

PROTOKOLI I TEHNOLOGIJE BEŽIČNIH SISTEMA

Vežba 5

Uvod u WLAN. Modulacione tehnike
i tehnike višestrukog pristupa



Uvod

Lokalne bežične mreže (*WLAN – Wireless Local Area Networks*) nastale se sa ciljem da obezbede prenos podataka na ograničenom prostoru.

U osnovi WLAN je ćelija prečnika 100m pa su ove mreže idealne za kućna i poslovna okruženja (*SOHO – Small Office / Home Office*). WLAN mrežu čine jedna ili, što je češći slučaj, više osnovnih ćelija pa je oblast pokrivanja veća od pomenutih 100 metara

WLAN se zasnivaju na tradiciji nasleđenoj od LAN mreža pa su žične i bežične mreže međusobno kompatibilne i dopunjuju se.

Pored svih prednosti koje pružaju bežične mreže idelan su izbor u situacijama kada nije moguće postaviti kablovski infrastrukturu (drevne građevine) i u situacijama kada je potrebno privremeno obezbediti mrežnu infrastrukturu (sastanci, konferencije...)



Uvod

Osnovni zahtevi koje moraju da ispune WLAN su:

- mobilnost korisnika – obezbeđen kontinualan prenos podataka i kada se korisnik kreće, naravno u oblasti pokrivanja
- korišćenje resursa žične infrastrukture – moguće je jer su WLAN zapravo nadogradnja (ekstenzija) žičnih mreža
- produktivnost i efikasnost u obavljanju poslovnih zadataka
- sigurnost – iako se za prenos koristi nepouzdan medijum svi aspekti sigurnosti su u potpunosti zadovoljeni



Karakteristike WLAN

Osnovne karakteristike WLAN su:

- obezbeđuju bežični prenos podataka u određenom frekventnom opsegu
- obezbeđuju zone pokrivanja do 100m (300 metara u idealnim uslovima). Rekord u ostvarenoj konekciji je 420km (pojačavači + baloni + nespecifična oprema)
- obezbeđuju *roamnig* (kontinualan prenos podataka pri prelasku iz jedne u drugu ćeliju)
- obezbeđuju optimalnu potrošnju energije korisničkih stanica
- obezbeđuju pouzdanu zaštitu podataka



IEEE 802.11

Odmah nakon standardizacije žičnih mreža pojavile su se i bežične mreže u najrazličitijim oblicima. Svaki proizvođač opreme je radio po svojim pravilima što je rezultiralo skupom, teško dostupnoj opremi veoma visokih cena. Glavni nedostatak standarda bio je nekompatibilnost opreme dva različita proizvođača (nekada i dva različita modela istog proizvođača nisu međusobno „pričali“)

Svi ovi nedostaci rešeni su standardizacijom – IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) je formirao radnu grupu sa nazivom 802 i jedan od standarda ove radne grupe je 802.11 odnosno standard WLAN mreža

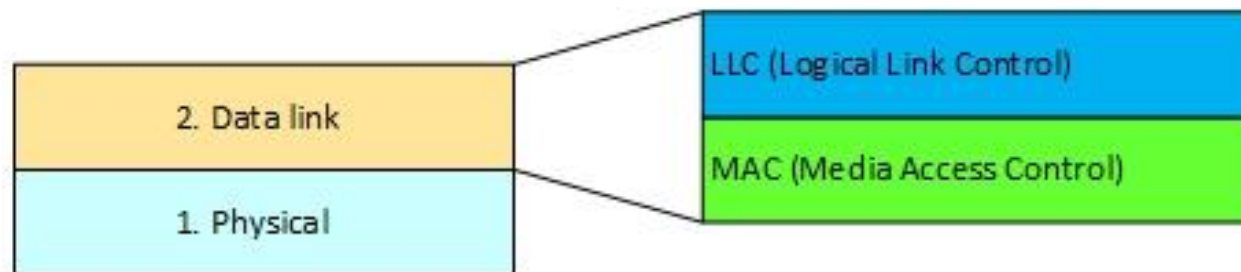
802.11 je tek nešto kasnije (kada je zaživeo) dobio naziv Wi-Fi (*Wireless Fidelity*).



802.11 - OSI

U OSI (*Open Systems Interconnection*) modelu standard 802.11 definiše pravila i protokole u fizičkom sloju i sloju podataka (ali samo jednom delu)

7. Aplikacioni	Podaci
6. Prezencacioni	Podaci
5. Sloj sesije	Podaci
4. Transportni	Segment / Datagram
3. Mrežni	Paket
2. Sloj podataka	Frejm
1. Fizički	Bit



802.11 - OSI

1. **Fizički sloj** (*Physical*) obezbeđuje fizičke parametre za prenos signala i tu spadaju talasni oblici signala, modulacione tehnike, naponski nivoi...

2. **Sloj podataka** (*Data link*) se deli na:

- MAC (*Media Access Control*) – definiše fizičku adresu uređaja (MAC adresu) i na taj način se vrši kontrola pristupa
- LLC (*Logical Link Control*) – proverava da li je primljena poruka ispravna, po potrebi ispravlja greške (do nekog nivoa) i grupiše pakete. Ovaj deo sloja nije predmet standardizacije 802.11 pa je LLC ostao isti kao kod LAN i zato su ove dve mreže međusobno kompatibilne



802.11 - OSI

- 3. **Mrežni sloj** (*Network*) – bazira se na IP protokolima odnosno distribuciji paketa između logički odvojenih mreža
- 4. **Transportni sloj** (*Transport*) - upravlja transportom segmenata / datagrama kroz mrežu (zavisno da li je TCP ili UDP)
- 5. **Sesioni sloj** (*Session*) – uspostavlja i raskida sesije tokom komunikacije
- 6. **Prezentacioni sloj** (*Presentation*) – enkripcija i kompresija podataka, odnosno prevode podake u oblik razumljiv aplikacijama koje prihvataju podatke
- 7. **Aplikacioni sloj** (*Application*) – ovim slojem raspolažu korisniče aplikacije



Podela 802.11

Za sada su objavljena četiri kompletna standarda, ali pored njih radna grupa 802.11 ima još nekoliko radnih grupacija koje se bave standardizacijom specifičnih oblasti u bežičnom prenosu podataka

<i>Wi-Fi standard</i>	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n
<i>Brzina prenosa (Mb/s)</i>	11	54	54	600
<i>Nominalni domet (m)</i>	50	25	50	70
<i>Frekvencija (GHz)</i>	2,4	5	2,4	2.4 ili 5
<i>Širina kanala (MHz)</i>	20	20	20	20 ili 40
<i>Modulaciona tehnika</i>	HR/DSSS	OFDM	OFDM	HT/OFDM

* HR – high rate, HT – high throughput



Podela 802.11

Wi-Fi standardi koji nisu kompletni ali koji definišu važne aspekte rada ovih mreža:

- 802.11e – QoS (*Quality of service*) i prioriteti korisnika
- 802.11f - Preuzimanje korisnika koji prelazi iz jedne zone pokrivanja u drugu zonu pokrivanja (*handover*)
- 802.11h - kontrola emitovane snage
- 802.11i – autentifikacije i enkripcija
- 802.11k – izveštaji o merenju pojedinačnih parametara signala
- 802.11s – ukrštanje više različitih mreža



Podela 802.11

U zavisnosti od fizičkog medijuma (ili načina korišćenja fizičkog medijuma) postoje 3 tipa WLAN mreža:

- mreže koje rade u infracrvenom delu spektra (IR – *infrared*)
- mreže koje koriste tehniku proširenog spektra (SS – *spread spectrum technique*)
- mreže koje se zasnivaju na osluškivanju medijuma u cilju sprečavanja kolizije (CSMA/CA *carrier sense multiple access/collision avoidance*)



802.11 – IR

Podaci se prenose u infracrvenom delu spektra i talasne dužine svetlosti su podeljene u tri oblasti:

- blizu (*near*): 0.78–2.5 μm
- srednje (*middle*): 2.5–50 μm
- daleko (*far*): 50–1000 μm

U IR mrežama se koristi PPM (*pulse position modulation*) i ostvarene brzine su do nekoliko Mbps (tipično 2), pa ove mreže nemaju neku značajniju primenu, iako su relativno jednostavne i povoljne (LED i PIN dioda su jeftini elementi)

Zbog male talasne dužine ove mreže se mogu primenjivati samo na *indor* okruženje, i infracrvena svetlost ne može prolaziti kroz zidove i druge „neprovidne“ prepreke dok pri prolasku kroz staklo slabljenje je veoma veliko



Modulacione tehnike sa više nosilaca

MCM (*Multicarrier Modulation*) je modulaciona tehnika koja se koristi kada se potrebne velike bitske brzine (prenos velikih količina podataka).

Najpoznatije tehnike su CDMA (*code division multiple access*) i OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*) ali se koriste i druge tehnologije koje postaju popularne sa razvojem bežičnih mreža.

MCM tehnika je slanje podataka preko više nosilaca.

Sa porastom bitskih brzina potrebno je povećanje propusnog opsega. Različite frekvencije podležu različitim uslovima propagacije (selektivni fading) što otežava postizanje velikih bitskih brzina. Rešenje tog problema je korišćenje MCM tehnika. Osnovna prednost sistema sa više nosilaca u odnosu na tradicionalne sisteme je što, iako postoje smetnje, one obično utiču na mali broj frekvencija nosilaca.



Modulacione tehnike sa više nosilaca

Princip rada sistema MCM sistema: osnovni tok podataka se deli na više tokova manjih bitskih brzina.

Svaki od nižih tokova se koristi za modulaciju pojedinačnih nosilaca. Na mestu prijema, nakon demodulacije, niži tokovi se "spajaju" u osnovni tok.

Počeci MCM tehnika počeli su u vojnoj industriji (za razdvajanje kanala korišćeni su filtri propusnici opsega sa strmim prelaznim karakteristikama).

Komercijalniju primenu MCM tehnike našle su u DVB sistemima, sistemima mobile telefonije, DAB sistemima, WiFi i WiMAX internet servisima...



Modulacione tehnike sa više nosilaca

Najčešće korišćene MCM tehnike su:

OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*) - najčešće korišćena metoda, koristi više međusobno ortogonalnih nosilaca (u frekvencijskom domenu) i tako je omogućeno da se međusobni signali međusobno ne ometaju

GFDM (*generalised frequency division multiplexing*) - koriste se razmaknuti neortogonalni nosioci, primena kod komunikacije mašina-mašina

FBMC (*filter bank multi carrier*) - filtrima se oblikuju talasni oblik signala tako da nema međusobne interferencije. Tehnika oblikovanja signala poznata je kao IOTA (*isotropic orthogonal transform algorithm*)



OFDM

OFDM je standard usvojen za 802.11a, 802.11n, 802.11ac, LTE, WiMAX, DAB, DVB...

Iako je ovo tehnički najkompleksnija tehnika od svih MCM, najviše se primenjuje jer obezbeđuje najveće bitske brzine.

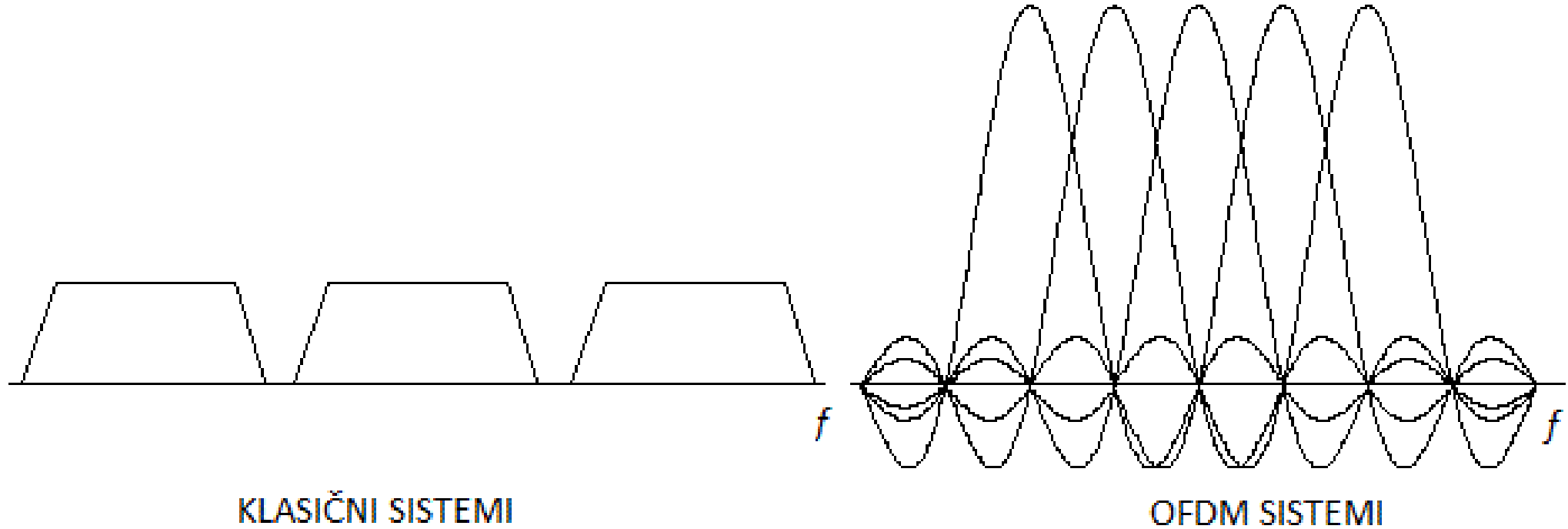
Kod tradicionalnih sistema nosioci moraju biti dovoljno razdvojeni (kako bi prijemnik mogao da ih detektuje) i između nosilaca mora postojati zaštitni pojas (strmina filtra nije vertikalna).

To nije slučaj sa OFDM, nosioci su bliski i nema zaštitnog pojasa a interferencije je izbegnuta korišćenjem osobine ortogonalnosti - razmak između nosilaca jednak je recipročnom periodu simbola.



OFDM

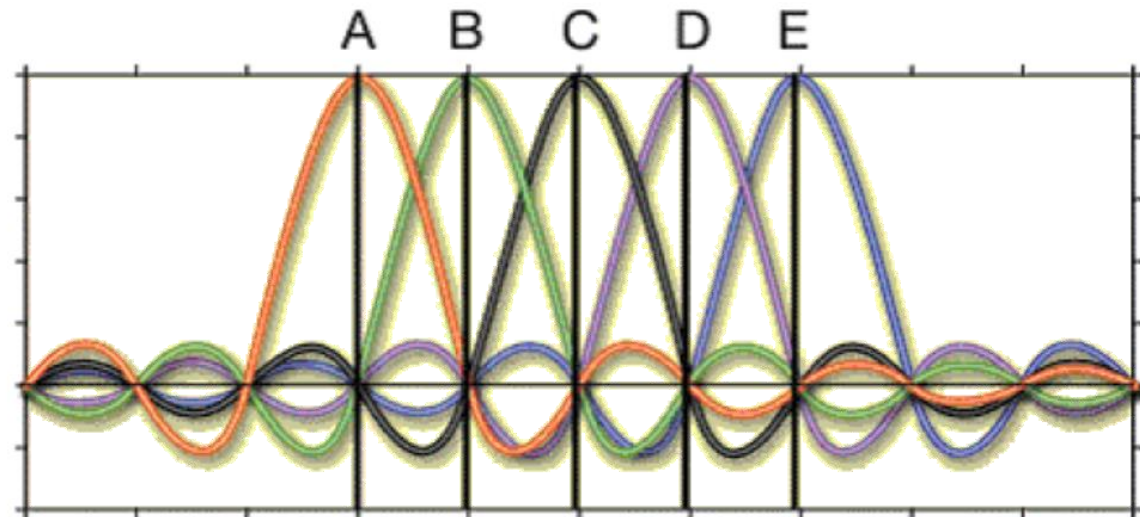
Poređenje klasičnih i OFDM sistema: kod OFDM nema zaštitnog intervala i kanali se međusobno preklapaju



OFDM

Prevođenje signala iz vremenskog u frekvencijski domen radi se FFT (*Fast Fourier transform*), inverzan proces odnosno transformacija iz frekvencjskog u vremenski domen vrši se IFFT (*Inverse fast Fourier transform*).

Ukupan tok podataka serisjko-paralelnom konverzijom deli se na nekoliko strimova. Svaki od podtokova ima takav vremenski oblik da nakon FFT frekevencijski odziv prvog strima ima maksimum u frekvencijama gde frekvencijski odzivi drugih strimova imaju nule



OFDM

Na mestu prijema svaki demodulator demodulira sve signale (jer je to zapravo banka demodulatora) ali nakon procesa demodulacije demodulator jedan će imati samo prisutan signal iz prvog modulatora, dok će svi ostali biti nula.

Jedan od osnovnih zahteva OFDM sistema je linearnost; korišćenje nelinearne opreme prouzrokovalo bi izobličenja.

Drugi zahtev je korišćenje kontrolisanog pojačavača na izlazu predajnika kako bi mogli da se kontrolišu nivoi pikova pojedinih strimova.

Pored svih navedenih prednosti nije isključeno da će neki od tokova biti oštećen šumom ili nekom dodatnom smetnjom pa se prilikom kodovanja koriste kodovi sa ispravljanjem grešaka.



OFDM

Prednosti OFDM:

- otporniji na selektivni fading od klasičnih sistema
- otporniji na dodatne smetnje - može doći do smanjenja propusnog ospega ali nisu svi podaci izgubljeni jer statistički gledano smetnja ne utiče na sve podopsege
- spektralna efikasnost - podnosiči se preklapaju i nema zaštitnog intervala pa je iskorišćenje frekvencije potpuno
- izjednačavanje (ekvilizacija) kanala je glavni problem CDMA sistema, a ovde je to rešeno postojanjem pojačavača na izlaznom kolu



OFDM

Nedostaci OFDM sistema:

- zahtev za linearnom opremom
- zahtev za izlaznim pojačavačima
- osetljivost na klizanje centralne frekvencije nosioca (tradicionalni sistemi nemaju ovaj problem)
- zahtev za preciznom sinhronizacijom
- zahtev za cikličnim prefiksima



OFDM

Glavna karakteristika OFDM sistema je korišćenje cikličnih prefiksa (*cyclic prefix*), poslednji deo prethodnog simbola se prenosi u trenutnom simbolu - smanjuje grešku ali smanjuje i efikasnost.

Svi OFDM sisemi moraju imati preciznu sinhronizaciju. Ukoliko se koristi frekvencijsko skakanje sinhronizacija predajnika i prijemnik mora biti potpuno sinhrona. Trajanje simbola na predajnoj i prijemnoj strani mora biti identično pa je ovo još jedan razlog za preciznom sinhronizacijom. Ako se desi da sinhronizacija "pobegne" na frekvenciji gde jedan tok ima maksimum ostali neće imati nulu, i to prouzrokuje grešku.

Prilikom kretanja korisnika, zbog Doplerovog efekta, može doći do „klizanja“ frekvencije



OFDM

Varijante OFDM:

COFDM (*coded OFDM*) - koristi se kodovanje za ispravljanje grešaka

Flash OFDM - metoda razvijena od strane Flarion Technologies, pored više nosilaca koristi se brzo frekvencijsko skakanje

OFDMA (*orthogonal frequency division multiple access*) - omogućava višestruki pristup

VOFDM (*vector OFDM*) - razvijen od strane CISCO Systems, najčešća primena kod MIMO sistema (tehnika treninga simbola)

WOFDM (*Wideband OFDM*) - širokopolasni OFDM, koristi nešto veći razmak između nosilaca nego što je slučaj sa "običnim" OFDM, česta primena je kod WiFi sistema.



Modeli proširenog spektra

Sve klasične tehnike modulacije i demodulacije optimizovane su u odnosu na telekomunikacioni kanal u kome je prisutan šum.

Prema tome, osnovni kriterijum za izbor postupka modulacije/demodulacije je minimalna verovatnoća greške.

Osnovni parametar za poređenje sistema je potrebna širina propusnog opsega za prenos kao i potreban odnos S/N (odnos signal – šum).

Većina realnih telekomunikacionih kanala može uspešno da se modelira kao stacionarni šum – *AWGN (Additive white Gaussian noise)*



Modeli proširenog spektra

Međutim, postoje kanali koji ne mogu da se uklape u ovaj model a to su kanali u kojima su prisutni namerni ili nenamerni interferirajući signali različitih vremenskih i spektralnih karakteristika. Poseban slučaj je interferencija kao posledica višestruke propagacije signala, nju nije moguće modelirati kao AWGN.

Zbog relanih uslova elektromagnetne sredine postoji zahtev za novim postupcima u obradi i prenosu signala, sa sledećim osnovnim zahtevima:

- visoka otpornost na uticaj interferencije
- visoka spektralna efikasnost
- mala verovatnoća presretanja – LPI (*Low Probability of Interception*)

Ispunjenje ovih zahteva moguće je ostvariti **tehnologijom proširenog spektra**.



Modeli proširenog spektra

Krajnje pojednostavljena definicija sistema proširenog spektra je: To su sistemi kod kojih je širina propusnog opsega za prenos signala znatno veća od minimalno potrebne.

Druga definicija sistema sa proširenim spektrom je: To su sistemi kod kojih je ispunjen uslov:

$$B \cdot T \gg 1$$

gde je B zauzeti opseg učestanosti a T signalizacioni interval. Kod konvencionalnih telekomunikacionih sistema važi da je $BT \approx 1$.

Proizvod $G=BT$ uobičajeno se naziva procesno pojačanje sistema.



Modeli proširenog spektra

Osnovne osobine sistema sa proširenim spektrom:

- potiskivanje interferencije
- kodni multipleks CDMA (*Code Division Multiple Access*)
- otpornost na višestruku propagaciju
- mala verovatnoća presretanja signala LPI (*Low Probability of Interception*)
- tajnost prenosa
- spektralna efikasnost



Modeli proširenog spektra

Potiskivanje interferencije i otpornost na višestruku propagaciju – koristan signal se širi i može biti „potpoljen“ u šum (interferirajuće signale, *multipath* signale...). Na prijemu se radi inverzan proces gde se samo koristan signal izdvaja iz ostalih signala.

Koncept male verovatnoće presretanja (LPI) znači da sistem treba da bude tako dizajniran da je signal, u elektromagnetnom smislu, u što većoj meri nevidljiv za ostale sisteme osim za korisni prijemnik.

Ako je ovaj uslov ispunjen presretaču je teško da locira koristan signal.



Modeli proširenog spektra

Sistemi proširenog spektra mogu se svrstati u tri osnovne kategorije:

- sistemi sa direktnom sekvencom – DS (*Direct Sequence*)
- sistemi sa frekvencijskim skakanjem – FH (*Frequency Hopping*)
- sistemi sa vremenskim skakanjem – TH (*Time Hopping*)

Pored ove tri navedene tehnike širenja spektra, često se u *Spread Spectrum* sisteme ubrajaju i sistemi sa linearnom frekvencijskom modulacijom (*chirp*), kao i hibridne realizacije sistema za prenos signala.

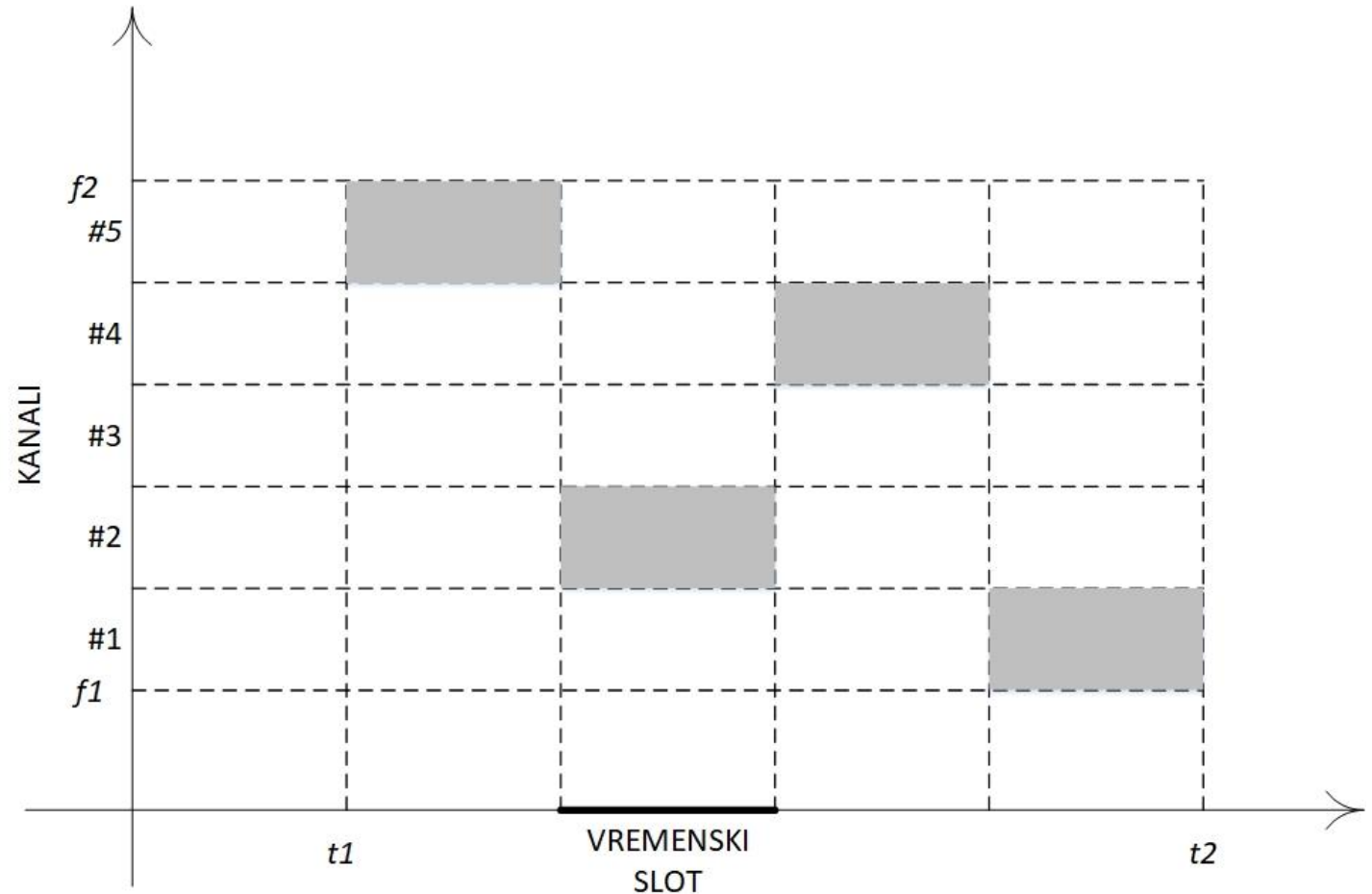


Prošireni spektar – frekvencijsko skakanje

- Procesno pojačanje:

$$G_p = \frac{B_{ss}}{B_m}$$

- Bss – opseg u kome se vrši skakanje
- Bm – minimalno potreban opseg
- Za prenos signala u jednom vremenskim slotu koristi se samo jedan frekvencijski kanal



Prošireni spektar – frekvencijsko skakanje

Tehnika proširenog spektra – frekvencijsko skakanje se koristi u opsegu 2,4GHz.

Frekvencija-nosilac se menja po unapred definisanom rasporedu, i vreme zadržavanja na jednoj frekvenciji naziva se *dwel* time.

Za prenos se koriste dve modulacione tehnike:

- 2GFSK (*Two-level Gaussian FSK*)
- 4GFSK (*Four-level Gaussian FSK*)

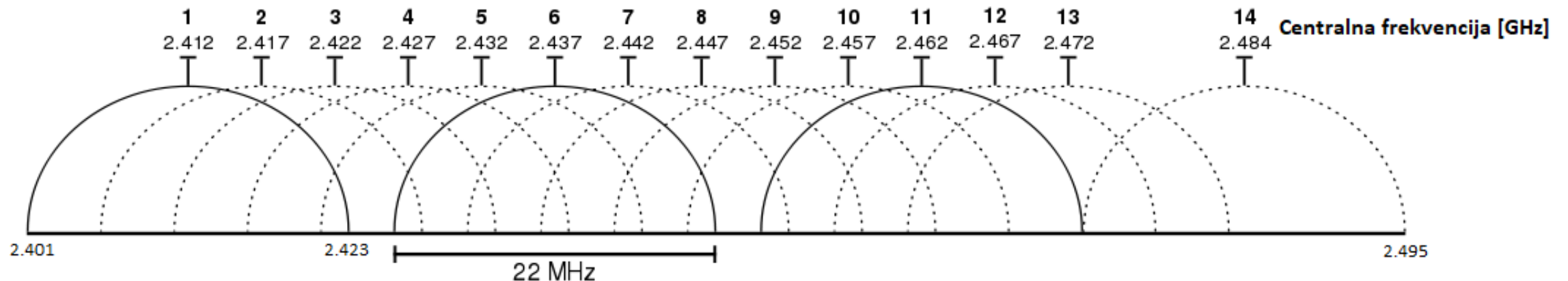
Standardom 802.11 definisana su 22 različita šablona promene kanala, pri čemu svaki korisnik mora koristiti drugačiji šablon



Prošireni spektar – frekvencijsko skakanje

U opsegu od 2,4GHz spektar je podeljen na 14 kanala (ne koriste se u svim zemljama svi kanali), i razmak između kanala je 6 MHz za Ameriku i Evropu a 5 MHz u Japanu, osim poslednja dva koji su razmaknuti za 12 MHz. Preklopljeni kanali će se međusobno ometati pa je potrebno koristiti mehanizam za izbegavanje smetnji (smetnje se manifestuju smanjenjem bitskih brzina)

Kanali se međusobno preklapaju



Prošireni spektar – direktna sekvenca

- Procesno pojačanje:

$$G_p = \frac{V_c}{V_b}$$

- V_c – brzina generisanja čipova
- V_b – brzina generisanja bita poruke koja se prenosi
- U praksi se ovaj odnos kreće i do nekoliko stotina



Prošireni spektar – direktna sekvenca

Tehnika proširenog spektra sa direktnom sekvencom je spektralno efikasnija u odnosu na frekvencijsko skakanje jer za isti opseg DS ostvaruje mnogo veće bitske protoke.

Princip rada se zasniva na množenju signala sa PSS (pseudoslučajna sekvenca), čime se postiže mogućnost „potapanja“ signala u šum

Takođe, SS-DS je otporna na interferenciju i uz metode enkripcije postaje veoma efikasna i sigurna metoda

ISM (*industrial, scientific and medical*) opseg je nelicenciran opseg i moguće je slobodno emitovanje uz poštovanje nekih pravila (maksimalna snaga EIRP za evropu je 100mW)

Za 802.11 SS-DS tehnika je dobila proširenje HR (*high rate*) koja obezbeđuje veće protoke ali to znači i veću osetljivost na šum pa je domet nešto manji



Pseudoslučajne sekvence

Sekvence slučajnih digitalnih simbola predstavljaju klasu signala koja se vrlo često sreće u različitim oblastima savremenih telekomunikacija (treba istaći da termin slučajan kod realnih signala ne označava pravu slučajnost jer svaka konačna sekvenca posmatranih digitalnih signala nije potpuno slučajna).

Osnovni zadatak obrade signala je da oblikuje sekvence tako da njihove karakteristike budu što više slične karakteristikama pravih slučajnih signala.

Sekvence koje imaju karakteristike pravih slučajnih sekvenci uz osobinu da mogu da se ponove nazivaju se pseudoslučajne sekvence – PSS.



Pseudoslučajne sekvence

Da bi se sekvenca klasifikovala kao pseudoslučajna sekvenca mora zadovoljiti određene uslove:

- 1. balansiranost – u svakoj periodi sekvence brojevi simbola {1} i simbola {-1} treba da se razlikuju najviše za jedan
- 2. dužina podnizova – *u svakoj periodi sekvence jedna polovina podnizova je dužine 1, jedna četvrtina podnizova je dužine 2, jedna osmina nizova je dužine 3...*
- 3. autokorelacija – auto-korelaciona funkcija je dvonivovska (K_1 i K_2 su konstante)

$$R_a(m) = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L a_k a_{k+m} = \begin{cases} K_1, & m = 0, \pm L, \pm 2L \dots \\ K_2, & \text{za ostale vrednosti } m \end{cases}$$



Pseudoslučajne sekvence

Primer: data je sekvenca dužine $L=7$: ...1,1,1,-1,1,-1,-1... Izračunaj autokorelaciju.

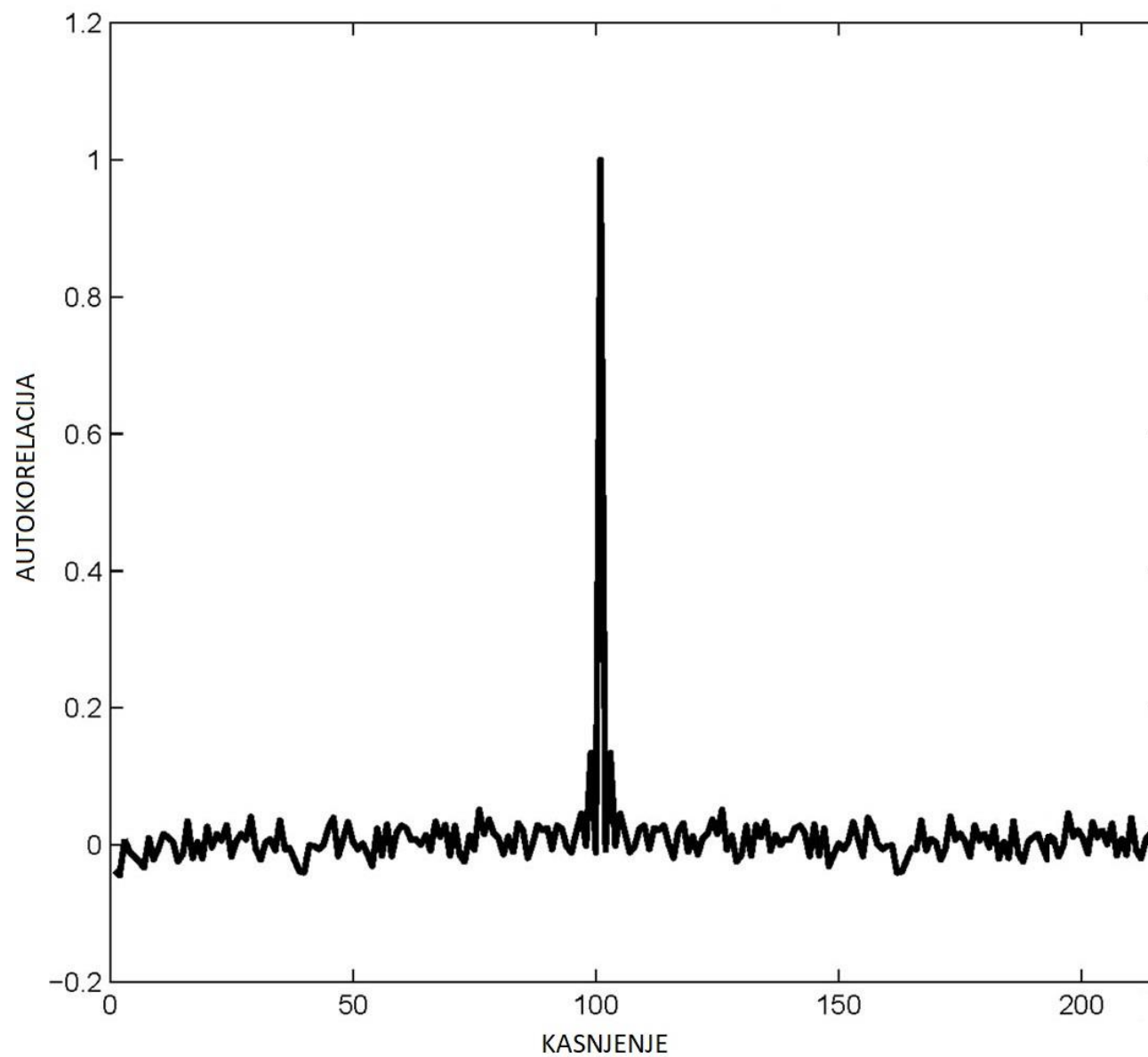
$$R_a(m) = \frac{1}{7} \sum_{k=1}^7 a_k a_{k+m} = \begin{cases} 1, & m = 0 \\ -\frac{1}{7}, & 0 < m < 7 \end{cases}$$

Na ovom pravilu se zasniva princip rada sistema sa proširenim spektrom.



Pseudoslučajne sekvence

Autokorelacija



Pseudoslučajne sekvence

Pseudoslučajne sekvence predstavljaju određenu vrstu (ili klasu) signala pomoću kojih se obavlja širenje spektra. Ova klasa signala se koristi i u kriptografiji.

Osnovni zahtev pri dizajnu pseudoslučajnih sekvenci je da što više liče na slučajan signal, odnosno šum.

Dva osnovna zahteva koja mora da ispuni PSS su:

- PSS treba da bude takva da se može ponoviti u prijemniku
- PSS u prijemniku treba da bude sinhronizovana sa PSS u predajniku



Pseudoslučajne sekvence

Generisanje PSS je jednostavno – zasniva se na korišćenju binarnog pomeračkog registra sa povratnom spregom.

Ukoliko su operacije unutar kombinacione mreže nad sadržajem memorijskih elemenata linearne, takav generator se naziva linearni pomerački registar - LFSR (*Linear Feedback Shift Register*).

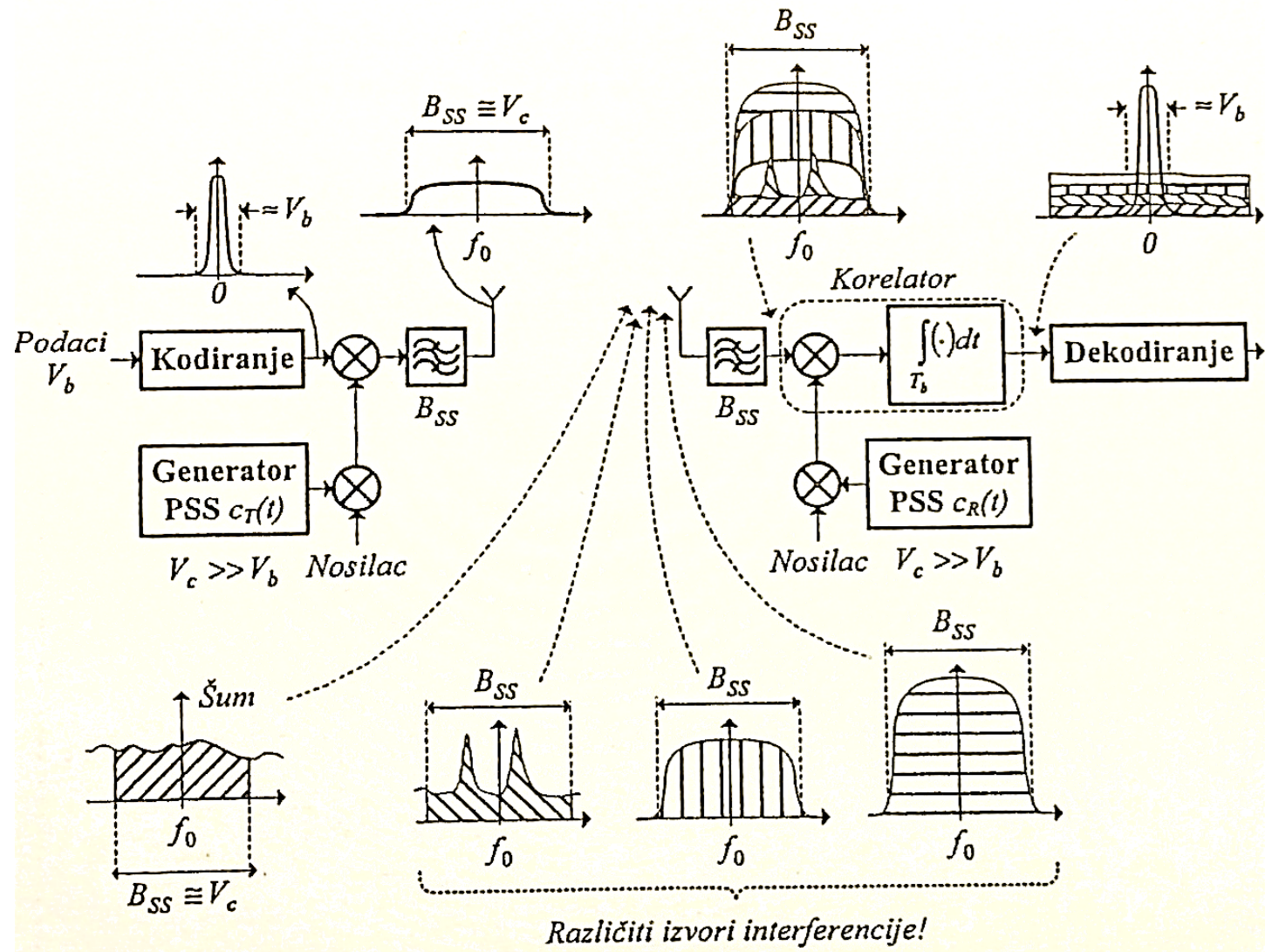
U suprotnom, ako se koristi bar jedna operacija negacije, onda takav generator spada u klasu nelinearnih pomeračkih registara - NLFSR (*Non-Linear Feedback Shift Register*)

Početno stanje sve nule nije dozvoljeno jer registar iz tog stanja ne bi mogao da izađe.

Maksimalno duga perioda: $L=2^n-1$ (n broj memorijskih elemenata)



Primena PSS kod sistema sa direktnom sekvencom



SCMA

SCMA (*sparse code multiple access*) – je tehnika gde se kombinuju OFDMA i CDMA

Ovom kombinacijom postižu se veće bitske brzine i jedna od primena je kod 5G sistema mobilne telefonije

Ideja je da se svaki ortogonalni frekvencijski kanal kodno moduliše

Prednosti SCMA su:

- veće bitske brzine
- smanjeno kašnjenje
- smanjena potrošnja energije



NOMA

NOMA (*non-orthogonal multiple access*) su sistemi koji ne koriste ortogonalne nosioce ali obezbeđuju višestruki pristup

Osnovni princip rada NOMA sistema je da koriste signale različitih nivoa.

Dva toka se emituju tako da jedan emituje povišenom snagom a drugi smanjenom snagom. Na osnovu razlike nivoa prijemnik je u stanju da razdvoji signale (da bi ih demodulisao) i ponovo da ih spoji u jedan strim.

Ovo je tehnika koja će se koristiti u budućnosti, prvenstveno zbog zahteva za velikom procesorskom snagom.



802.11a

Standard 802.11a radi u U-NII (*Unlicensed National Information Infrastructure*) opsegu, odnosno nekoliko opsega iznad 5 GHz: 5.15 – 5.25, 5.25 – 5.35, 5.725 – 5.825 i ukupno se koristi 17 kanala

U ovom opsegu je slobodno emitovanje bez posebne dozvole s tim da se moraju poštovati pravila maksimalne izračene snage:

- prvi opseg maksimalno 40mW
- drugi opseg maksimalno 200mW
- treći opseg maksimalno 800mW



802.11a

Prednosti U-NII (5 GHz) u odnosu na ISM (2,4GHz) su:

- veći opseg frekvencija
- manja „gužva“ u etru
- veći protoci

Nedostaci U-NII (5 GHz) u odnosu na ISM (2,4GHz) su:

- međusobna nekompatibilnost
- lošiji uslovi propagacije i manje zone pokrivanja
- povećana potrošnja energije

Standard 802.11n je kombinacija ova dva opsega i koristi najbolje od svakog

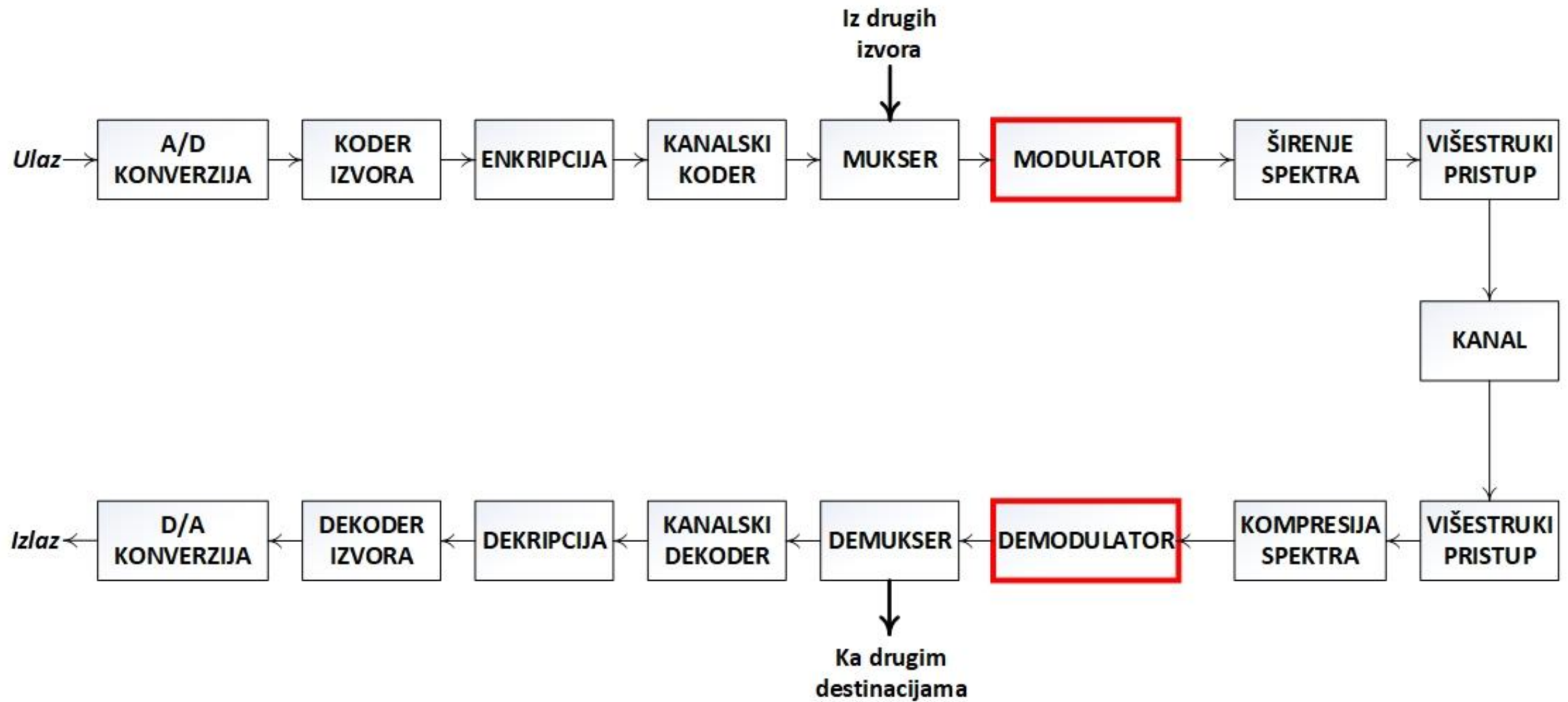


DIGITALNE MODULACIJE

DODATAK

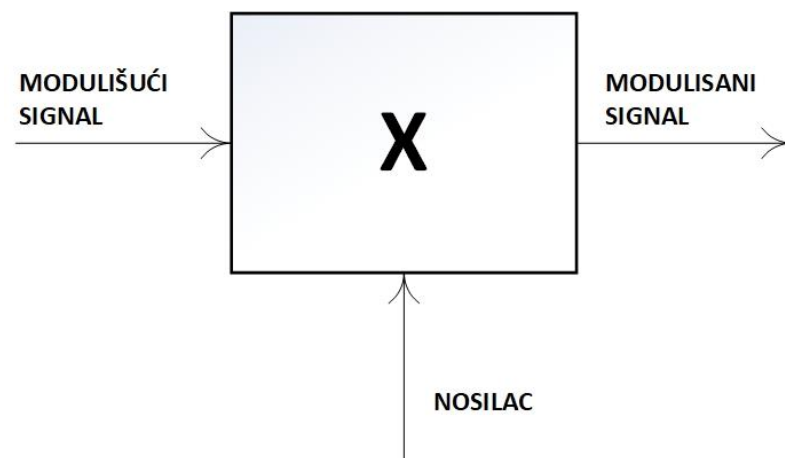


Blok šema digitalnog komunikacionog sistema



Pojam modulacija

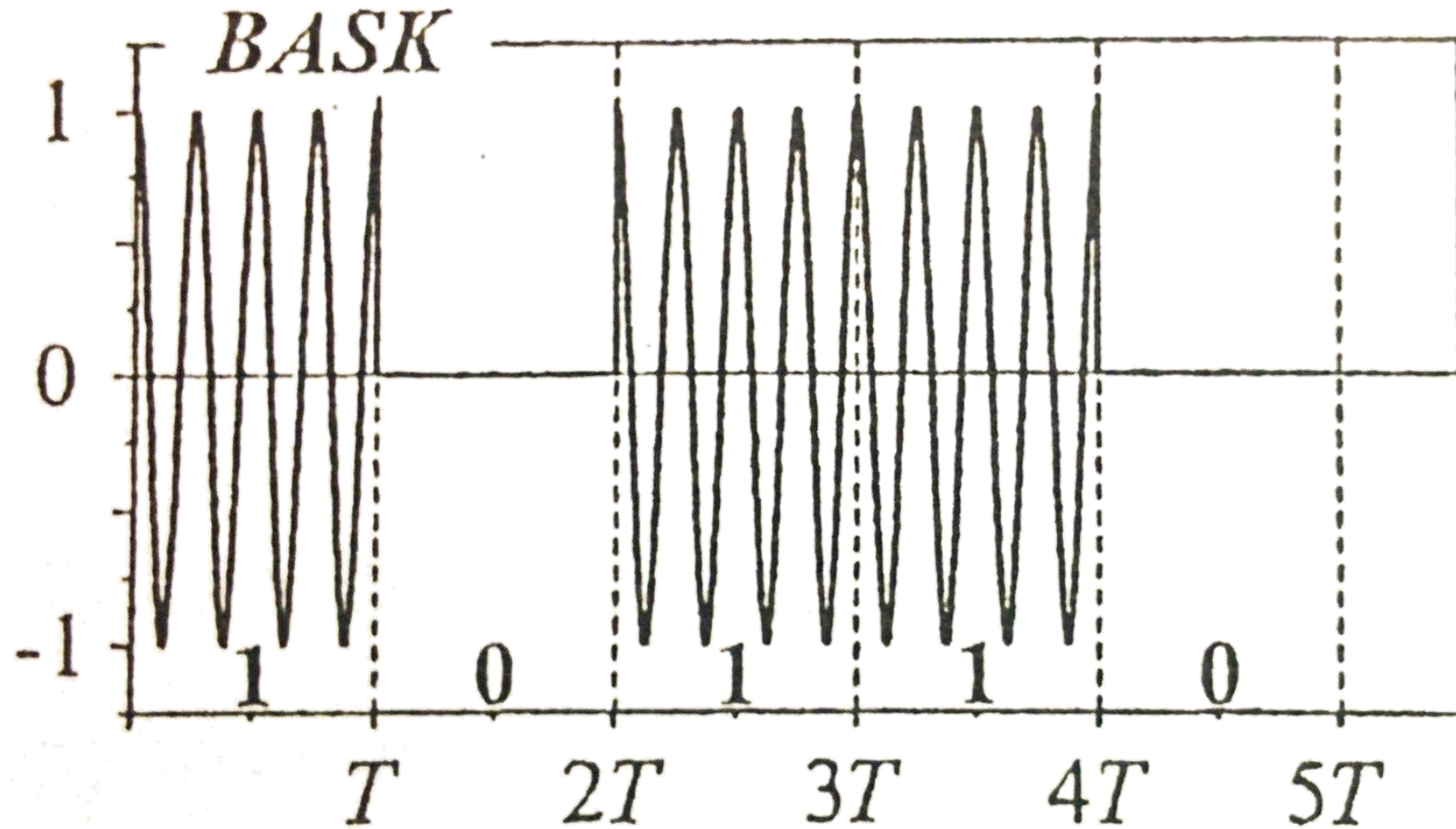
- Digitalna modulacija je proces u kome digitalni simbol, modulišući signal, moduliše prostoperiodični signal, nosilac



- Osnovni binarni modulacioni postupci su:
 - Binarna amplitudska digitalna modulacija – BASK (*Binary Amplitude Shift Keying*)
 - Binarna frekvencijska digitalna modulacija – BFSK (*Binary Frequency Shift Keying*)
 - Binarna fazna digitalna modulacija – BPSK (*Binary Phase Shift Keying*)

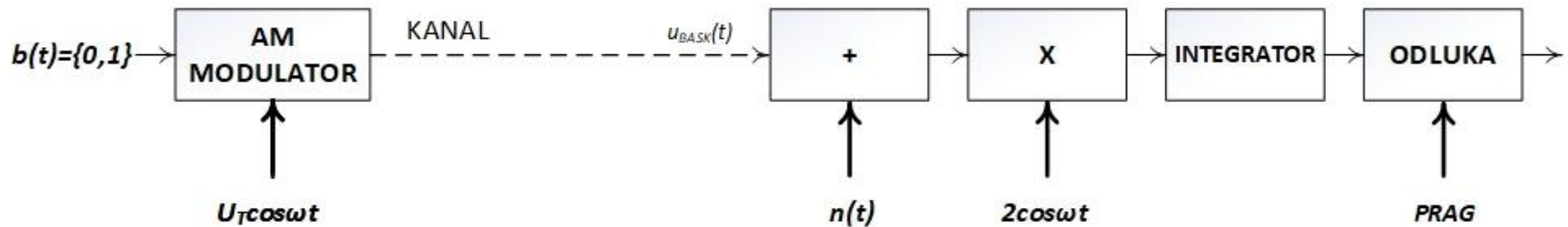


Binarna amplitudska digitalna modulacija – BASK



Binarna amplitudska digitalna modulacija – BASK

- Blok šema sistem sa BASK:

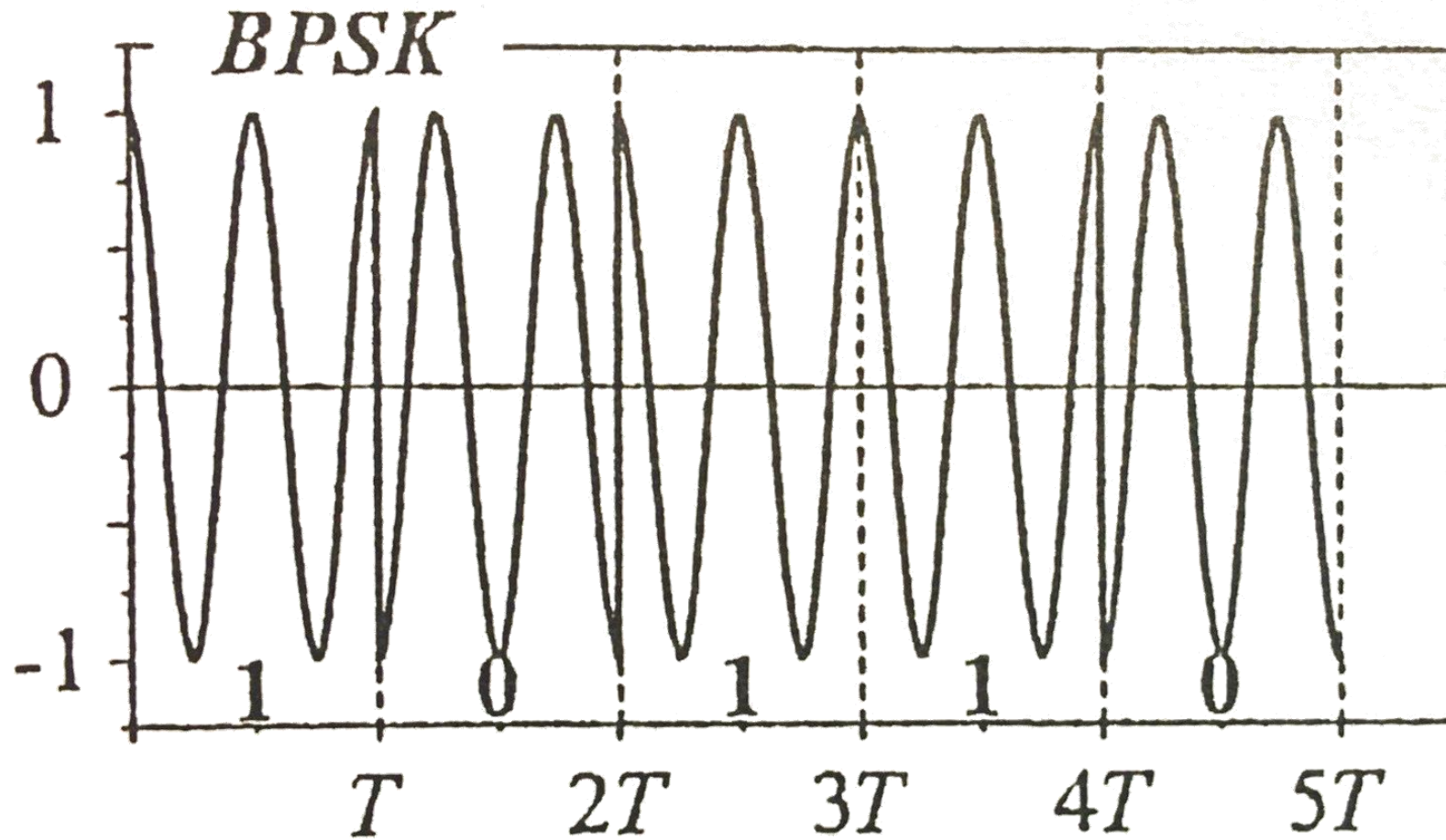


$u_{BASK}(t)=0$ – binarni simbol „0“

$u_{BASK}(t)=U \cos \omega t$ – binarni simbol „1“

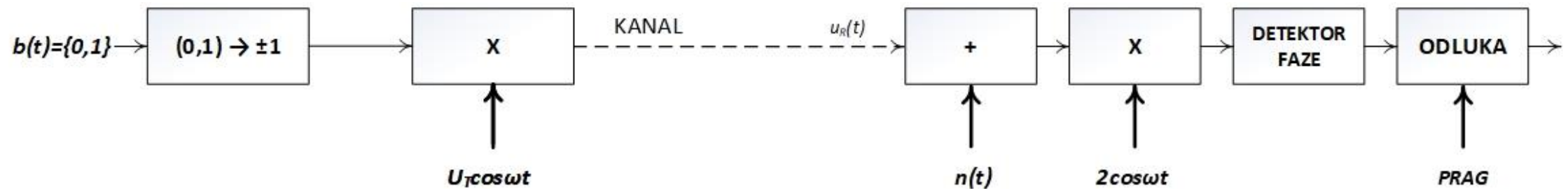


Binarna fazna digitalna modulacija – BPSK



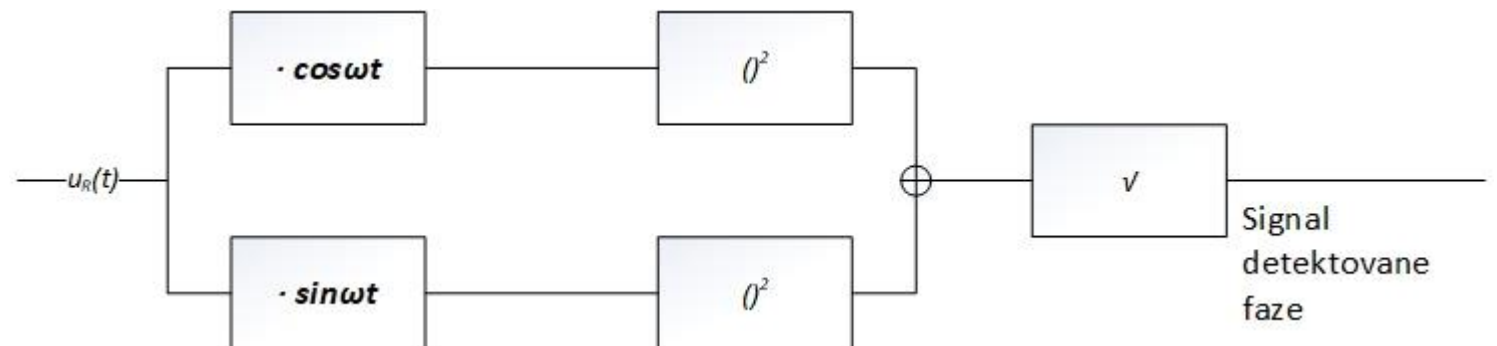
Binarna fazna digitalna modulacija – BPSK

- Blok šema sistem sa BASK:



$$u_R(t) = b(t)U_T \cos \omega t, \quad b(t) \in \{\pm 1\}$$

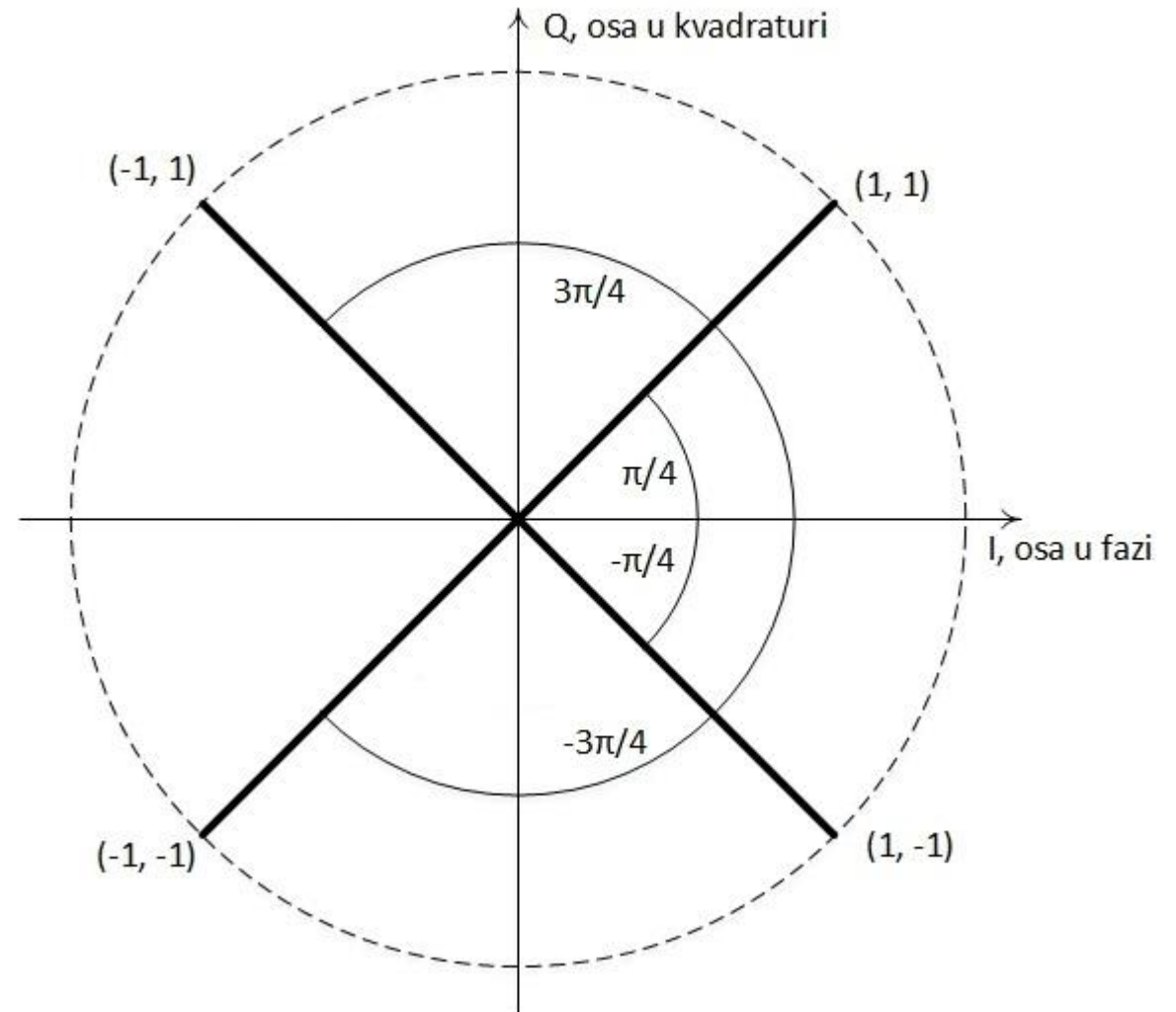
- Sklop za detekciju faze:



Kvadratura fazna digitalna modulacija – QPSK

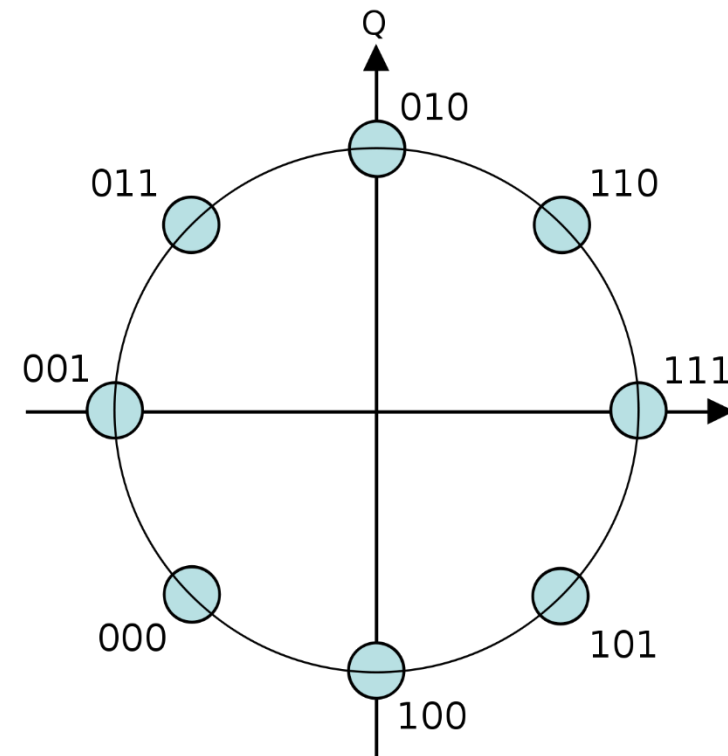
p, q	$\sin \phi(t)$	$\cos \phi(t)$	$\phi(t)$
1, 1	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$	$\pi/4$
1, -1	$-\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$	$-\pi/4$
-1, 1	$\sqrt{2}/2$	$-\sqrt{2}/2$	$3\pi/4$
-1, -1	$-\sqrt{2}/2$	$-\sqrt{2}/2$	$-3\pi/4$

- QPSK demodulator ima dva (u paraleli) BPSK demodulatora odnosno detektora faze



M-arna fazna digitalna modulacija – MPSK

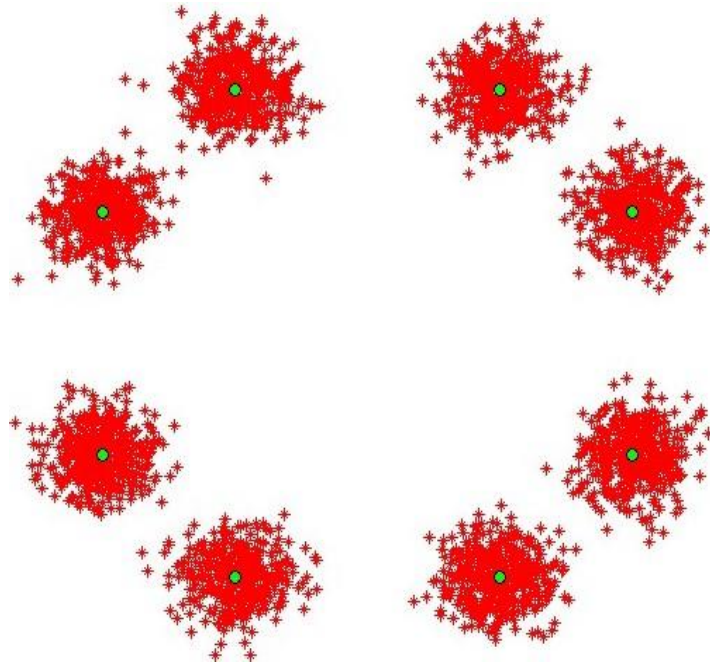
- Osnovna svrha MPSK je povećanje spektralne efikasnosti. U odnosu na BPSK, gde jedan bit predstavlja jedan simbol, kod MPSK modulacije jedan simbol predstavlja $n=\log_2(M)$ bita, što znači da je spektralna efikasnost povećana n puta.
- Cena povećanja spektralne efikasnosti je veća složenost sistema u odnosu na BPSK ili QPSK modulacije, kao i povećana verovatnoća greške.
- Na slici je primer 8PSK.
- Uobičajeno je M stepen broja 2



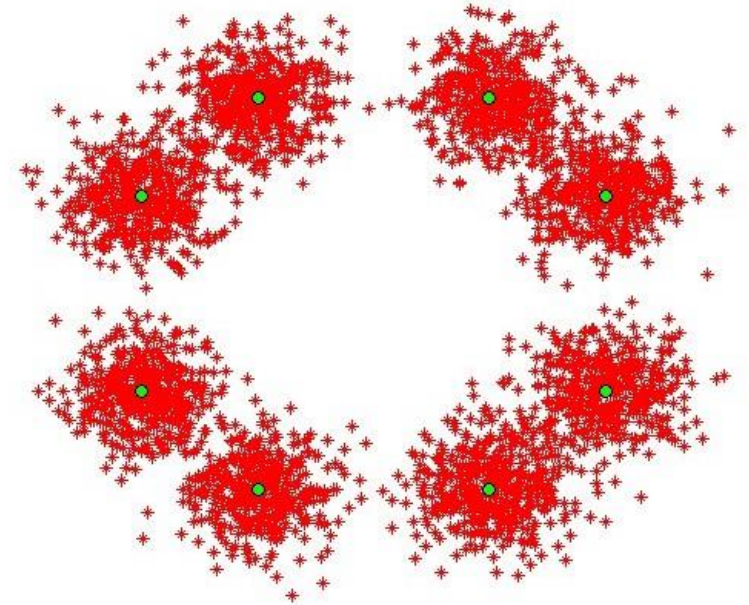
Uticaj šuma na odlučivanje: M-PSK

- Verovatnoća greške pri odlučivanju obrnuto je srazmerna veličini odnosa signal šum.
- Veličina E_b/N_0 je količnik energije po bitu i spektralne gustine srednje snage

$$E_b/N_0 = 12\text{dB}$$



$$E_b/N_0 = 8\text{dB}$$



M-arna kvadratura amplitudska modulacija – M-QAM

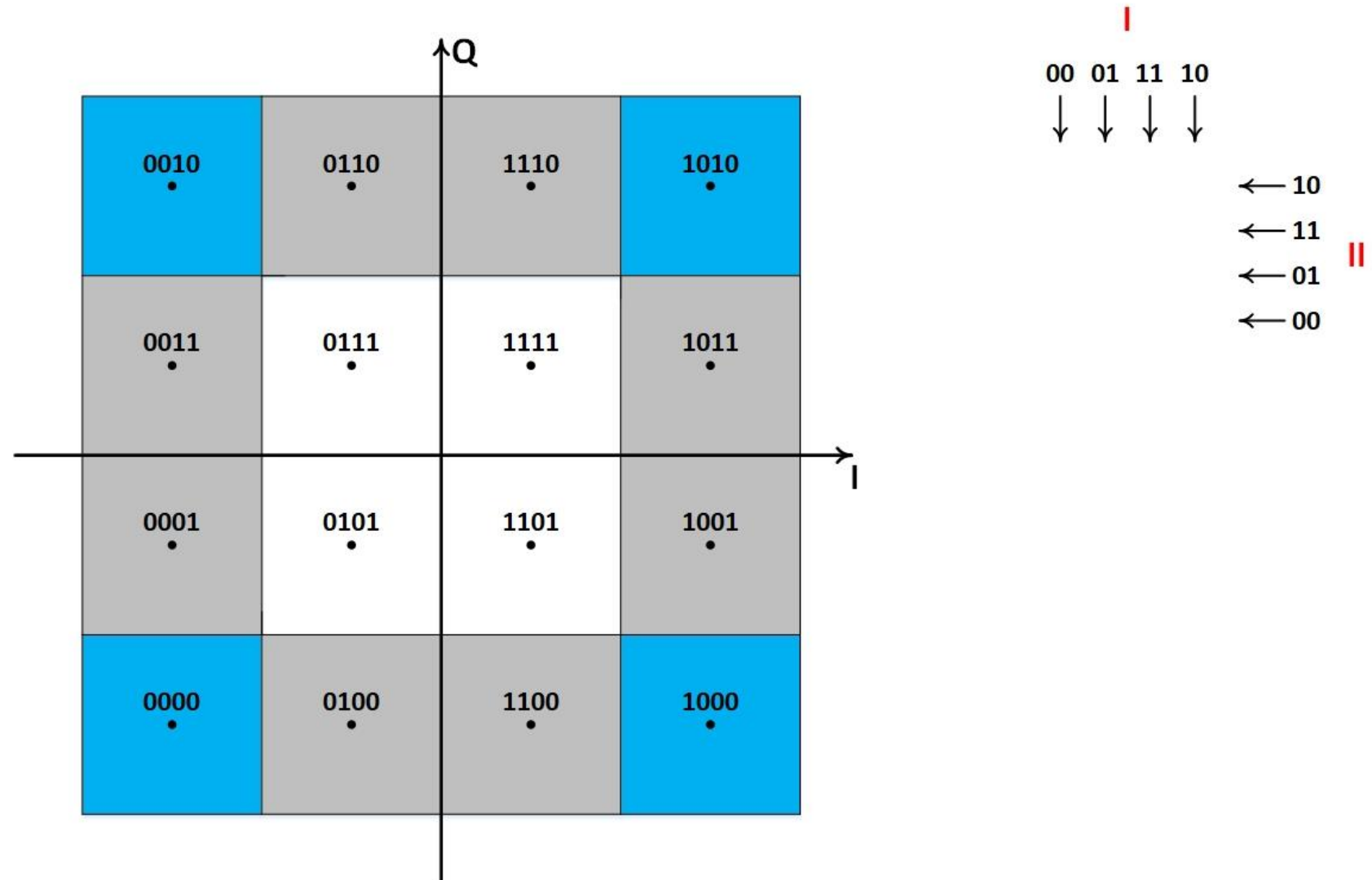
- Osnovna karakteristika M-PSK modulacionih postupaka je konstantna anvelopa modulisanog signala.
- Ukoliko ovo ograničenje ne postoji i ukoliko su kvadrature komponente modulisanog signala nezavisne, dobija se nov modulacioni postupak, poznat pod nazivom M-arna kvadratura amplitudska modulacija – M-QAM
- Uobičajeno je da se za M-arne amplitudkse modulacije koristi Gray-ovo kodiranje:

Grejov kôd dužine $n > 1$ je niz k -torki bita ($k \geq 1$) $b_1, b_2, \dots, b_n$ takvih da se u nizu b svaka dva uzastopna člana, kao i prvi i poslednji član razlikuju na tačno jednoj poziciji. Na primer, Grejov kôd dužine 4 je 00, 01, 11, 10.

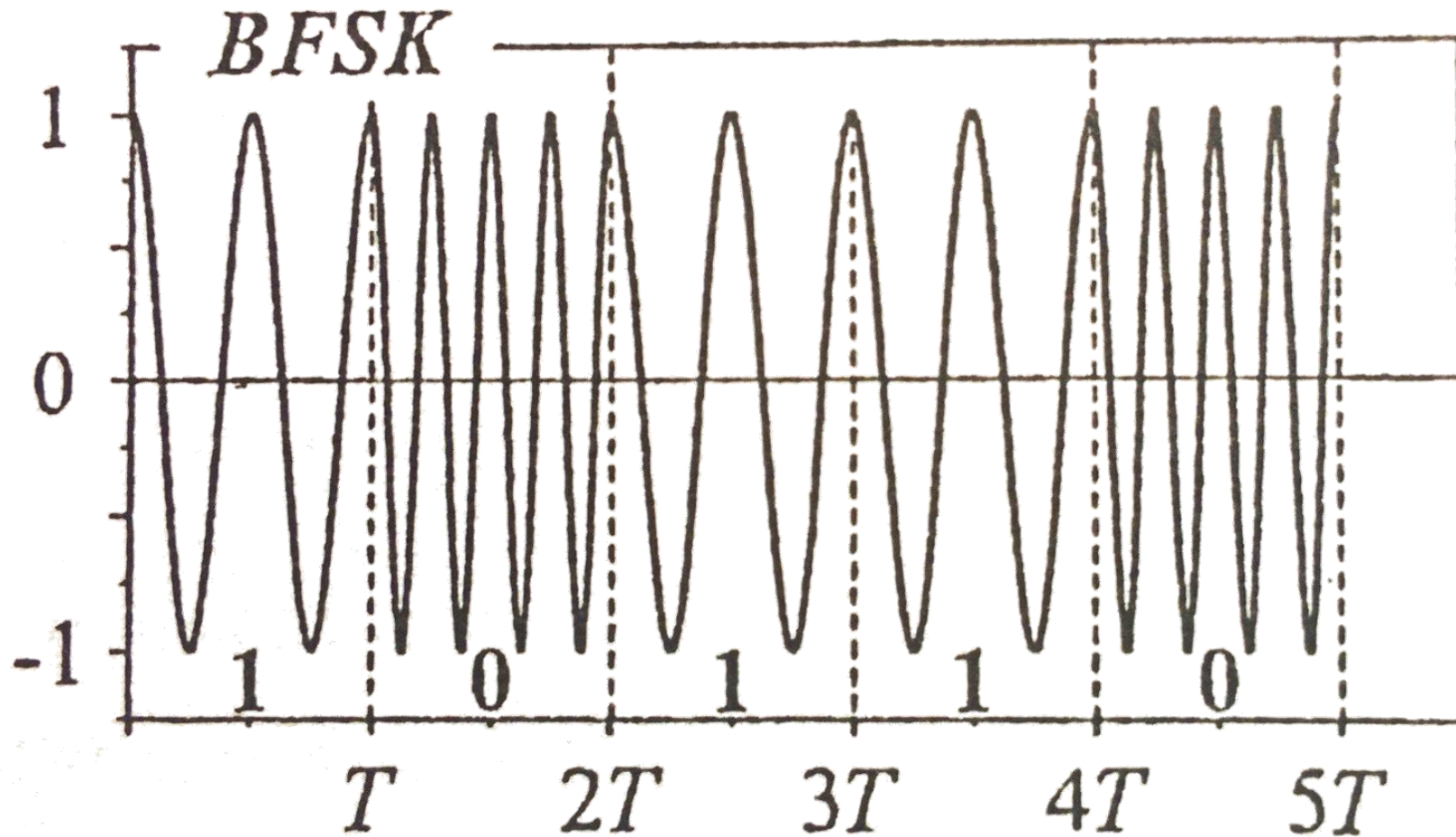


M-arna kvadratura amplitudska modulacija – M-QAM

- 16-QAM i *Gray*-ovo kodiranje



Binarna frekvencijska digitalna modulacija – BFSK



Binarna frekvencijska digitalna modulacija – BFSK

- Binarni FSK signal dat je u opštem slučaju izrazima:

$$u_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(\omega_1 t + \varphi)$$

$$u_2(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(\omega_2 t)$$

Gde je E_b energija jednog bita, T_b je signalizacioni interval a φ je slučajni fazni stav.

$$f_1, f_2 \gg 1/T_b \quad \varphi \in [0, 2\pi]$$

$f_0 = (f_1 + f_2)/2$ je centralna ili nominalna učestanost nosioca



Binarna frekvencijska digitalna modulacija – BFSK

- Kada se prenosi binarni simbol „1“ signal na izlazu iz predajnika je $u_1(t)$,a kada se prenosi binarni simbol „0“signal na izlazu iz predajnika je $u_2(t)$
- Minimalna razlika učestanosti za koherentno signaliziranje ($\varphi=0$):

$$2\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{1}{2T_b}$$

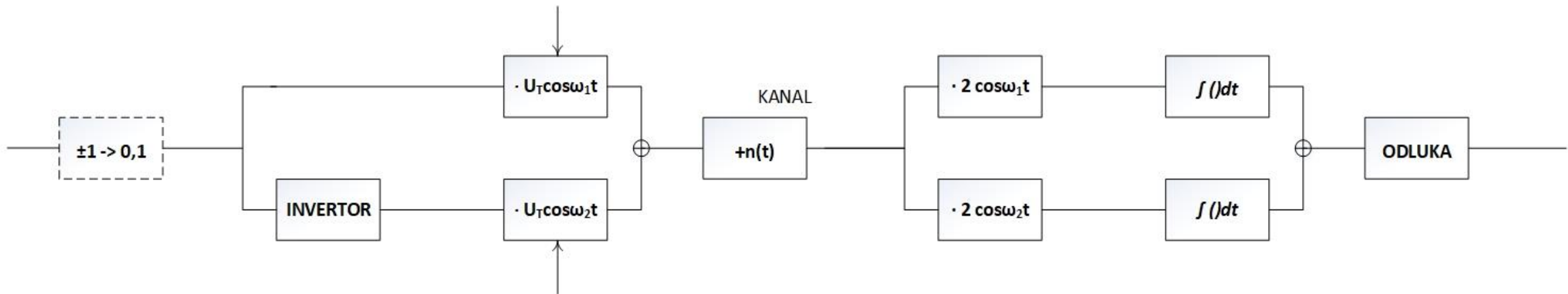
- Minimalna razlika učestanosti za nekoherentno signaliziranje ($\varphi \neq 0$)

$$2\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{1}{T_b}$$



Binarna frekvencijska digitalna modulacija – BFSK

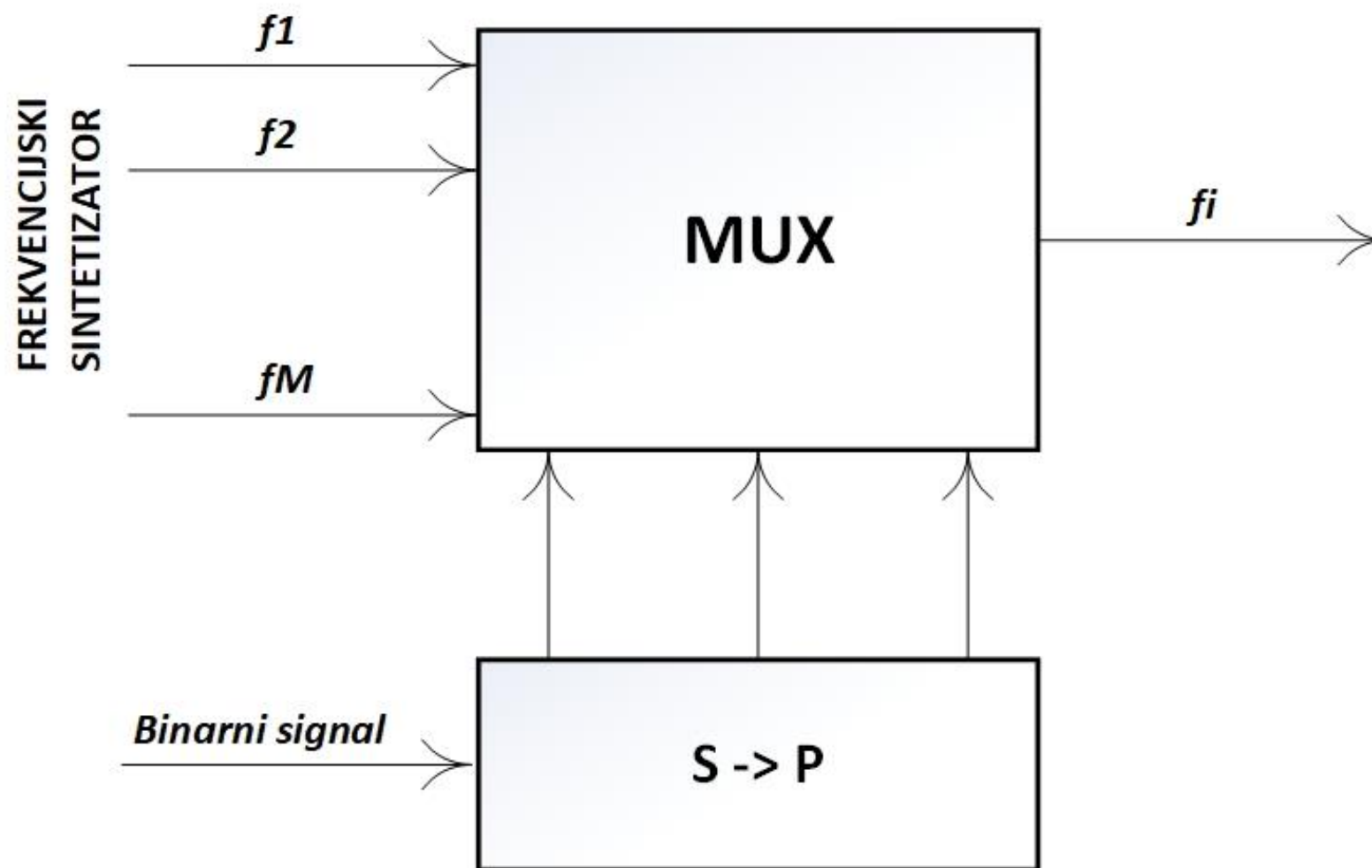
- Funkcionalna blok šema sistema sa binarnom frekvencijskom modulacijom i koherentnom demodulacijom



- Koja je funkcija invertora?
- Koja je funkcija isprekidano obeleženog bloka, na početku lanca?



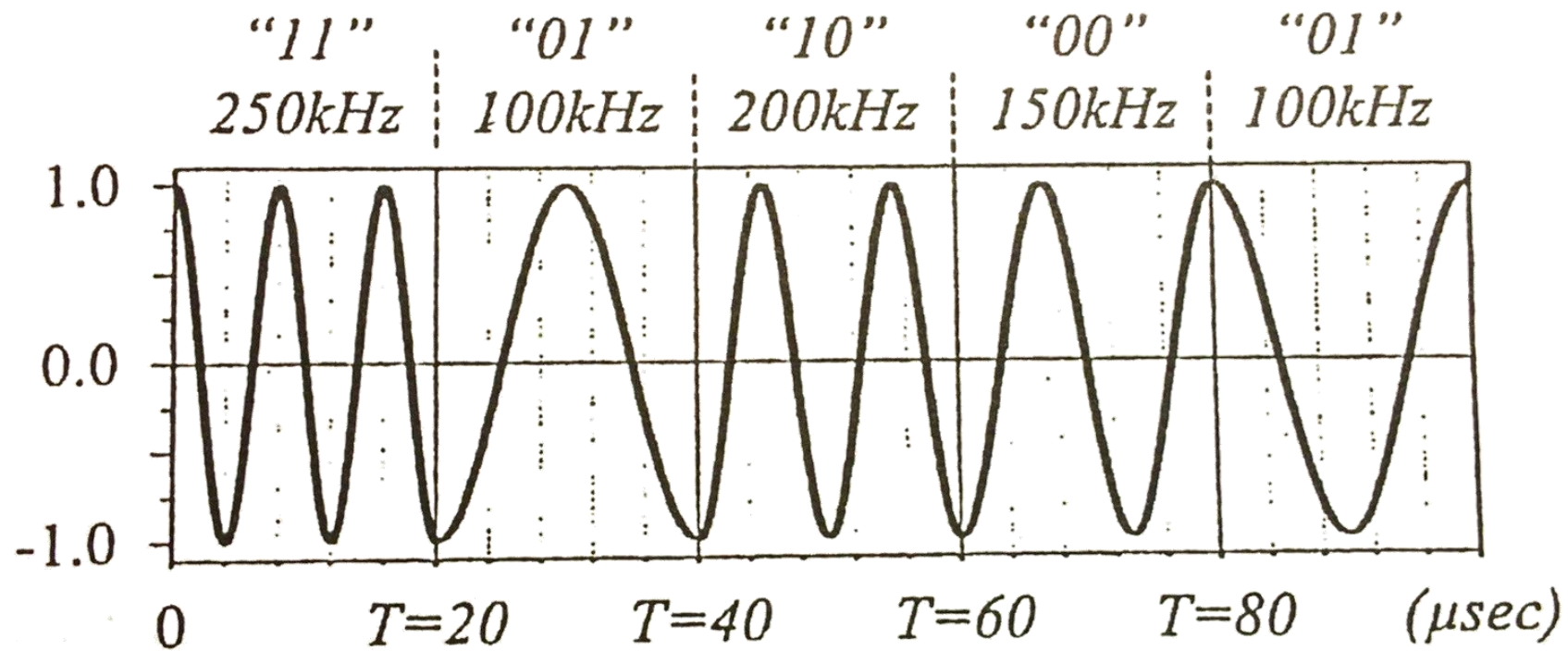
M-arna FSK



M-arna FSK

- Primer izlaznog signala za 4FSK u slučaju kada se prenosi binarna sekvenca:

1101100001



Poređenje digitalnih modulacija

- Osnovni kriterijumi za poređenje digitalnih modulacionih postupaka su:
 - verovatnoća greške
 - spektralna gustina srednje snage (raspodela snage u spektru)
 - spektralna efikasnost
- Komparacijom ovih parametara biramo optimalnu vrednost a u okvirima Šenonove granice

$$V_{\max} = B \log_2(1 + S/N)$$

$V_{\max}$ – maksimalna brzina prenosa kroz kanal sa šumom [b/s]

B – propusni opseg kanala [Hz]

S/N – odnos signal šum



Pitanja

