmereno u željenom pravcu (usmerena antena). Primenom usmerenog zračenja korisnici koji su dovoljno razdvojeni u prostoru mogu istovremeno koristiti isti opseg učestanosti bez uzajamnog ometanja. U ćelijskim mobilnim sistemima, korisnici koji se nalaze u ćelijama na dovoljno prostornoj udaljenosti mogu da vrše prenos signala na istim učestanostima. Uobičajeno se koriste tri usmerene antene, koje stvaraju sektore širine 120° i omogućavaju ponovno korišćenje frekvencija u dovoljno razdvojenim ćelijama, čime se povećava spektralna efikasnost. Sličan princip se koristi i u satelitskim sistemima novije generacije (multibeam). U naprednim

SDMA pristupima korišćenjem pametnih antena i adaptivnih antenskih nizova se uobličava snop zračenja tako da se pojačava signal u pravcu željenog korisnika i smanjuje interferencija preostalim korisnicima.

25. KOJI SU OSNOVNI ZAHTEVI PRI KORIŠĆENJU RESURSA U 5G SISTEMIMA I KOJI SU PRINCIPI PRISTUPA SPEKTRU?

U petoj generaciji mobilne telefonije (5G sistemi), izazovi za optimalno korišćenje resursa su veoma kompleksni zbog zahteva za ostvarivanjem komunikacije sa znatno većim brojem korisnika sistema razolikih zahteva:

- Visoka spektralna i energetska efikasnost,
- Veoma mala kašnjenja ($\sim 1\text{ms}$),
- Masovna povezanost uređaja ($\sim 10^6$, „pametnih“ uređaja na km^2),
- Izuzetno visoka pouzdanost sistema (99.999%),
- Različiti nivoi kvaliteta servisa za različite klase korisnika.

Za istovremeni pristup većeg broja različitih vrsta korisnika istom opsegu učestanosti promenjen je i princip pristupa resursima. U prethodnim generacijama sistema korišćen je ortogonalan pristup (Orthogonal Multiple Access, OMA), gde svaki od korisnika ima zaseban frekvencijski opseg, vremenski slot ili kodnu sekvencu, čime se izbegava interferencija između korisnika sistema koji pristupaju resursima. Neortogonalni koncept pristupa (NonOrthogonal Multiple Access, NOMA) ima veliki potencijal za primenu u 5G. Korisnici mogu da istovremeno pristupaju resursima u istom opsegu učestanosti i da stvaraju određeni nivo uzajamne interferencije. U prijemnicima se vrši iterativno poništavanje interferencije primenom SIC (Successive Interference Cancellation) algoritma. Za realizaciju sistema sa visokom spektralnom efikasnošću potreban je visok nivo kompleksnosti prijemnika i sposobnost obrade velike količine podataka.

26. TEHNIKE SLUČAJNOG PRISTUPA SPEKTRU. PRINCIP ORIGINALNOG (PURE) ALOHA I SINHRONOG (SLOTTED) ALOHA PROTOKOLA.

Tehnike slučajnog pristupa medijumu za prenos signala prilagođene su potrebama korisnika sa velikim varijacijama u količini saobraćaja.

Postoje različite varijante protokola slučajnog pristupa. U zavisnosti od količine saobraćaja i protokola prenosa razlikuju se i performanse sistema, koje se dominantno ogledaju kroz ostvarivi protok i kašnjenje paketa.

Primenom tehnika slučajnog pristupa, zajednički resursi se ne dodeljuju na bazi unapred definisanog rasporeda, već se resursima pristupa u slučajnom trenutku, kada korisnik želi da prenese jedan ili više paketa podataka.

Kao posledica slučajnosti u trenutku pristupa, postoji mogućnost da dva ili više korisnika istovremeno žele da pristupe resursima, pa dolazi do tzv. sudarili kolizijepaketa. U tom slučaju potrebno je primeniti retransmisiju paketa, primenom definisanog protokola.

- ALOHA
- CSMA
- CSMA/CD
- CSMA/CA

PURE ALOHA

ALOHA - grupa protokola za retransmisiju (University of Hawaii, 1968).

Najjednostavniji protokol iz ove grupe je originalni ALOHA (pure ALOHA).

Prva bežična paketska mreža za prenos podataka (Hawaii, 1971).

Korisnik pristupa medijumu za prenos kada god ima paket namenjen transmisiji, paket se emituje u proizvoljnom vremenskom trenutku

Do kolizije paketa dolazi ukoliko dva korisnika istovremeno žele da emituju paket.

Pouzdanost u prenosu paketa obezbeđuje se potvrdom o primljenom paketu.

Nakon emitovanja paketa, pošiljalac čeka unapred definisani interval potvrdu o ispravnom prijemu od strane prijemnika. Ako potvrda o prijemu ne stigne u okviru datog intervala, korisnik smatra da je došlo do greške pri prenosu. Retransmisija paketa se vrši nakon slučajnog vremenskog intervala (sprečava se ponovna potencijalna kolizija paketa dva ili više korisnika).

SINHRONI ALOHA

Sinhronizovani ALOHA protokol (slotted ALOHA, S-ALOHA) osmišljen sa ciljem smanjenja verovatnoće kolizije paketa.

Verovatnoća je mala u slučajevima kada je intenzitet saobraćaja mali, dok raste sa povećanjem intenziteta saobraćaja i porastom broja korisnika.

Početak emitovanja paketa moguć samou ekvidistantnim vremenskim trenucima, jednakim intervalu vremena potrebnom za prenos paketa.

U ovom konceptu u celom sistemu je potrebna sinhronizacija emitovanja paketa.

Sinhronizacijom se ne eliminiše u potpunosti verovatnoća da dva ili više korisnika istovremeno emituju paket, ali se verovatnoća kolizije smanjuje.

Veoma značajan koncept, ali je veliki nedostatak relativno mali maksimalan protok koji se može ostvariti ovim pristupom.

27. CSMA METOD VIŠESTRUKOG PRISTUPA I MOGUĆI NAČINI REALIZACIJE.

CSMA (Carrier Sense Multiple Access) metoda slučajnog pristupa.

Da bi se smanjula verovatnoća kolizije svaki korisnik pre početka emitovanja paketa vrši „oslušivanje“ (sensing) medijuma za prenos.

Verovatnoća kolizije je primenom CSMA je smanjena, ali nije eliminisana.

Potrebno je određeno vreme od trenutka početka emitovanja paketa jednog korisnika do trenutka kada signal nakon propagacije na korišćenom medijumu stigne do svih potencijalnih korisnika, koji tek tada mogu da detektuju njegovo prisustvo.

Interval vremena u okviru kojeg može doći do kolizije jednak je propagacionom kašnjenju signala pri prenosu kroz celokupan medijum.

Na koji način predajnik postupa kada je kanal zauzet? CSMA protokoli se razlikuju u zavisnosti od „upornosti“ predajnika, tj. načina oslušivanja spektra pre emitovanja paketa.

U verziji CSMA protokola sa „upornim“ predajnikom, on ne čeka slučajan vremenski interval nakon neuspešnog pokušaja emitovanja, već sve vreme osluškuje medijum i vrši transmisiju paketa čim ustanovi da je medijum slobodan za prenos. Problem se može javiti ukoliko više od jednog predajnika čeka na emitovanje paketa.

Kada predajnik nije „uporan“ on osluškuje medijum kada god ima paket koji bi trebalo da pošalje. Ukoliko je medijum zauzet za prenos signala, predajnik čeka neki slučajan vremenski interval, nakon čega se ponovo vrši oslušivanje i u slučaju da je medijum slobodan vrši emitovanje paketa.

CSMA/CD (collision detection) predstavlja varijantu CSMA protokola sa detekcijom kolizije. Nasuprot standardnom CSMA protokolu kod kojeg u slučaju kada dođe do kolizije, svaki od predajnika emituje ceo paket, kod CSMA/CD varijante protokola prenos paketa se odmah prekida. Predajnici šalju obaveštenje na mreži da je došlo do kolizije. Ponovno emitovanje paketa se pokušava nakon slučajnog vremenskog intervala (da bi se sprečila ponovna kolizija u prenosu). Ovakav način pristupa koristi se najčešće u Ethernet mrežama.

U bežičnim sistemima princip prenosa CSMA/CD nije praktičan jer detekcija kolizije nije pouzdana usled efekta skrivenog čvora, koji nastaje kada je čvor mreže vidljiv pristupnoj stanici, ali ne i ostalim čvorovima u mreži. U CSMA/CA (collision avoidance) varijanti protokola sa izbegavanjem kolizije, predajnik pre emitovanja signala emituje širokodifuzni (broadcast) signal

čime najavljuje emitovanje svog paketa drugim čvorovima, nakon čega se emituje celokupan paket.

28. STRUKTURA SAVREMENIH TELEKOMUNIKACIONIH MREŽA, TCP/IP, KOMUTACIJA PAKETA.

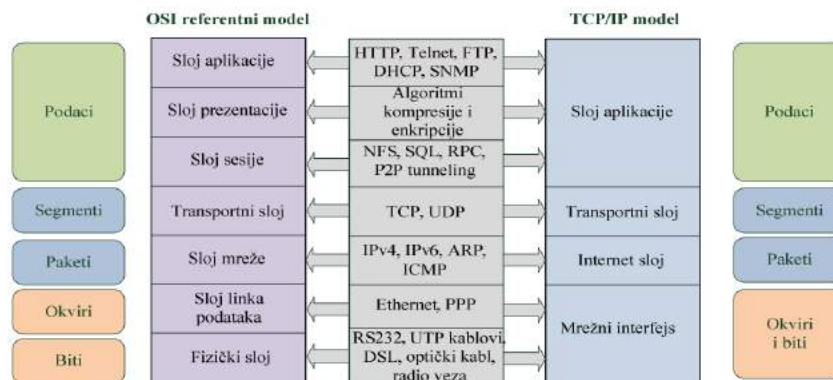
Savremena telekomunikaciona mreža sastoji se od povezanih uređaja. To mogu biti korisnički uređaji, kao što su računari ili telefoni (hosts), uređaji koji povezuju korisničke uređaje i ostatak mreže ili uređaji smešteni u jezgru mreže, kao što su ruteri ili centri za skladištenje podataka.

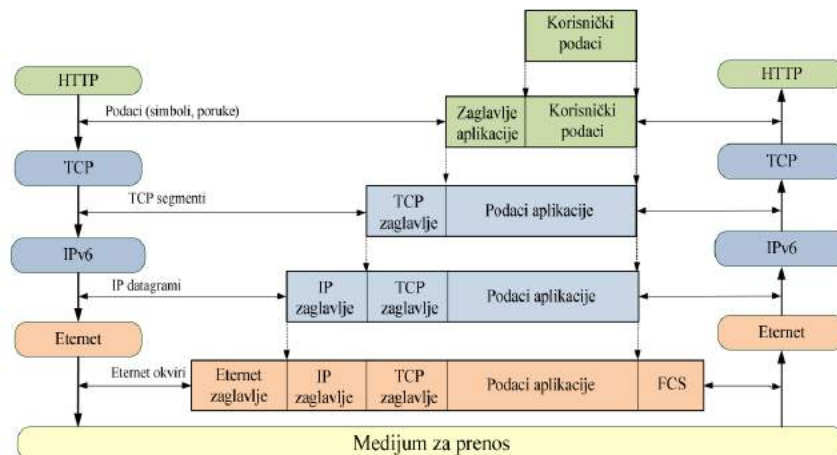
Uređaji koji čine mrežu povezani su linkovima, koji mogu biti fiksni ili mobilni. Mobilni telefon se na Wi-Fi ruter obično povezuje bežičnim putem, ali se na isti taj ruter desktop računar obično povezuje bakarnim kablovima (žična veza).

PRINCIP KOMUTACIJE PAKETA

Podaci koji se prenose segmentiraju se u pakete, koji sadrže zaglavlje u kome je navedeno od koga potiče paket, kome je namenjen, koji je to paket po redu iz niza paketa upućenih od nekog izvora ka odredištu, itd.

Takav koncept omogućava da se za svaki paket odredi optimalna putanja, kako bi se smanjilo opterećenje mreže i istovremeno povećala brzina i pouzdanost prenosa poruka do odredišta. Ako se desi prekid ili zagušenje na nekom od linkova, paketi se u ruterima preusmeravaju na one linkove koji su manje opterećeni. Pošto svaki paket sadrži informaciju o tome koji je njegov redni broj, na odredištu se vrši jednostavno preuređivanje redosleda primljenih paketa i kompletiranje poslate poruke.





29. PREDNOSTI I MANE FIKSNOG I MOBILNOG PRISTUPA INTERNETU.

30. DIAL-UP PRISTUP INTERNETU POSREDSTVOM PSTN.

PRISTUP INTERNETU POSREDSTVOM PSTN

Prvi široko prihvaćen telekomunikacioni sistem sa velikim brojem pretplatnika je svakako javna komutirana telefonska mreža (PSTN), koja je projektovana pre svega za obezbeđivanje telefonskog servisa. Krajem XX veka u svetu je instalirano oko milijardu telefonskih linija. Veza između telefonskih pretplatnika i odgovarajućih centrala je tipično ostvarivana korišćenjem upredenih bakarnih parica. Prvi pokušaji prenosa podataka između korisnika i provajdera

zasnivali su se na prenosu podataka kroz PSTN mrežu, tako što se između računara i bakarne parice postavi uređaj za povezivanje s Internetom (dial-up modem). Ovaj uređaj, kada se linija veze ne koristi za prenos govora, može da omogući prenos podataka kroz već postojeću javnu telefonsku mrežu.

DIAL-UP PRISTUP PRISTUP – IDEJA

Pošto je telefonska mreža dizajnirana za prenos govornog signala, na ulazu telefonske centrale nalazi se filter koji propušta samo učestanosti od 300 Hz do 3400 Hz. Modem stoga treba da izvrši konverziju digitalnih signala iz računara u analogne signale u opsegu 300 – 3400Hz (i obrnuto, pri preuzimanju podataka). Digitalnom signalu se mora ograničiti i uobličiti spektar (pulse shaping), a zatim se modulacijom spektar konačne širine translira u opseg pogodan za prenos.

DIAL-UP MODEMI

U telefonskoj centrali signal se digitalizuje (A/D) i kao PCM signal prenosi do centrale na koju je povezan provajder. Tamo se radi A/D konverzija (centrala pretvara PCM signal u govor u opsegu 300 – 3400 Hz), modulirani signal se prenosi do modema provajdera i tamo se obavlja demodulacija i D/A konverzija. Uzimajući u obzir da se rade čak po dve D/A i A/D konverzije odnos signal-šum u praksi teško može biti mnogo veći od 30 dB. Pošto signal na izlazu telefonske parice u praksi skoro nikad nema odnos signal šum veći od 33 dB, jasno je da bez značajnije modifikacije sistema veći protok nije moguće postići. Sa razvojem Interneta, provajderi su se sve više povezivali digitalnim vezama. Stoga signal na strani provajdera ne prolazi kroz filter i tamo se ne rade ni A/D ni D/A konverzija, što omogućava povećanje protoka na 56 kb/s. Protok pri prenosu signala iz modema koji je veći od 64 kb/s ne može se ni teorijski ostvariti, jer je on limitiran protokom jednog telefonskog kanala u PCM. Da bi se ostvarili veći protoci, na centrali se mora odvojiti više od jednog kanala za jednog korisnika, što je princip primenjen kod ISDN gde jedan korisnik dobija na korišćenje 2 ili 30 priključaka na centrali, ili se mora potpuno izbeći prenos podataka kroz telefonsku centralu i PSTN mrežu.

31. DSL PRISTUP INTERNETU. OSNOVNA IDEJA ADSL TEHNOLOGIJE, ADAPTACIJA U BINOVIMA, FIZIČKI SLOJ.

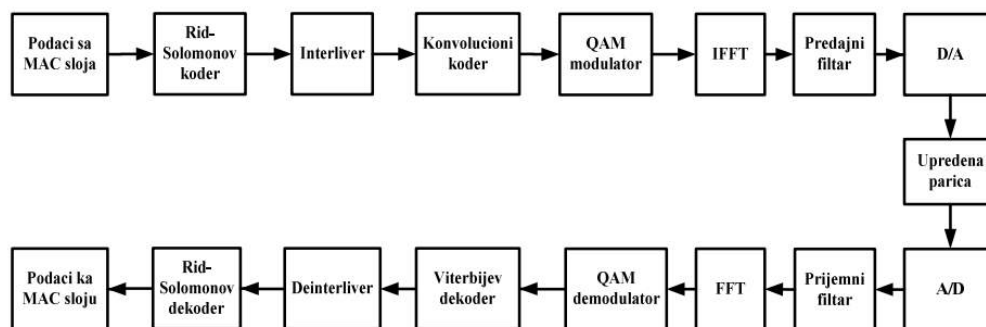
Digitalna pretplatnička linija (Digital Subscriber Line, DSL) predviđa da se frekventni opseg bakarne parice deli na dva ili više opsega, čime se omogućava prenos podataka kroz paricu, uz istovremeno odvijanje telefonskog razgovora.

ADSL tehnologija koristi odvojene podopsege za prenos odlaznog saobraćaja (upstream) i dolaznog saobraćaja (downstream). Signala koji dolazi od telefonskog aparata ima učestanosti ne veće od 4 kHz, dok ADSL modem može emitovati signale samo na učestanostima od 25.875 – 1104 kHz.

Na strani korisnika posebnim filtrom (splitter) obavlja se spajanje signala koji dolazi od telefonskog aparata i signala koji dolazi od ADSL modema. Multipleksirani signal na izlazu splitera emituje se u bakarnu paricu koja će signal uspešno preneti do zgrade u kojoj je smeštena telefonska centrala, pod uslovom da je njen propusni opseg dovoljno širok da prenese sve komponente signala koji se kroz nju prenosi.

Druga strana bakarne stranice, u zgradi telefonske centrale, povezana je na DSL pristupni multiplekser (Digital Subscriber Line Access Multiplexer, DSLAM). Telefonski saobraćaj se prosleđuje na ulaz telefonske centrale i dalje kroz PSTN mrežu, dok se podaci demodulišu u ADSL modemu i dobijeni digitalni signal se šalje Ethernet mrežom prema Internetu.

Princip rada ADSL modema ilustrovan je blok dijagramom sa slike, koja detaljno opisuje operacije koje se izvode na fizičkom sloju mreže. Modem koristi diskretnu višetonsku modulaciju (Discrete Multitone Modulation, DMT), tj. prenos podataka se vrši paralelno kroz 250 podkanala (binova) širine 4 kHz (32 bina za odlazni saobraćaj, a 218 bina za dolazni saobraćaj). U svakom opsegu podaci koje treba preneti uvode se u linearni blok koder, koji dodaje redundansu kako bi se obezbedio pouzdan prenos. Nakon primenjenog interlivinga, binarna sekvenca se vodi u QAM modulator, koristeći jedan od nosilaca koji odgovaraju dostupnim binovima (razmaknuti za po 4.3 kHz).



32. VDSL PRISTUP INTERNETU. FREKVENCIJSKI PLAN I DOMET.

Sledeće značajno unapređenje širokopoasnog pristupa preko bakarnih parica predstavlja digitalna pretplatnička linija vrlo velike brzine prenosa (Very High Speed Digital Subscriber Line, VDSL). Dodavanjem novih binova na više učestanosti, koji se po potrebi mogu koristiti kako za odlazni tako i za dolazni saobraćaj, na ovaj način se može obezbediti simetričan saobraćaj ili se može povećati protok dolaznog saobraćaja. Na višim učestanostima telefonska parica ima veće slabljenje! Što je rastojanje do DSLAM veće, signal na prijemu će biti slabiji. Prenos na visokim učestanostima može biti istovremeno brz i pouzdan samo ako je rastojanje na kome se signal prenosi malo! Na velikim rastojanjima razlika u protocima je minimalna.

33. PAKETSKE OPTIČKE MREŽE, OPTIČKA VEZA DO KRAJNJEG KORISNIKA (FTTH).

Postoje dva načina da se obezbedi širokopolasni pristup Internetu posredstvom optičkih kablova koji su postavljeni do krajnjeg korisnika, a to su aktivne optičke mreže (active optical networks, AON) i pasivne optičke mreže (passive optical networks, PON).

Kod AON podaci koji dolaze od sedišta internet provajdera u spliteru se pojačavaju i pomoću optičkog rutera, usmeravaju ka onim korisnicima kojima su namenjeni i dostavljaju se odgovarajućim optičkim kablovima.

U pasivnim optičkim mrežama TDM multipleksirani podaci se šalju ka svim korisnicima, jer se razdvajanje vrši u pasivnom optičkom spliteru koji ne obezbeđuje pojačanje ni klasifikaciju saobraćaja.

Optimalno rešenje je postavljanje optičkih kablova do krajnjeg korisnika (Fiber to the Home, FTTH).

Kako zamena bakarnih kablova optičkim nije jeftina, optički signal se često dovodi do zgrade (Fiber to the Building, FTTB), odakle se signal na neki drugi način dovodi do pojedinačnih korisnika.

34. KABLOVSKI DISTRIBUTIVNI SISTEMI (KDS).

U KDS sistemima krajnjim korisnicima se može ponuditi širi spektar servisa nego u DSL tehnologiji, a pre svega širokopolasni pristup Internetu sa istim protocima dolaznog i odlaznog saobraćaja i usluga kablovske televizije. U distributivnom centru se TV kanali slažu u FDM multipleks. Pritom se na analogne TV kanale primenjuju analogni modulacioni postupci (obično konvencionalna amplitudska modulacija, KAM), dok se jedan ili više digitalnih TV kanala modulišu izabranim postupkom digitalne modulacije (obično QAM). Bez obzira da li je primenjena analogna ili digitalna modulacija, njen rezultat je uvek analogni RF signal. Dok je kod DSL sistema televizija bila distribuirana kao internet saobraćaj (IP TV), ovde se svaki televizijski kanal prenosi u posebnom opsegu u čestanosti.

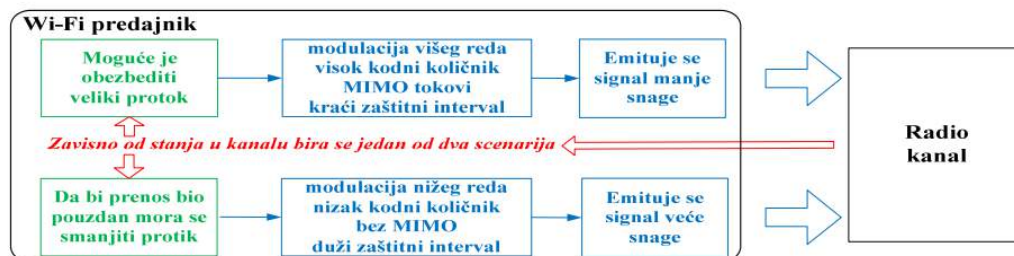
35. WI-FI TEHNOLOGIJA – ARHITEKTURA, STANDARDI, ADAPTACIJA LINKA.

Fleksibilnost u pristupu korisničkih terminala ruteru, pokrivenost male teritorije, relativno male snage, rad u nelicenciranom opsegu učestanosti

Wi-Fi mreže obično rade u slobodnim opsezima na učestanostima oko 2.4 GHz i 5 GHz i koriste OFDM multipleksiranje, sa izuzetkom 802.11b gde se koristi tehnika proširenog spektra sa direktnom sekvencom (DSSS). Zbog gustog multipleksiranja, obe ove tehnike omogućavaju širokopolasni prenos podataka od pristupne tačke (access point, AP) do korisničkog terminala. U kućnim Wi-Fi mrežama isti uređaj obavlja funkciju modema, rutera i pristupne tačke.

U standardu IEEE 802.11a prenos podataka se vrši na učestanosti nosioca oko 5 GHz, pri čemu je širina propusnog opsega $B = 20$ MHz, koji se OFDM postupkom deli na 64 podopsega širine 0.3125 MHz. Brzina signaliziranja u svakom podopsegu je nešto niža od maksimalno moguće i iznosi $V_s = 250$ ksimb/s, čemu odgovara trajanje signalizacionog intervala od 4 ms (uključen i zaštitni interval od 0.8 ms).

Maksimalan protok se postiže ako se za prenos koristi 64-QAM modulacija, kombinovana sa kodom koji ima kodni količnik $R = 3/4$, pa u tom slučaju spektralna efikasnost iznosi $\eta_s = R \times \log_2(64) = 4.5$ b/s/Hz. Kako se za prenos koristi 48 kanala, ukupan informacioni protok je $V_I = R \times \log_2(64) \times 48 \times V_S = 54$ Mb/s.



36. MOBILNI SISTEMI – PREGLED PO GENERACIJAMA.

37. MOBILNI SISTEMI ČETVRTE GENERACIJE – ARHITEKTURA, ADAPIVNA MODULACIJA I KODOVANJE, MIMO.

Sistem je baziran na standardu usvojenom 2008. godine (Long-Term Evolution, LTE), koji korišćenjem pristupa po principu ortogonalnog frekvencijskog multipleksiranja (OFDMA) omogućava protoke od 150 Mb/s do krajnjeg korisnika i kašnjenje od oko 100 ms, čime je omogućeno preuzimanje video sadržaja u realnom vremenu. Unapređenje ovog standarda LTE-A (LTE-Advanced) predviđa protoke do 1 Gb/s

Okosnicu čini IP/MPLS mreža, dok se povezivanje krajnjih rutera sa baznim stanicama obavlja korišćenjem pasivne optičke mreže. Pristupna mreža je bežična (Radio Access Network, RAN).

38. OSNOVNE KARAKTERISTIKE MOBILNIH SISTEMA PETE GENERACIJE, FIZIČKI SLOJ, MASIVNI MIMO, IOT.

39. SATELITSKI SISTEMI, PRISTUP INTERNETU POSREDSTVOM SATELITA.

40. GLOBALNI ŠIROKOPOJASNI PRISTUP INTERNETU, ZAHTEVI KOJI SE
POSTAVLJAJU PRED BUDUĆE SISTEME.