

- GSM Air Interfejs, funkcionalnost različitih elemenata

Sadržaj

Air Interface – osnove

Karakteristike i prenos signala

Fizički sloj

Slojevi L2 i L3

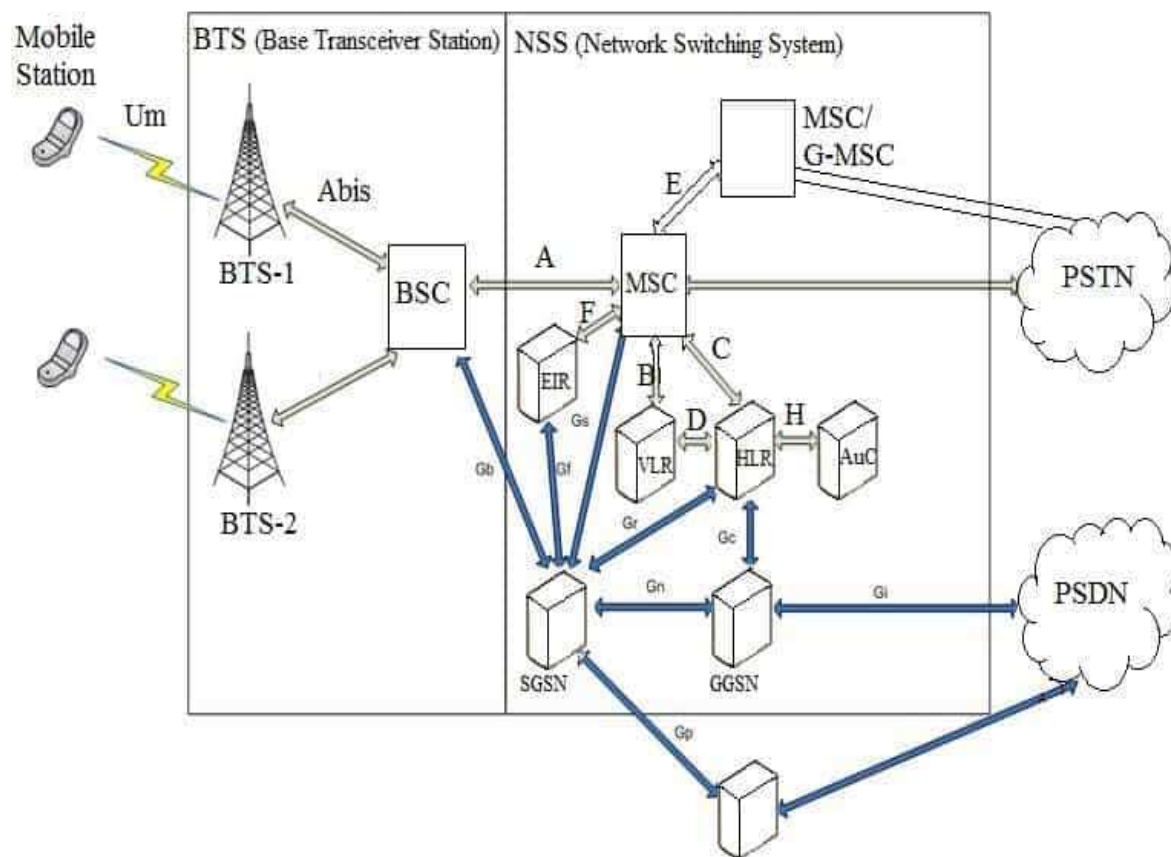
Logički sloj

Modulacija

Air Interface – osnove

"Air Interface" (naziva se još i Um) u GSM-u se odnosi na bežični deo mobilne mreže, odnosno na način kako se informacije prenose između mobilnih uređaja (telefona) i baznih stanica (BS) koje pripadaju mobilnoj mreži.

GSM interfejs	Opis
Um	Vazdušni interfejs koji se koristi između MS-a i BTS-a. On definiše način prenosa podataka i kontrolnih informacije između BTS -a i MS – a u GSM - u. Takođe se naziva i GSM Air interfejs.
Abis	Interfejs između BTS-a i BSC-a. Podržava dve vrste komunikacionih veza, tj. saobraćajni kanal na 64 kbps i kanal za signalizaciju na 16 kbps.
A or Asub	Koristi se između BSC i MSC/VLR. Podržava standardnu digitalnu vezu od 2Mbps prema CCITT-u.
B	Koristi se između MSC i VLR.
C	Koristi se između HLR i GMSC. Takođe između MSC i HLR.
D	Koristi se između HLR i VLR.
E	Koristi se između MSC i drugog MSC - a or G-MSC.
F	Koristi se između EIR i MSC i između EIR i G-MSC.
G	Koristi se između VLR i drugog VLR - a.



Air Interface – osnove

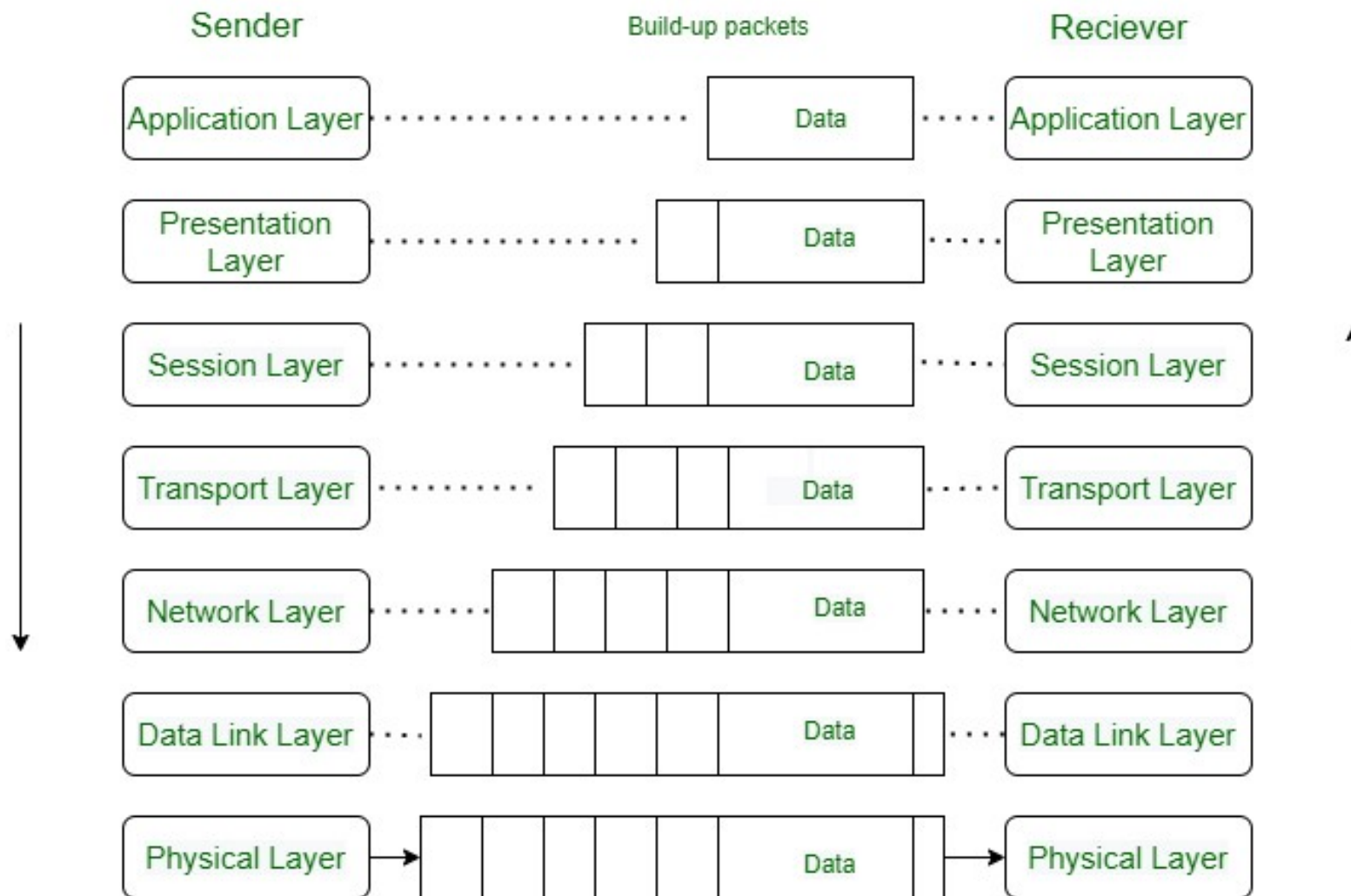
Ovaj interfejs predstavlja osnovu za komunikaciju između korisnika i mreže.
GSM prati OSI komunikacioni model i Um je definisan u donja tri sloja modela.

OSI model

Slojevi		Jedinica podataka protokola	Funkcija
Slojevi hosta	7 Application	Podaci	Protokoli visokog nivoa kao što su aplikacije za deljenje resursa ili udaljeni pristup datotekama, npr. HTTP.
	6 Presentation		Prevodjenje podataka između mrežnog servisa i aplikacije; uključujući kodiranje karaktera, kompresiju podataka i šifrovanje/dešifrovanje
	5 Session		Upravljanje komunikacionim sesijama, tj. kontinuirana razmena informacija u obliku višestrukih prenosa u oba smera između dva čvora
	4 Transport	Segment	Pouzdan prenos segmentata podataka između dve tačke na mreži. Uključuje segmentaciju, potvrdu, multipleksiranje.
Slojevi medijuma	3 Network	Paket	Strukturiranje i upravljanje mrežom sa više komunikacionih čvorova, uključujući adresiranje, rutiranje i kontrolu saobraćaja
	2 Data link	Frame	Prenos frema podataka između dva komunikaciona čvora povezana fizičkim slojem
	1 Fizicki	Bit, simbol	Prenos i prijem sirovih tokova bitova preko fizičkog medija

Air Interface – osnove

OSI model



Air Interface - osnove

Ključni aspekti "Air Interface" u GSM mreži:

Fizički sloj: "Air Interface" se sastoji od fizičkog sloja koji se bavi modulacijom, demodulacijom, kontrolom snage, i kontrolom frekvencije. Ovaj sloj je odgovoran za prenos fizičkog signala preko radija.

Logički sloj: Ovaj sloj se bavi upravljanjem i kontrolom različitih logičkih kanala, kao što su glasovni kanal, kanal za prenos podataka, kontrolni kanali, signalizacioni kanali, i druge vrste kanala.

Modulacija signala: GSM koristi digitalnu modulaciju signala, koja omogućava prenos podataka putem radio talasa. Modulacija se koristi za pretvaranje digitalnih podataka u analogni signal koji se šalje preko vazduha, a zatim se na prijemu, dešava obrnuti proces modulisan signal se pretvara nazad u digitalne podatke (demodulacija). Modulacija omogućava da se digitalni signal "stavi" u određeni deo spektra radio talasa koji se koristi za prenos.

Multipleksiranje: Multipleksiranje je tehnika koja omogućava da više korisnika koriste isti medijum, u ovom slučaju isti frekvencijski opseg na istoj bazi stanici. GSM koristi tzv. frekvencijsko multipleksiranje (FDMA) i vremensko multipleksiranje (TDMA) kako bi omogućio višestruke razgovore na istom kanalu.

Air Interface - osnove

Sinhronizacija: Svi uređaji u GSM mreži moraju biti tačno sinhronizovani kako bi se osigurala ispravna komunikacija. Ovo uključuje sinhronizaciju vremena, frekvencije i okvira (frejma) podataka.

Funkcionalnosti "Air Interface": "Air Interface" takođe omogućava funkcionalnosti kao što su rukovanje pozivima, slanje i primanje SMS poruka, prenos podataka, identifikaciju uređaja, i sl.

Kvalitet servisa: GSM ima za cilj da obezbedi kvalitet usluge, uključujući nisku stopu grešaka pri prenosu podataka i jasnu komunikaciju u glasovnim pozivima. Ovo se postiže korišćenjem različitih tehnika, uključujući korekciju grešaka i kontrolu snage.

Bezbednost: Air Interface takođe uključuje sigurnosne mehanizme za zaštitu privatnosti korisnika i sprečavanje neovlašćenog pristupa mreži.

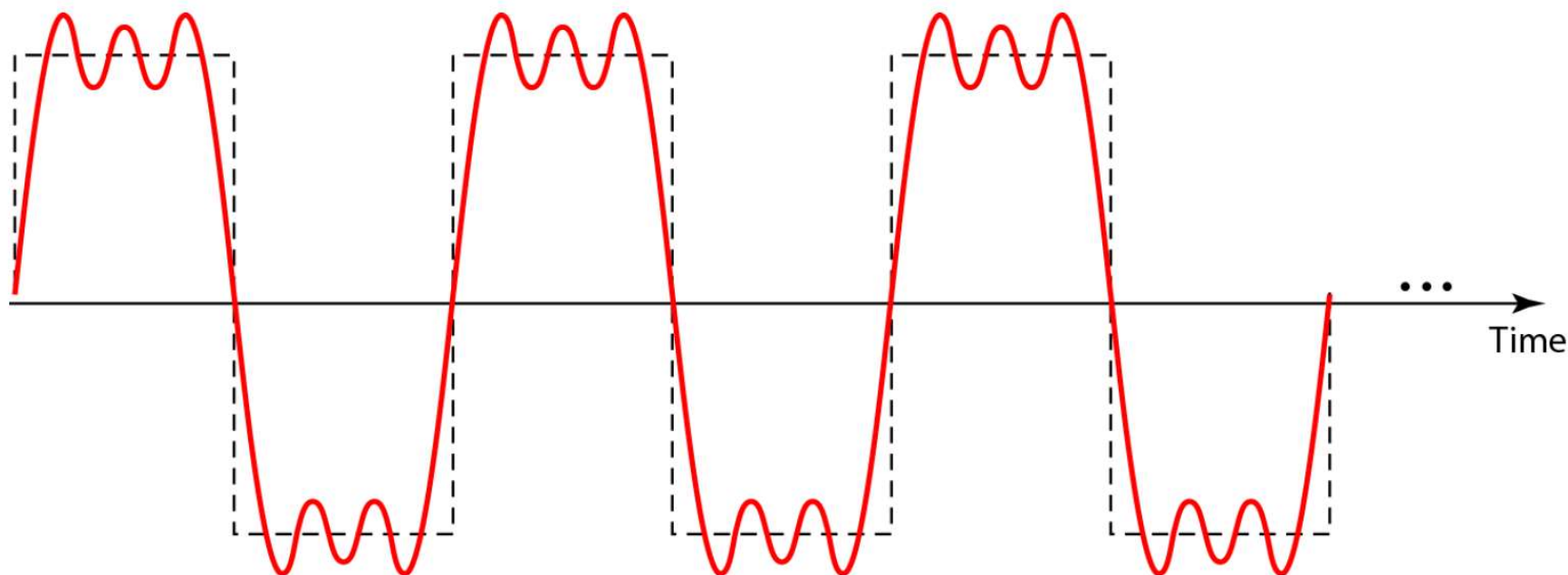
Karakteristike i prenos signala

Prema Furijeovoj analizi, svaki složeni (kompozitni) signal je kombinacija osnovnih harmonijskih signala (sinusnih talasa) sa različitim frekvencijama, amplitudama i fazama.

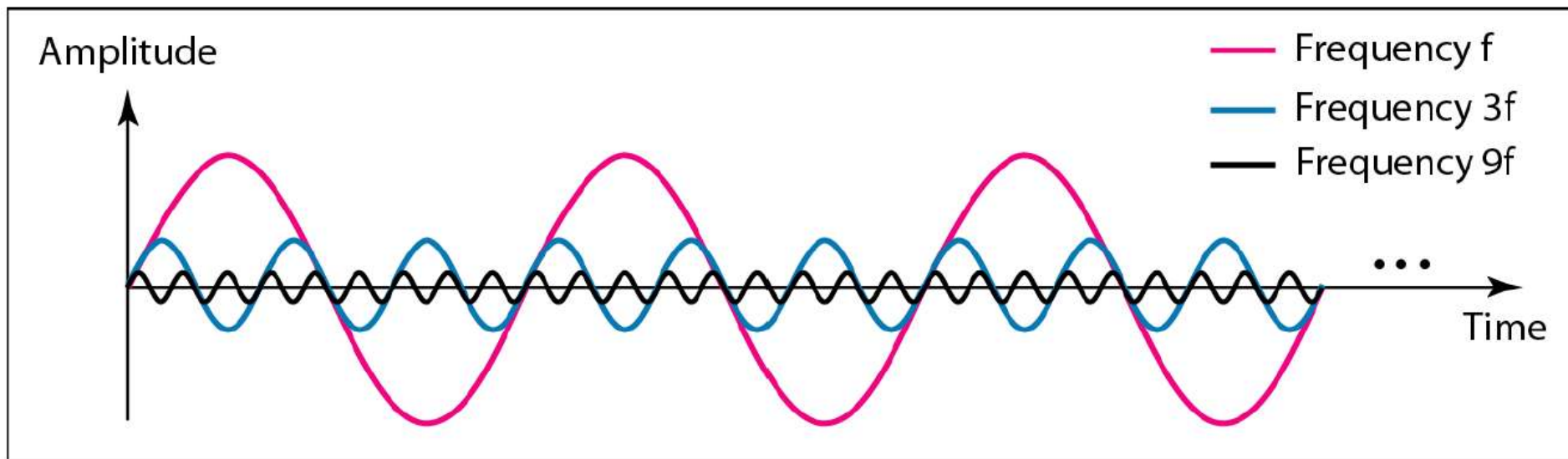
Ako je kompozitni signal periodičan, dekompozicija daje niz signala sa diskretnim frekvencijama.

Ako je kompozitni signal neperiodičan, dekompozicija daje kombinaciju sinusnih talasa sa kontinuiranim frekvencijama.

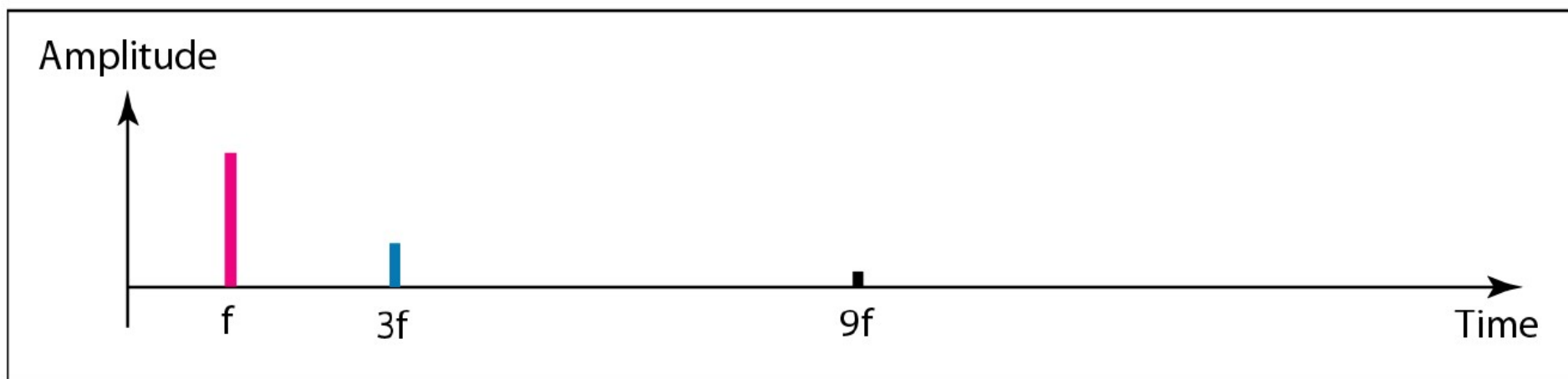
Na slici je predstavljen periodični kompozitni signal koji se zapravo sastoji od tri osnovna harmonijska signala različitih amplituda i frekvencija.



Karakteristike i prenos signala



a. Time-domain decomposition of a composite signal



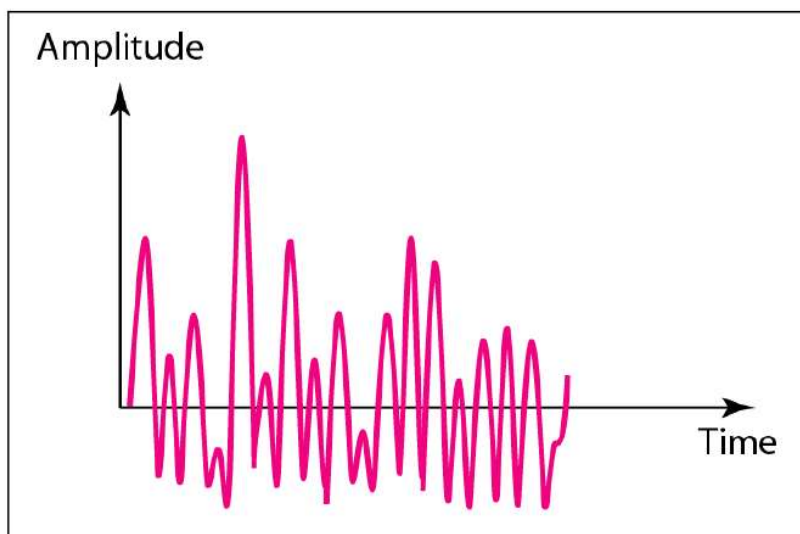
b. Frequency-domain decomposition of the composite signal

Karakteristike i prenos signala

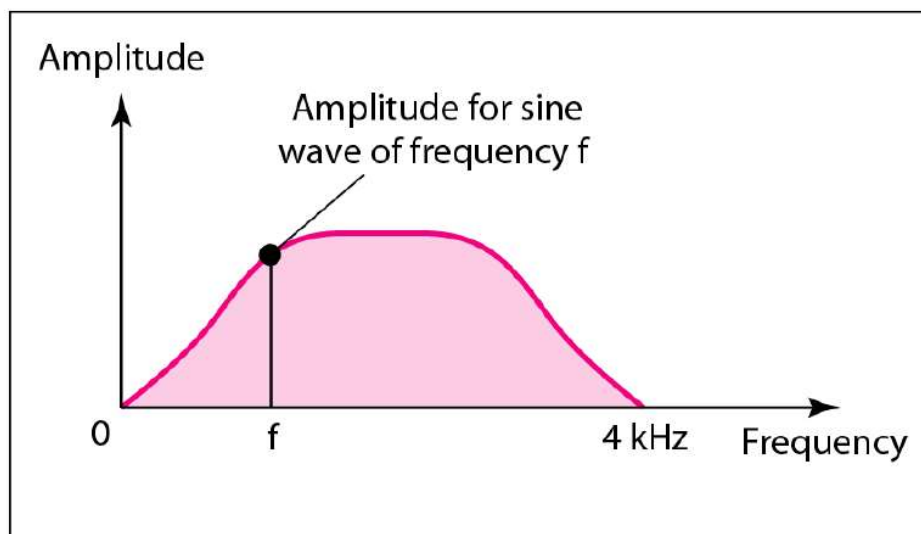
Širina opsega (propusni opseg) kompozitnog signala je razlika između najviše i najniže frekvencije sadržane u tom signalu

Slika prikazuje neperiodični kompozitni signal. To može biti signal koji stvara mikrofoni ili telefonski aparat kada se izgovori reč ili dve. U ovom slučaju, kompozitni signal ne može biti periodičan, jer to implicira da ponavljamo istu reč ili reči sa potpuno istim tonom.

Može se uočiti da je širina opsega prikazanog signala jednaka 4kHz.



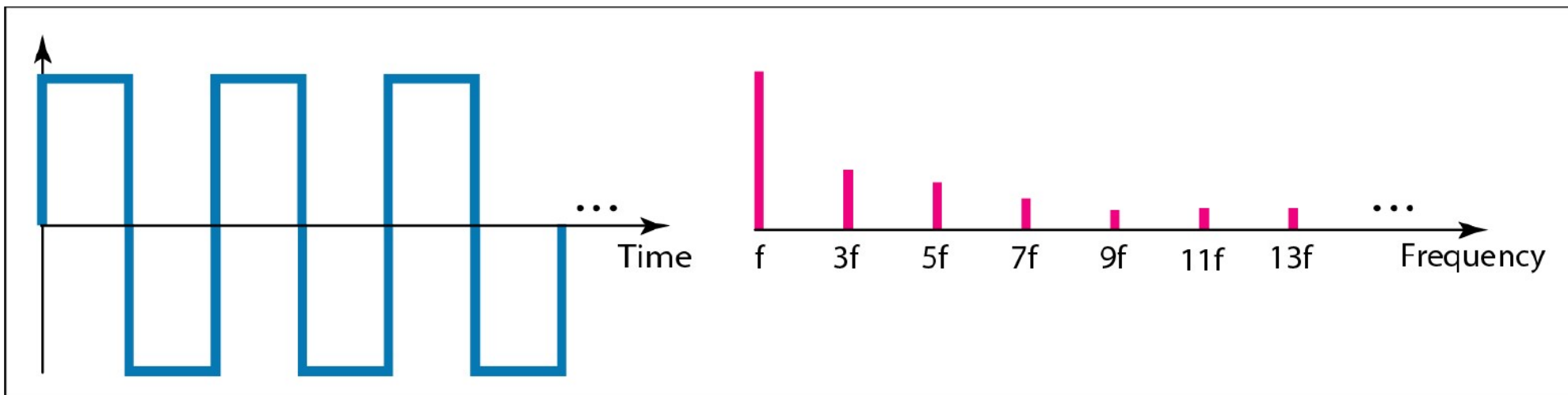
a. Time domain



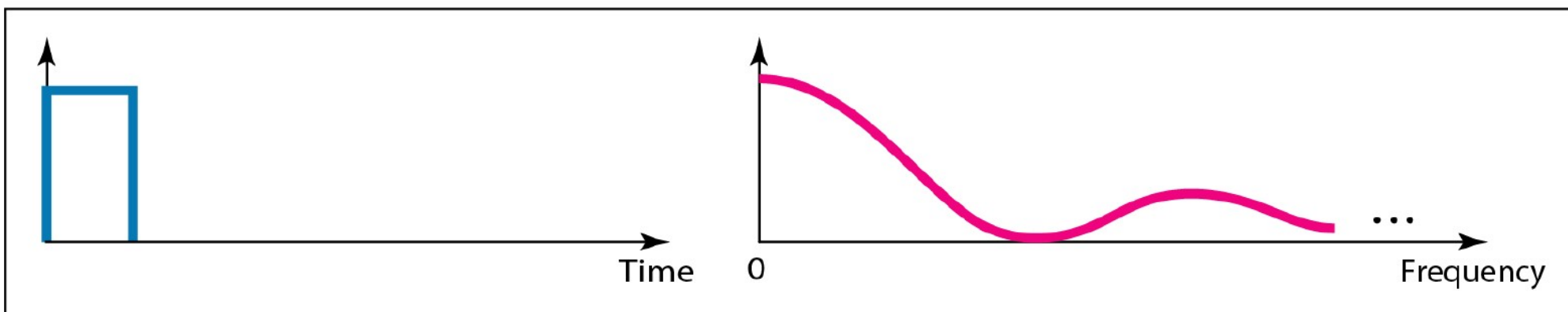
b. Frequency domain

Karakteristike i prenos signala

Digitalni signal je kompozitni analogni signal sa beskonačnim propusnim opsegom.



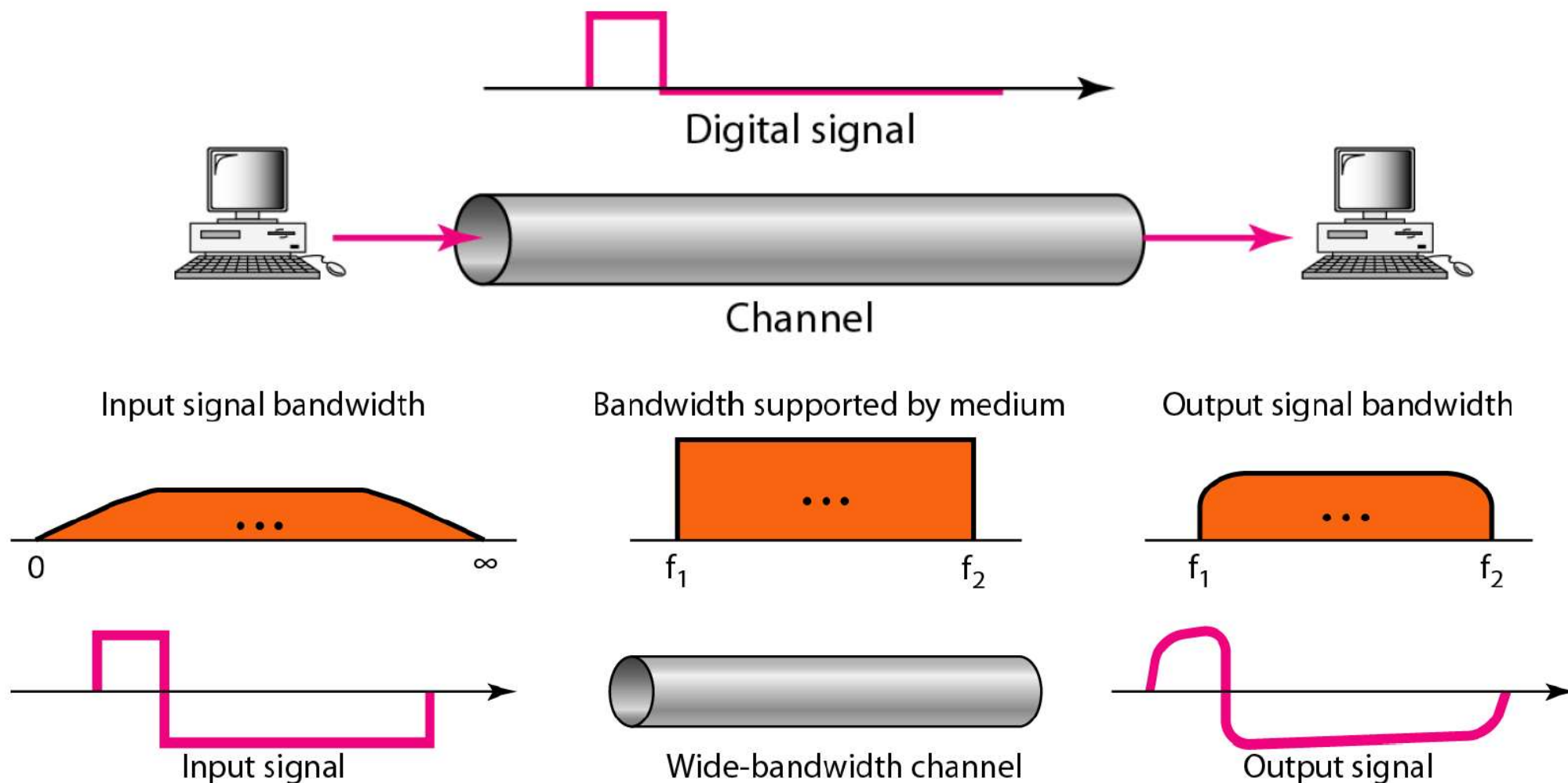
a. Time and frequency domains of periodic digital signal



b. Time and frequency domains of nonperiodic digital signal

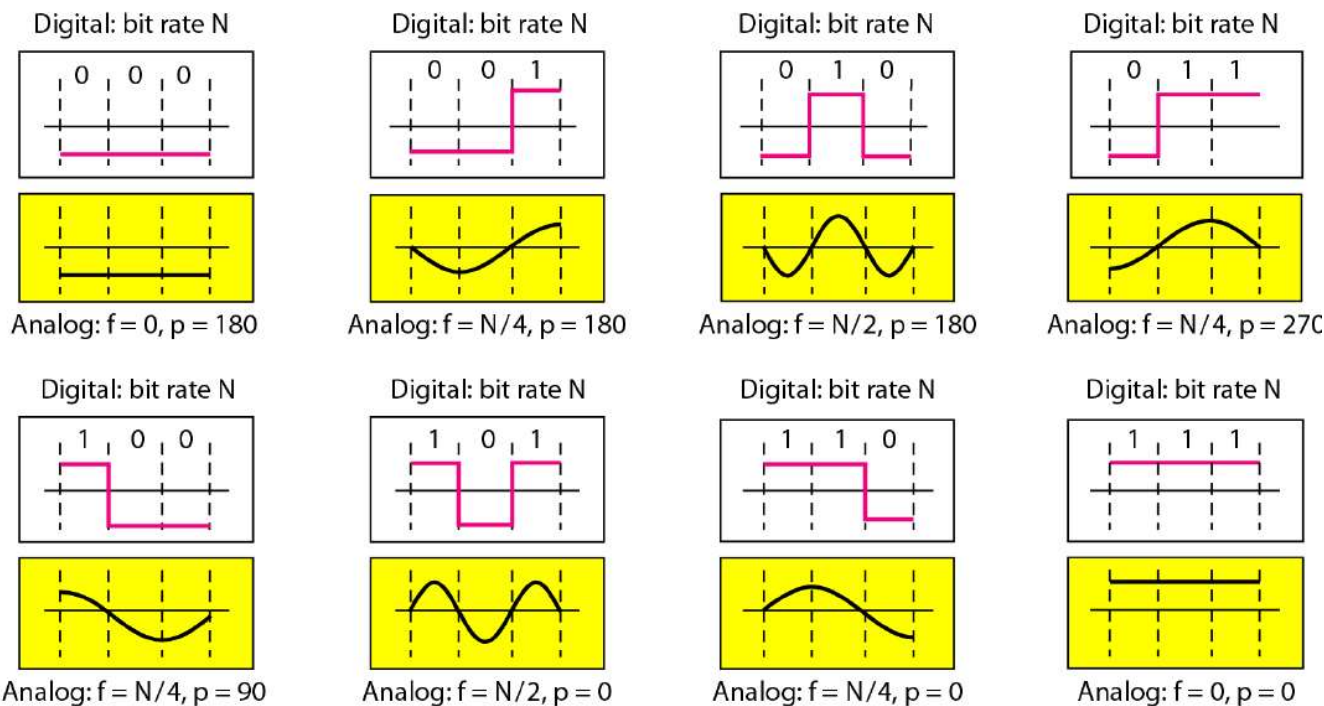
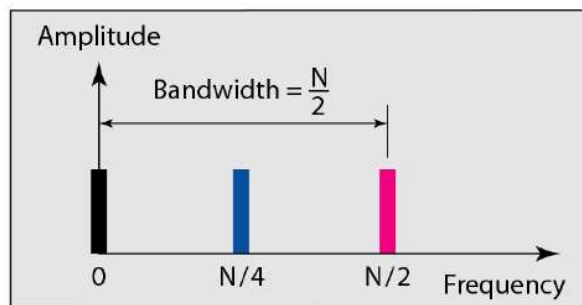
Karakteristike i prenos signala

Prenos u osnovnom opsegu digitalnog signala koji čuva oblik digitalnog signala moguć je samo ako imamo niskopropusni kanal sa beskonačnim ili veoma širokim propusnim opsegom.



Karakteristike i prenos signala

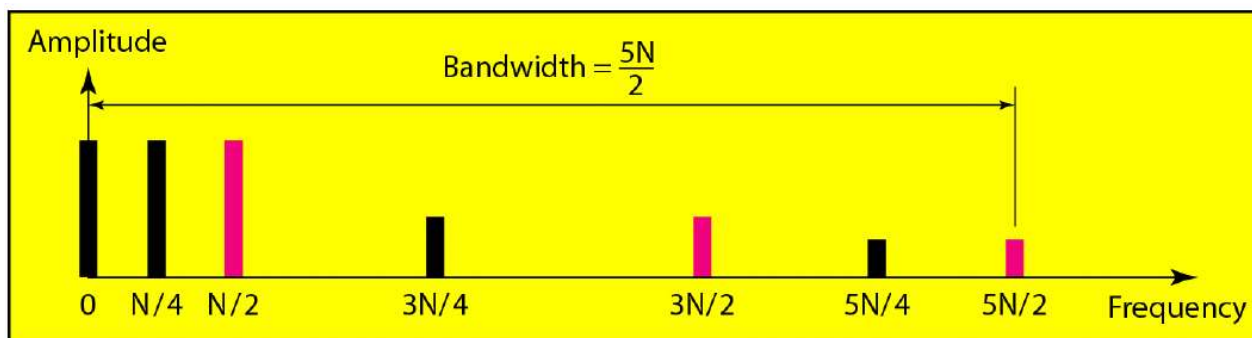
Gruba aproksimacija digitalnog signala korišćenjem prvog harmonika - najgori slučaj (N - bitska brzina (bit rate), $f_{min} = 0$, $f_{max} = N/2$, $B = N/2$)



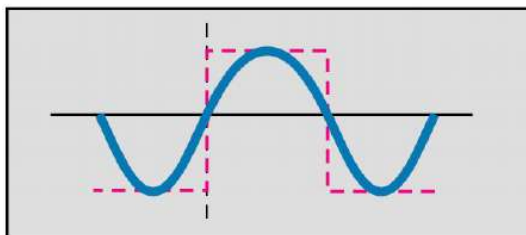
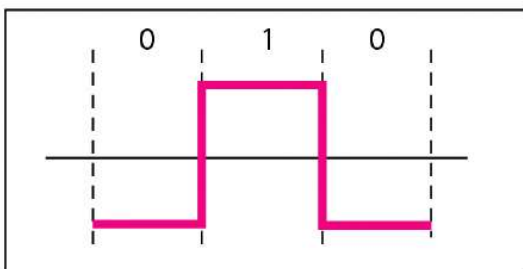
Karakteristike i prenos signala

Gruba aproksimacija digitalnog signala korišćenjem prva tri harmonika (N - bitska brzina (bit rate), $f_{min} = 0$, $f_{max} = 5N/2$, $B = 5N/2$).

Pri prenosu u osnovnom opsegu, zahtevani propusni opseg je proporcionalan brzini prenosa; ako treba da šaljemo sa većom bitskom brzinom, treba nam više propusnog opsega. Takođe za bolje očuvanje oblika signala potreban je veći propusni opseg.

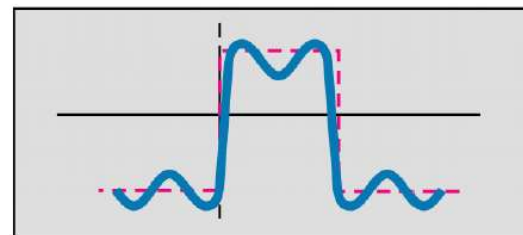
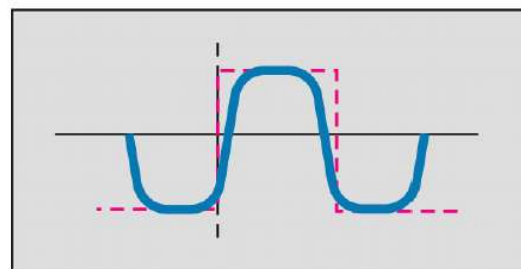


Digital: bit rate N



Analog: $f = N/2$

Analog: $f = N/2$ and $3N/2$



Analog: $f = N/2, 3N/2$, and $5N/2$

Karakteristike i prenos signala

Primer 1

Ako se periodični signal sastoji od pet sinusnih talasa sa frekvencijama od 100, 300, 500, 700 i 900 Hz, koliki je njegov propusni opseg? Nacrtajte spektar, pod pretpostavkom da sve komponente imaju maksimalnu amplitudu od 10 V.

Karakteristike i prenos signala

Primer 1

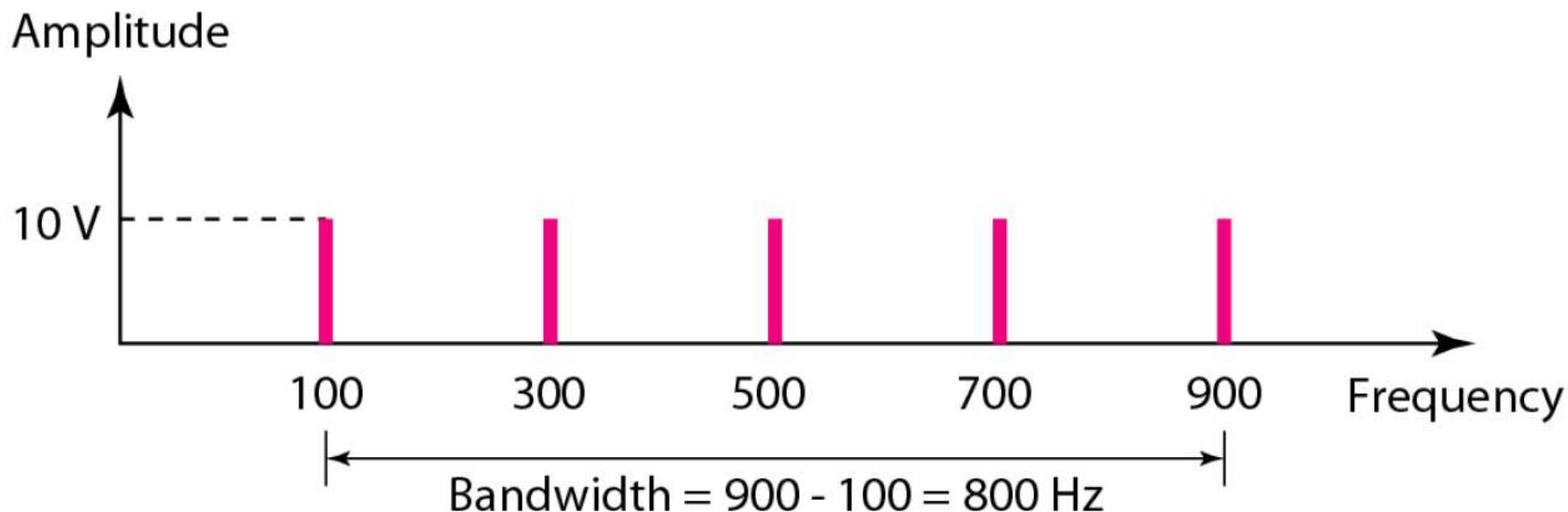
Ako se periodični signal sastoji od pet sinusnih talasa sa frekvencijama od 100, 300, 500, 700 i 900 Hz, koliki je njegov propusni opseg? Nacrtajte spektar, pod pretpostavkom da sve komponente imaju maksimalnu amplitudu od 10 V.

Rešenje

Neka je f_h najveća frekvencija, f_l najniža frekvencija, a B propusni opseg. Onda

$$B = f_h - f_l = 800 \text{ Hz}$$

Spektar ima samo pet šiljaka, na 100, 300, 500, 700, i 900 Hz



Karakteristike i prenos signala

Primer 2

Koji je potrební propusni opseg niskopropusnog kanala ako je potrebno ostvariti prenos u osnovnom opsegu bitskom brzinom od 1 Mbps?

Karakteristike i prenos signala

Primer 2

Koji je potrebni propusni opseg niskopropusnog kanala ako je potrebno ostvariti prenos u osnovnom opsegu bitskom brzinom od 1 Mbps?

Rešenje

Odgovor zavisi od željene tačnosti.

a. Minimalni propusni opseg je

$B = \text{brzina protoka} / 2$, ili 500 kHz.

b. Bolje rešenje je korišćenje prvog i trećeg harmonika sa

$B = 3 \times 500 \text{ kHz} = 1,5 \text{ MHz}$.

c. Ipak, bolje rešenje je korišćenje prvog, trećeg i petog harmonika sa

$B = 5 \times 500 \text{ kHz} = 2,5 \text{ MHz}$.

Karakteristike i prenos signala

Primer 3

Imamo niskopropusni kanal sa propusnim opsegom 100 kHz. Koja je maksimalna brzina prenosa ovog kanala?

Karakteristike i prenos signala

Primer 3

Imamo niskopropusni kanal sa propusnim opsegom 100 kHz. Koja je maksimalna brzina prenosa ovog kanala?

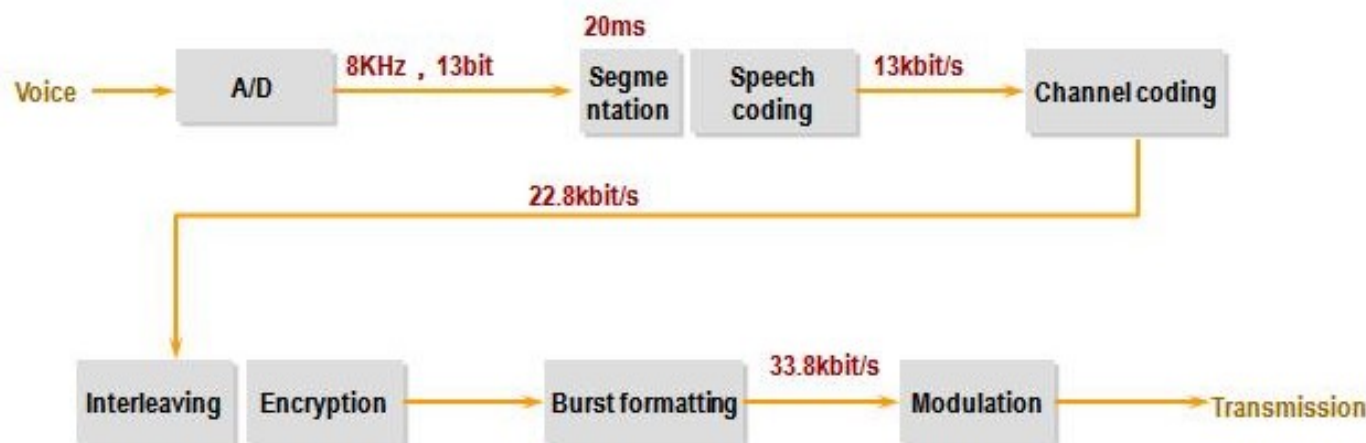
Rešenje

Maksimalna brzina bita se može postići ako koristimo prvi harmonik.
Brzina prenosa je 2 puta veća od dostupnog propusnog opsega, ili 200 kbps.

Fizički sloj Obrada govornog signala

Govorni signal:

- najpre prolazi kroz A/D konvertor, što je u ovom slučaju zapravo proces uzorkovanja brzinom od 8kHz (125ms) a zatim kvantifikacija svakog odmerka sa 13 bita; Ovo stvara signal brzine 104 kbauda ($8\text{kHz} \times 13\text{bit}$)
- sledi kodiranje ovako dobijenog signala i ono se izvodi na nivou segmenata na svakih 20ms (trajanje jednog segmenta je 20ms). Ovakvim kodiranjem se brzina prenosa smanjuje na 13Kbit/s,
- zatim se vrši tzv. kanalno kodiranje čiji je cilj da se poveća robustnost signala. Da bi se proverilo postojanje grešaka kao i ispravile greške tokom prenosa, redundantni podaci i informacije sračunati iz izvornih podataka se dodaju u tok. Ovo povećava brzinu prenosa na 22.8Kbit/s nakon kanalnog kodiranja;
- sledeća faza obrade je tzv. "interleaving" (preplitanje) i enkripcija
- nakon čega vrši prepakovanje signala u GSM burst – ove (pakete podataka odgovarajuće strukture). Ovako se dobija signal brzine prenosa 33,8 kbit/s koji se šalje na modulaciju kako bi se preneo radio talasom.



Fizički sloj

Obrada govornog signala

Обрада говорног сигнала – 1. корак



A/D конверзија

Аналогни говорни сигнал се одабира са 8kHz, сваки одбирок се кодује са 13 бита, што на излазу даје $8 \times 13 = 104 \text{ kHz}$

Fizički sloj

Obrada govornog signala

Обрада говорног сигнала – 2. корак



Кодер говора

Користи се LPE-RPE (Linear Predictive Encoding with Regular Pulse Excitation) који на излазу даје 260 бита / 20 ms = 13 kbit/s. Бити су подељени на 50 најважнијих, 132 средње важних и 78 најмање важних

Fizički sloj

Obrada govornog signala

Обрада говорног сигнала – 3. корак



Заштитно кодовање и интерливинг

Заштитно кодовање додаје заштитне бите, на основу којих се могу исправити грешке. Уместо 260 бита/20 ms имамо 456 бита/20 ms = 22.8 kbit/s

Интерливинг премешта ред бита, тако да се у случају сметње избегне низ оштећених бита.

Fizički sloj

Obrada govornog signala

Обрада говорног сигнала – 4. корак



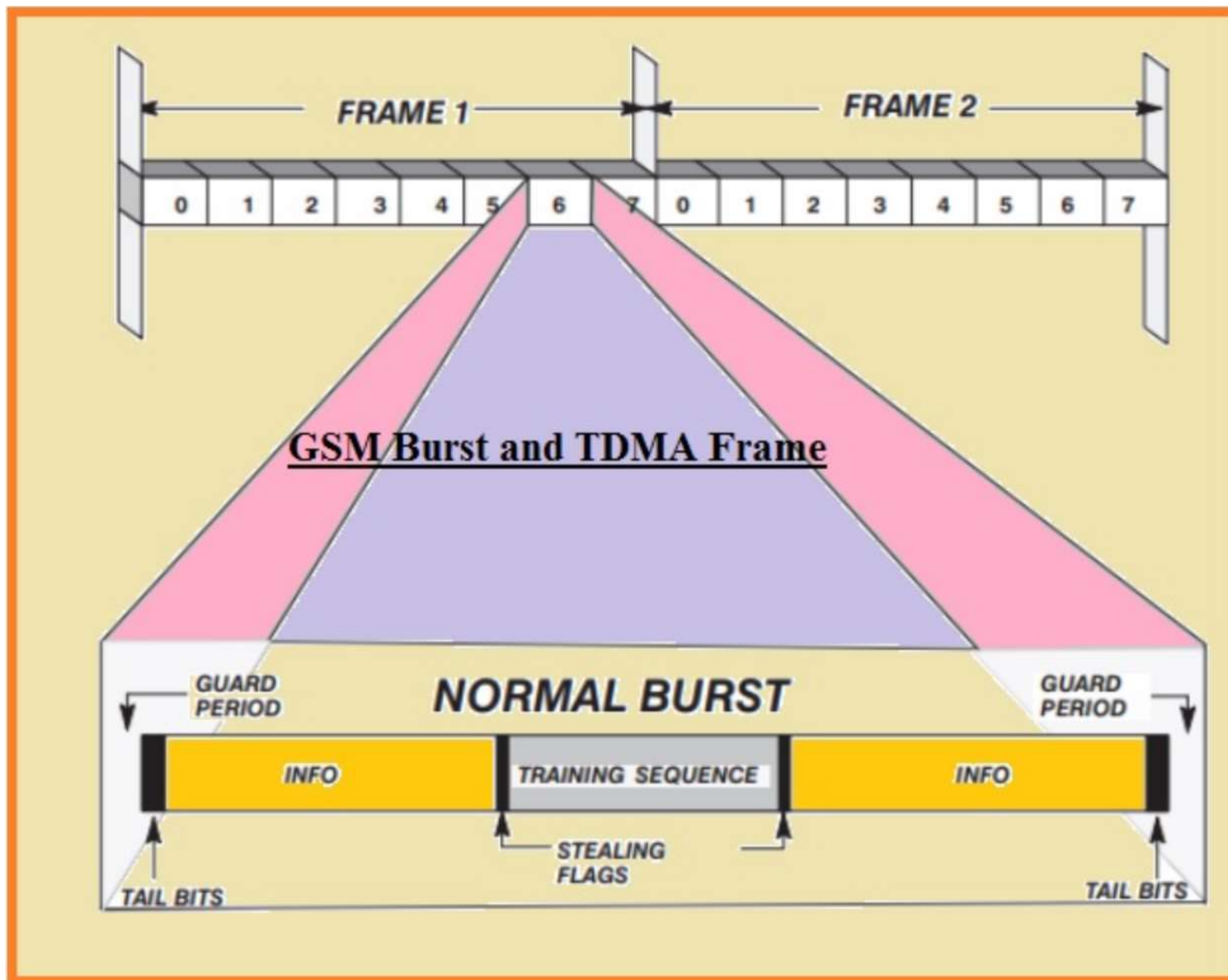
Форматирање BURST-а

Поменутих 456 бита се пакује у 4 BURST-а по 114 бита. Додаје се тренинг секвенца и гранични бити, тако да на излазу имамо 33.75 kbit/s, односно 270 kbit/s за 8 TS

3	57 info-bits	1	26 training sequence	1	57 info-bits	3	8.25
---	-----------------	---	-------------------------	---	-----------------	---	------

Fizički sloj

Obrada govornog signala

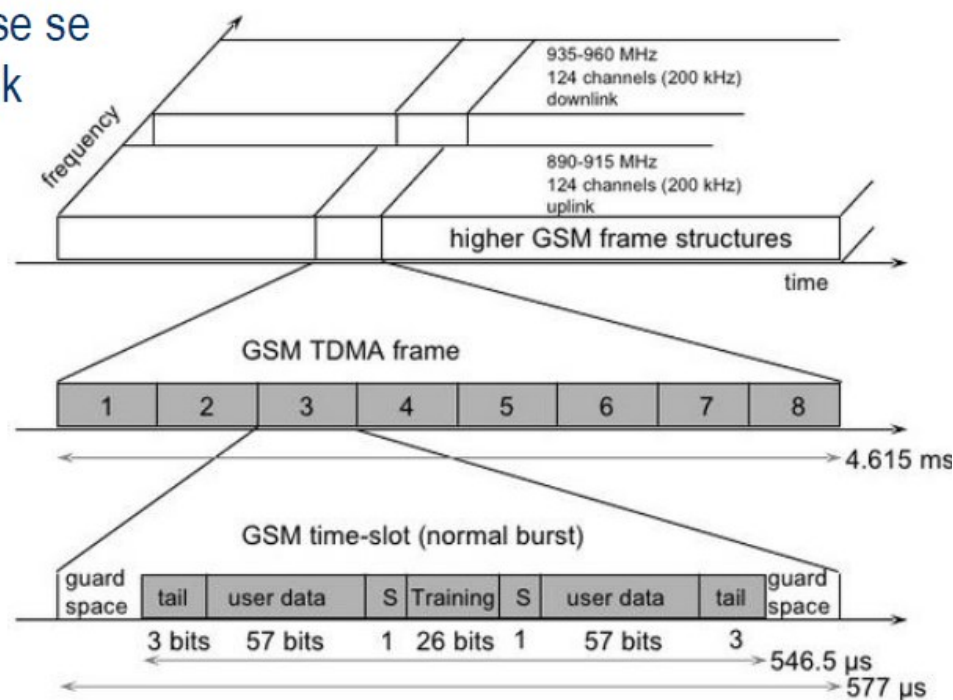


Fizički sloj

Obrada govornog signala

GSM

- FDMA+TDMA tehnika pristupa kanalu
 - svaki nosilac se vremenski deli na GSM ramove brzine 271 kbit/s
 - GSM ram se deli vremenski na 8 *time-slot*-ova
 - saobraćaj pojedinih korisnika se prenosi u pojedinim *time-slot*-ovima
 - uz korisničke podatke prenose se i kontrolni biti i zaštitni razmak



Obrada govornog signala

Primer 4

Odrediti frekvenciju odmeravanja f_0 , periodu T_0 , i bitsku brzinu potrebnu za prenos 10 audio signala u TDM-u ako se signali kodiraju sa osam bita. Koliki je minimalni propusni opseg potreban za prenos ovog signala? Uzeti da je granična frekvencija audio signala $f_g = 20$ kHz.

Obrada govornog signala

Primer 4

Odrediti frekvenciju odmeravanja f_0 , periodu T_0 , i bitsku brzinu potrebnu za prenos 10 audio signala u TDM-u ako se signali koduju sa osam bita. Uzeti da je granična frekvencija audio signala $f_g = 20$ kHz.

REŠENJE

Ako je gornja granična frekvencija audio signala $f_g = 20$ kHz, minimalna frekvencija odmeravanja je $f_0 = 2 * f_g = 40$ kHz. Sledi da je perioda odmeravanja

$$T_0 = 1 / f_0 = 1 / 40 * 10^3 = 0.025 \text{ ms} = 25 \text{ us}$$

Pošto je $f_0 = 40$ kHz, to znači da se po kanalu u sekundi uzima 40 000 odmeraka. Ako se svaki odmerak koduje sa 8 bita bitska brzina po kanalu iznosi

$$V_k = 40000 * 8 = 320\,000 \text{ b/s} = 320 \text{ kb/s}$$

Ukupna brzina za svih 10 kanala je $V_u = 10 * 320 \text{ kb/s} = 3,2 \text{ Mb/s}$

Minimalni propusni opseg je: $B_{\min} = V_u / 2 = 1.6 \text{ MHz}$

Sloj veze podataka (Data Link Layer) (L2)

Sloj veze podataka Um-a naziva se LAPDm, i bazira se na starijem HDLC protokolu.

Mrežni sloj (L3)

Mrežni sloj Um - a ima tri podsloja. Pretplatnički terminal mora uspostaviti vezu u svakom podsloju pre pristupa sledećem višem podsloju.

- podsloj Radio Resursa (Radio Resource - RR). Ovaj podnivo upravlja dodeljivanjem i oslobađanjem logičkih kanala na radio linku. Obično je za ovo zadužen kontroler bazne stanice (BSC).
- podsloj za upravljanje mobilnošću (Mobility Management - MM). Ovaj podsloj autentifikuje korisnike i prati njihovo kretanje od ćelije do ćelije. Obično je ovo funkcija MSC-a uz korišćenje Registra lokacija posetilaca (VLR) ili Home Location Register (HLR).
- podsloj za kontrolu poziva (Call Control - CC). Ovaj podnivo služi za uspostavljanje telefonskih poziva. Za CC podsloj zadužen je MSC.

Redosled pristupa mobilne stanice je: RR, MM, CC. Redosled oslobađanja je obrnut. Ni za jedan od ovih podslojeva kontrolna funkcija nije u samom BTS-u. Standardni GSM BTS radi samo na nivou slojeva 1 i 2.

Logički sloj

Kanali za saobraćaj (Traffic Channels (TCH))

Traffic Channels (TCH) su frekvencijski kanali u GSM (Global System for Mobile Communications) mreži koji se koriste za prenos glasovnih informacija i podataka između mobilnih uređaja. Ovi kanali omogućavaju uspostavljanje telefonskih poziva i prenos podataka.

Zajednički kontrolni kanali (Common Control Channels (CCCHs))

U GSM mreži, postoje različite vrste kontrolnih kanala koji igraju ključnu ulogu u upravljanju i kontrolisanju mreže, razmeni informacija između baznih stanica i mobilnih uređaja, i omogućavaju pravilno funkcionisanje GSM sistema.

BCCH (Broadcast Control Channel): BCCH je kontrolni kanal koji se koristi za slanje osnovnih informacija o ćeliji i mreži svim mobilnim uređajima u toj ćeliji. To uključuje informacije kao što su identifikacija ćelije, frekvencije koje se koriste u ćeliji, i slično. Mobilni uređaji prate BCCH kako bi znali kojoj ćeliji treba da se pridruže.

PCH (Paging Channel): PCH se koristi za slanje poruka za pozive prema mobilnim uređajima. Kada neko pokuša da vas pozove, poruka o pozivu se šalje na PCH, a vaš mobilni uređaj prati ovaj kanal kako bi primio obaveštenje o dolaznom pozivu.

RACH (Random Access Channel): RACH je kanal koji mobilni uređaji koriste za inicijalnu registraciju u mreži i za slanje zahteva za pristup mreži. Na primer, kada uključite svoj mobilni telefon, koristi RACH kako bi obavestio mrežu o svojoj prisutnosti i zahtevao registraciju.

Logički sloj

AGCH (Access Grant Channel): AGCH se koristi za slanje odgovora na zahteve za pristup mreži sa RACH. Kada mobilni uređaj šalje zahtev za pristup mreži putem RACH, mreža koristi AGCH za davanje odgovora, uključujući informacije o pristupu i vreme za slanje daljih zahteva.

Synchronization Channel (SCH): SCH se koristi za pravljenje sinhronne veze između mobilnog uređaja i mreže. Prilikom pridruživanja mreži, mobilni uređaj traži SCH kako bi uspostavio sinhronizaciju s baznom stanicom. Nakon što je sinhronizacija postignuta, uređaj je spreman za komunikaciju na drugim kanalima.

Namenski kontrolni kanali (Dedicated Control Channels (DCCHs))

Standalone Dedicated Control Channel (SDCCH)

SDCCH se koristi za većinu kratkih transakcija, uključujući uspostavljanje poziva, inicijalnu registraciju, SMS, lociranje uređaja.

SACCH (Slow Associated Control Channel): SACCH se koristi za razmenu kontrolnih informacija između bazne stanice i mobilnog uređaja tokom razgovora kako bi se održavao kvalitet veze. To uključuje informacije o snazi signala, kvalitetu veze i slično.

Fast Associated Control Channel (FACCH) je poseban kontrolni kanal u GSM mreži koji se koristi za brzu razmenu kontrolnih informacija između mobilnog uređaja i bazne stanice tokom već uspostavljene telefonske veze. FACCH je namenjen za hitne promene u kontroli veze i omogućava mobilnom uređaju i baznoj stanici da brzo razmenjuju važne podatke bez prekida veze. FACCH je uvek uparen sa kanalom za saobraćaj (TCH)

Logički sloj

Kada se mobilni uređaj prvi put autentifikuje na mreži mora poslati IMSI (International Mobile Subscriber Identity) baznoj stanici. Međutim, IMSI se obično ne šalje preko RACH (Random Access Channel) otvoreno i direktno zbog sigurnosnih razloga.

Prilikom inicijalne registracije u mreži, mobilni uređaj šalje svoj IMSI baznoj stanici, ali obično se koristi siguran i šifrovan kanal za prenos IMSI kako bi se osigurala privatnost i sigurnost korisnika. Ovo uključuje korišćenje AKA (Authentication and Key Agreement) protokola kako bi se omogućila bezbedna razmena podataka tokom autentifikacije.

Nakon inicijalne registracije i autentifikacije, mreža često koristi privremeni identifikator TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) za identifikaciju mobilnog uređaja umesto IMSI tokom redovne komunikacije kako bi se očuvala privatnost korisnika. Odgovarajući TMSI se poveže sa IMSI u svojoj bazi podataka (Registar lokacija posetilaca (VLR) ili Home Location Register (HLR)). IMSI se koristi samo u sigurnosnim procesima i inicijalnoj autentifikaciji, a ne prenosi se otvoreno na svakom kanalu komunikacije kako bi se smanjila izloženost potencijalnim sigurnosnim pretnjama.

Kada se mobilni uređaj uključi, on obično osluškuje BCCH (Broadcast Control Channel) kako bi pronašao i identifikovao dostupne bazne stanice u okolini. BCCH kanal nosi osnovne informacije o ćeliji, uključujući identifikaciju ćelije, frekvencije koje se koriste u toj ćeliji, i druge relevantne informacije.

Logički sloj

Mobilni uređaj koristi informacije sa BCCH kako bi saznao koji signali su dostupni u okolini. Ako mobilni uređaj ne može da pronađe jak signal na BCCH kanalu ili ako nema podataka o dostupnim ćelijama, to može ukazivati na to da se nalazi van dometa mreže ili da nije mogao da pronađe nijednu baznu stanicu u blizini.

Kada se mobilni uređaj nalazi van dometa ili se nalazi izvan područja pokrivanja mreže, može prijaviti "nema usluge" ili "Izvan dometa" na ekranu. Mobilni uređaj će pokušati ponovno pretragu mreže kada se pomakne u područje sa boljim signalom ili se nalazi bliže baznim stanicama. Ovaj postupak pretrage i povezivanja sa baznim stanicama obavlja se automatski kada se uređaj uključi ili se pomakne u novo područje sa boljim signalom.

Kada mobilni telefon pronađe BCCH (Broadcast Control Channel) koji je dovoljno jak i identifikuje dostupnu ćeliju u svojoj okolini, sledeći koraci uključuju:

- 1 Prijavljivanje u ćeliju: Mobilni telefon će se pokušati registrovati u ćeliji tako što će poslati registracijski zahtev. Inicijalno prijavljivanje u ćeliju obično uključuje korišćenje RACH (Random Access Channel) u GSM mreži. RACH je kanal koji se koristi za inicijalni kontakt i registraciju mobilnih uređaja u mreži, kao i za zahteve za pristup mreži. Mobilni uređaj, kada želi da se registruje na mrežu ili komunicira s mrežom, koristi svoj TMSI umesto IMSI za inicijalnu komunikaciju.

Logički sloj

- 2 Autentifikacija: Mobilna mreža, kada primi TMSI, koristi ga da pronađe odgovarajući IMSI u svojoj bazi podataka (Registar lokacija posetilaca (VLR) ili Home Location Register (HLR)). U slučaju autentifikacije, mreža šalje izazov uređaju (Challenge) kako bi se dokazala autentičnost uređaja. Mobilni uređaj koristi svoj SIM karticu za generisanje odgovora (Response) na izazov. Mreža poredi odgovor uređaja s očekivanim odgovorom i, ako se podudaraju, autentifikacija se smatra uspešnom.
- 3 Alokacija resursa: Kada se mobilni uređaj poveže s baznom stanicom u izabranoj ćeliji, bazna stanica određuje koji frekvencijski i vremenski resursi će biti alocirani mobilnom uređaju za komunikaciju. Ovo uključuje alokaciju kanala na kojima će se obavljati pozivi i prenos podataka kao i vremenski slot.
- 4 Uspostavljanje komunikacije: Nakon alokacije resursa, mobilni uređaj i bazna stanica uspostavljaju komunikaciju na određenim kanalima kako bi omogućili razmenu glasa, podataka i drugih informacija.

Modulacija

Modulacija signala u mobilnoj telefoniji je ključna tehnika za pretvaranje digitalnih informacija, kao što su glas, podaci i slike, u analogni električni signal koji se može prenositi putem radio talasa. Ova tehnika omogućava efikasno prenošenje informacija na velikim udaljenostima bez velikih gubitaka i interferencija.

Ključnih aspekti modulacije signala u mobilnoj telefoniji:

Sprektar: Prenos signala u mobilnoj telefoniji obično se vrši u određenom frekvencijskom opsegu. Sam signal se ne nalazi u tom opsegu već u tzv. Osnovnom (base band) opsegu. Modulacija omogućava da se digitalni signal "stavi" na određeni deo ovog spektra. Različiti mobilni standardi koriste različite spektralne opsege i modulacione tehnike.

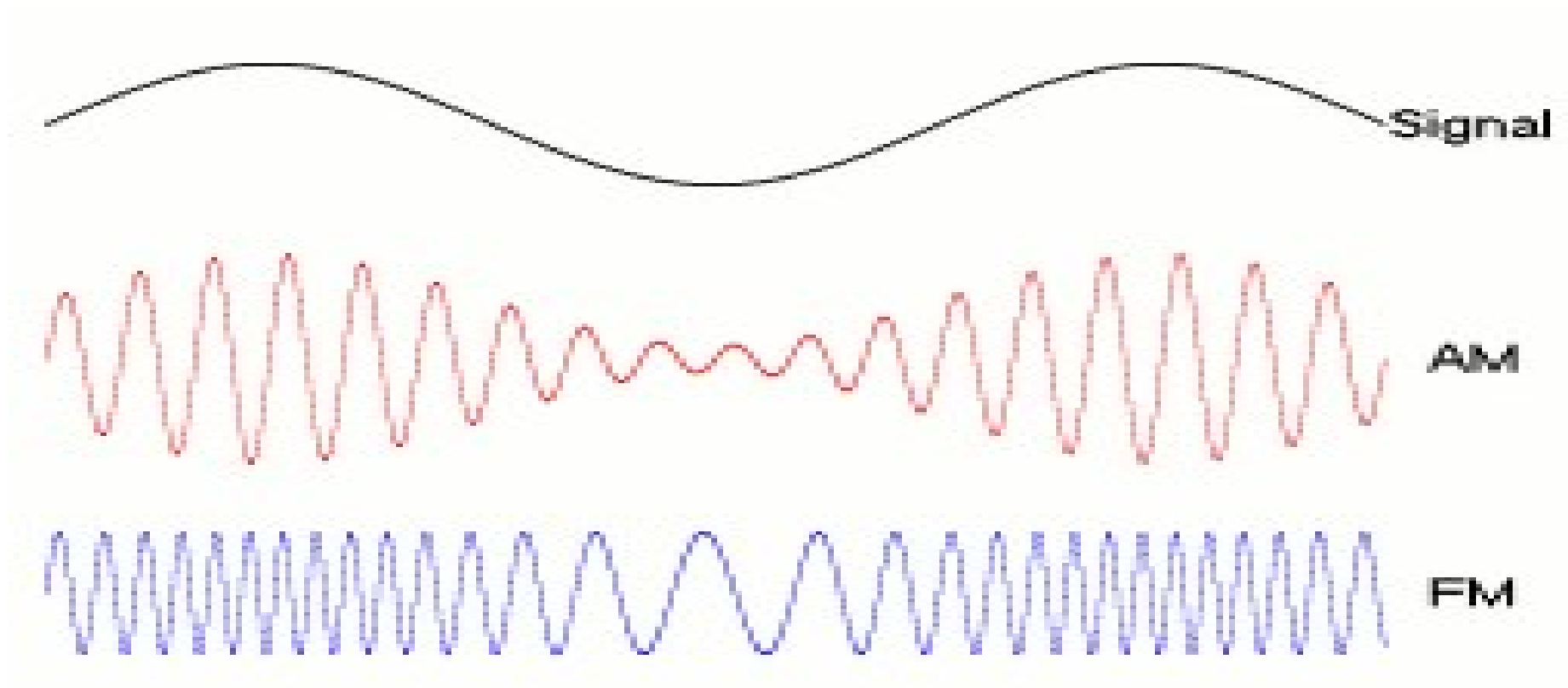
Analogna i digitalna modulacija: Postoje dva osnovna tipa modulacije - analogni i digitalni. U počecima mobilne telefonije, korišćena je analogni modulacija za prenos glasovnih informacija. Međutim, sa razvojem digitalnih tehnologija, prelazi se na digitalnu modulaciju, koja omogućava bolji kvalitet i efikasnost prenosa.

Modulacija

Amplitudska modulacija (AM) i frekventna modulacija (FM): To su dve osnovne vrste analognih modulacija.

AM modulacija menja amplitudu nosilaca radio signala u skladu sa informacijama koje se prenose.

FM modulacija menja frekvenciju nosilaca. Ove tehnike koriste se za prenos analognog govornog signala u starijim analognim sistemima.



Digitalne modulacije

- ▶ Veoma slične kao analogne modulacije
- ▶ Modulišući signal je digitalni
- ▶ Amplitudska
- ▶ Frekvencijska
- ▶ Fazna
- ▶ Amplitudsko-fazna

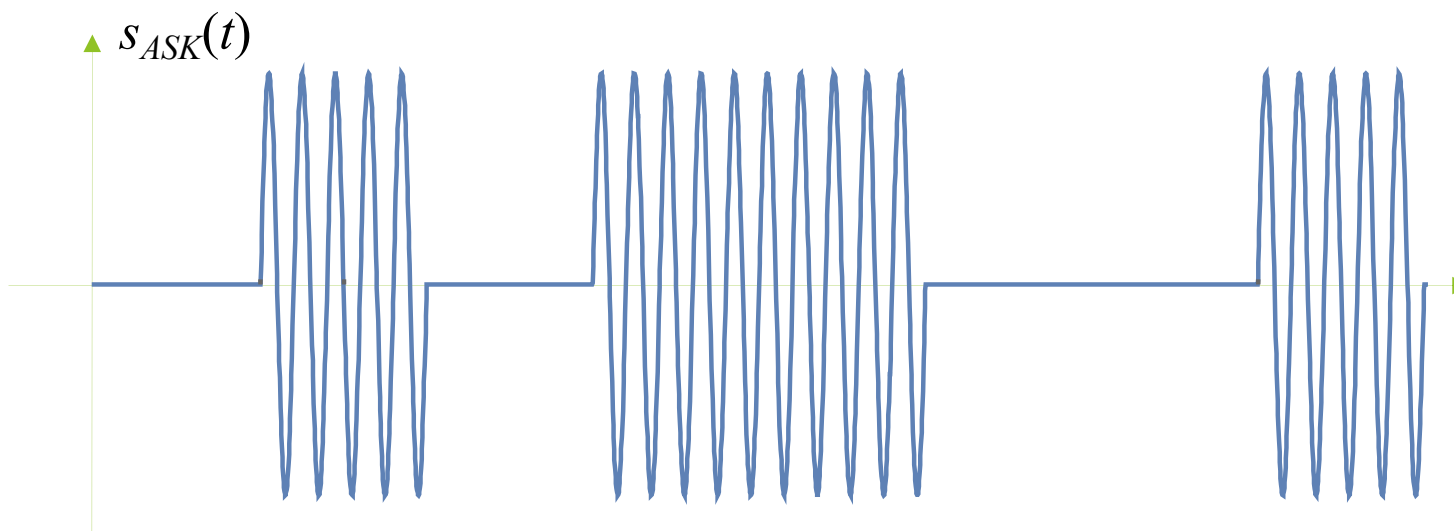
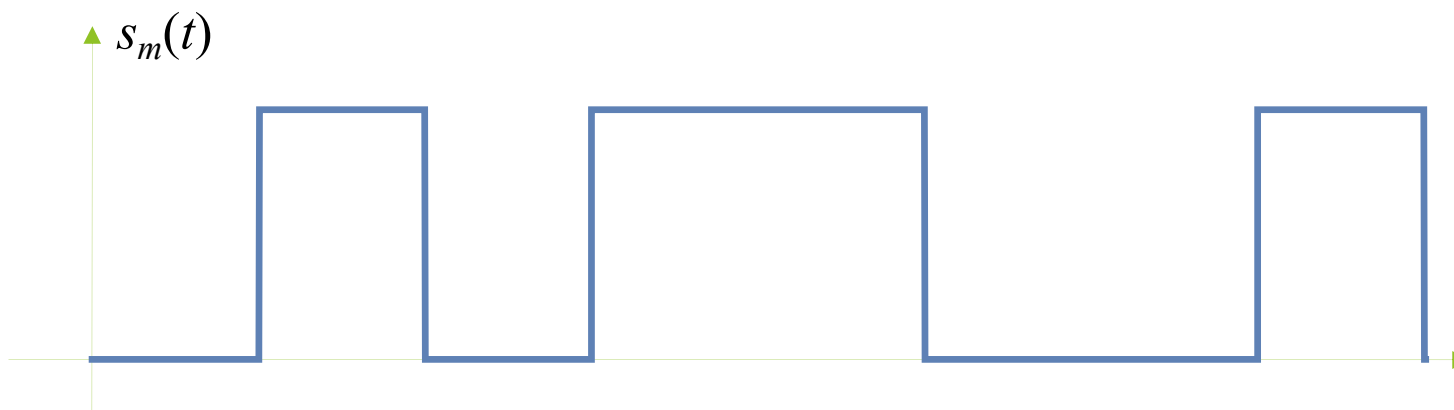
Digitalna amplitudska modulacija (ASK)

- ▶ Amplitude Shift Keying (ASK)
- ▶ a_k , digitalna informacija koja se prenosi

$$s_{ASK}(t) = \begin{cases} A \sin(\omega_0 t), & kT \leq t \leq (k+1)T, a_k = 1 \\ 0, & kT \leq t \leq (k+1)T, a_k = 0 \end{cases}$$

- ▶ MASK, sa M nivoa

Digitalna amplitudska modulacija (ASK)



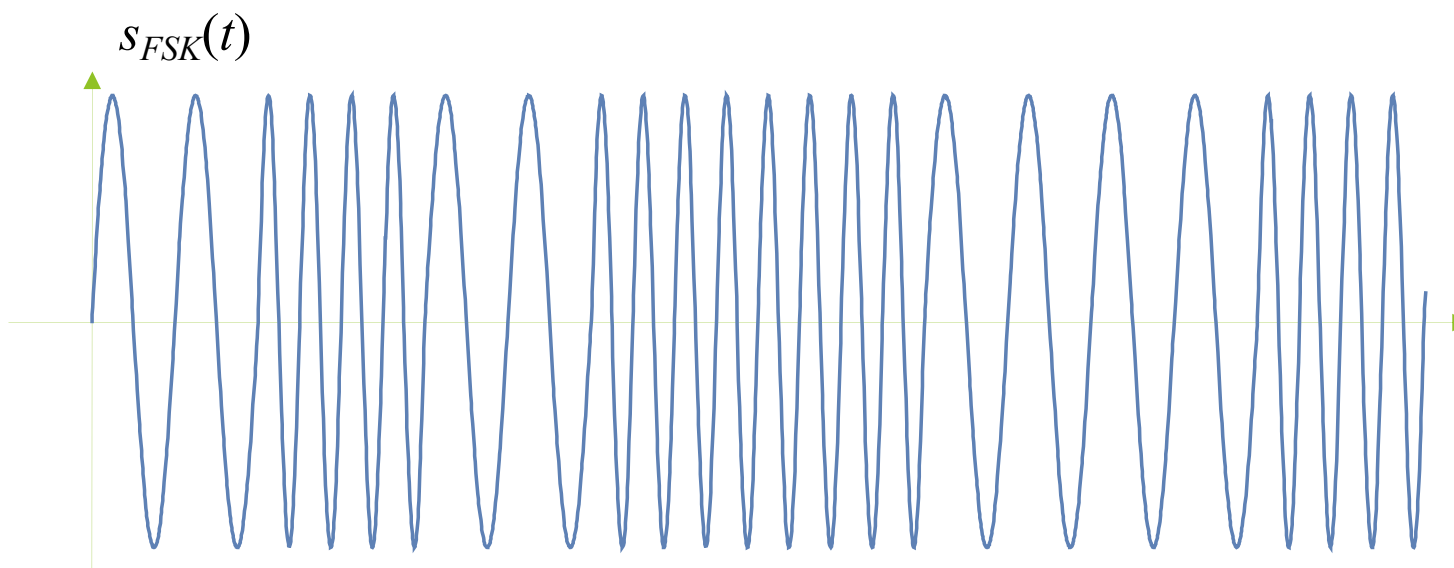
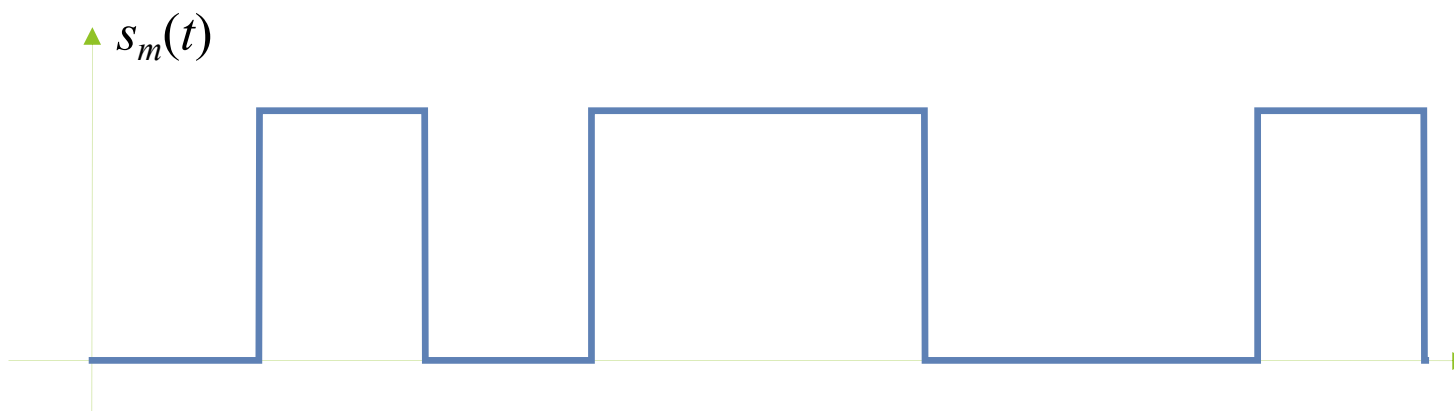
Digitalna frekvencijska modulacija (FSK)

- ▶ Frequency Shift Keying (FSK)
- ▶ a_k , digitalna informacija koja se prenosi

$$s_{FSK}(t) = \begin{cases} A \sin(\omega_{01}t), & kT \leq t \leq (k+1)T, a_k = 1 \\ A \sin(\omega_{02}t), & kT \leq t \leq (k+1)T, a_k = 0 \end{cases}$$

- ▶ MFSK

Digitalna frekvencijska modulacija (FSK)



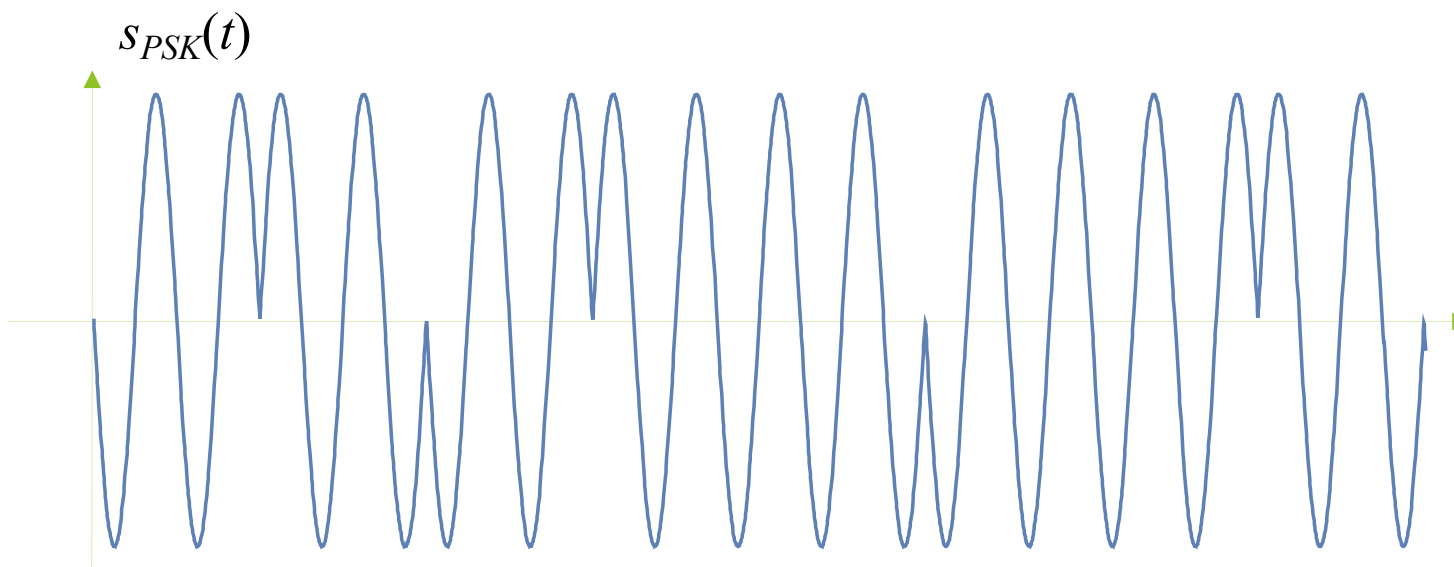
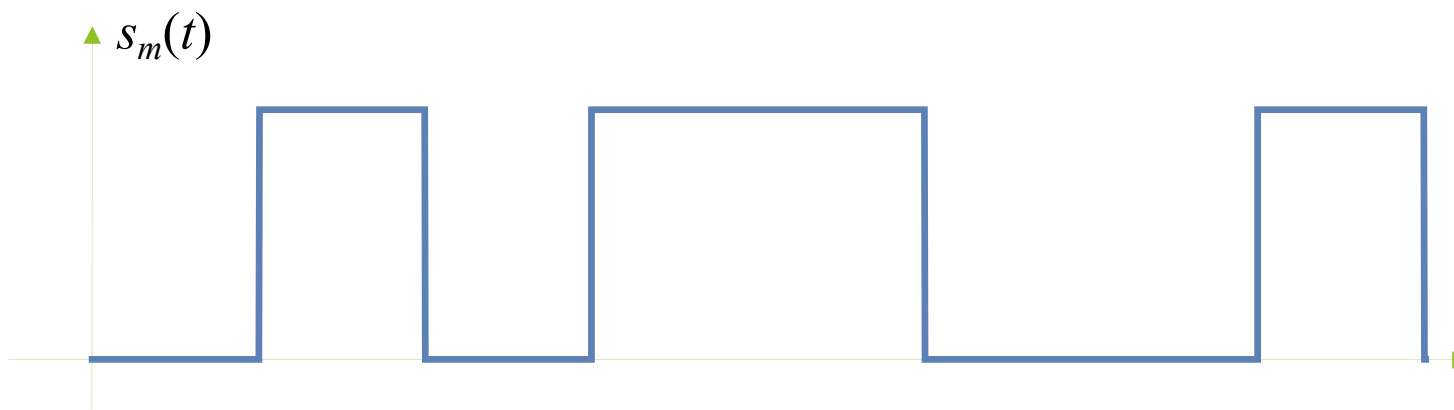
Digitalna fazna modulacija (PSK)

- ▶ Phase Shift Keying (PSK)
- ▶ a_k , digitalna informacija koja se prenosi

$$s_{PSK}(t) = \begin{cases} A \sin(\omega_0 t), & kT \leq t \leq (k+1)T, a_k = 1 \\ A \sin(\omega_0 t + \pi) = -A \sin(\omega_0 t), & kT \leq t \leq (k+1)T, a_k = 0 \end{cases}$$

- ▶ MPSK

Digitalna fazna modulacija (PSK)



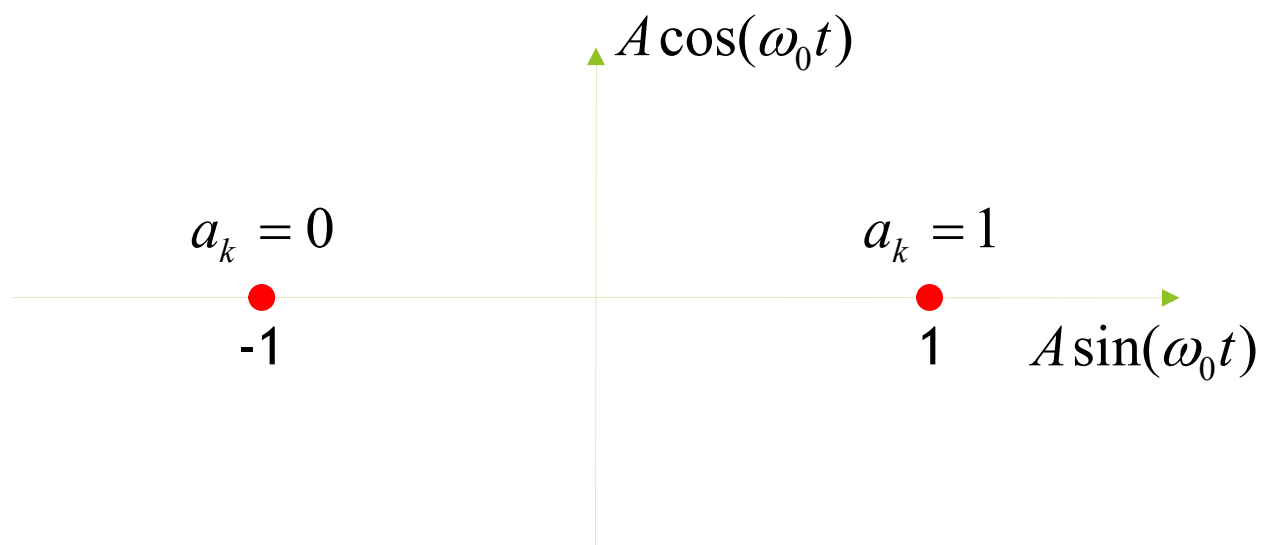
Digitalna fazna modulacija (PSK)

- ▶ Najčešće se koristi
- ▶ 2PSK = BPSK, 4PSK = QPSK, 8PSK, 16PSK
 - ▶ 8PSK se koristi kod EDGE (2.5 G) standarda za prenos podataka u mobilnoj telefoniji
- ▶ Kvadratura amplitudska modulacija (QAM)
 - ▶ Kombinacija amplitudske i fazne modulacije
 - ▶ Ime liči na amplitudsku
 - ▶ Po strukturi je sličnija faznoj
- ▶ Diferencijalna fazna modulacija (DPSK)

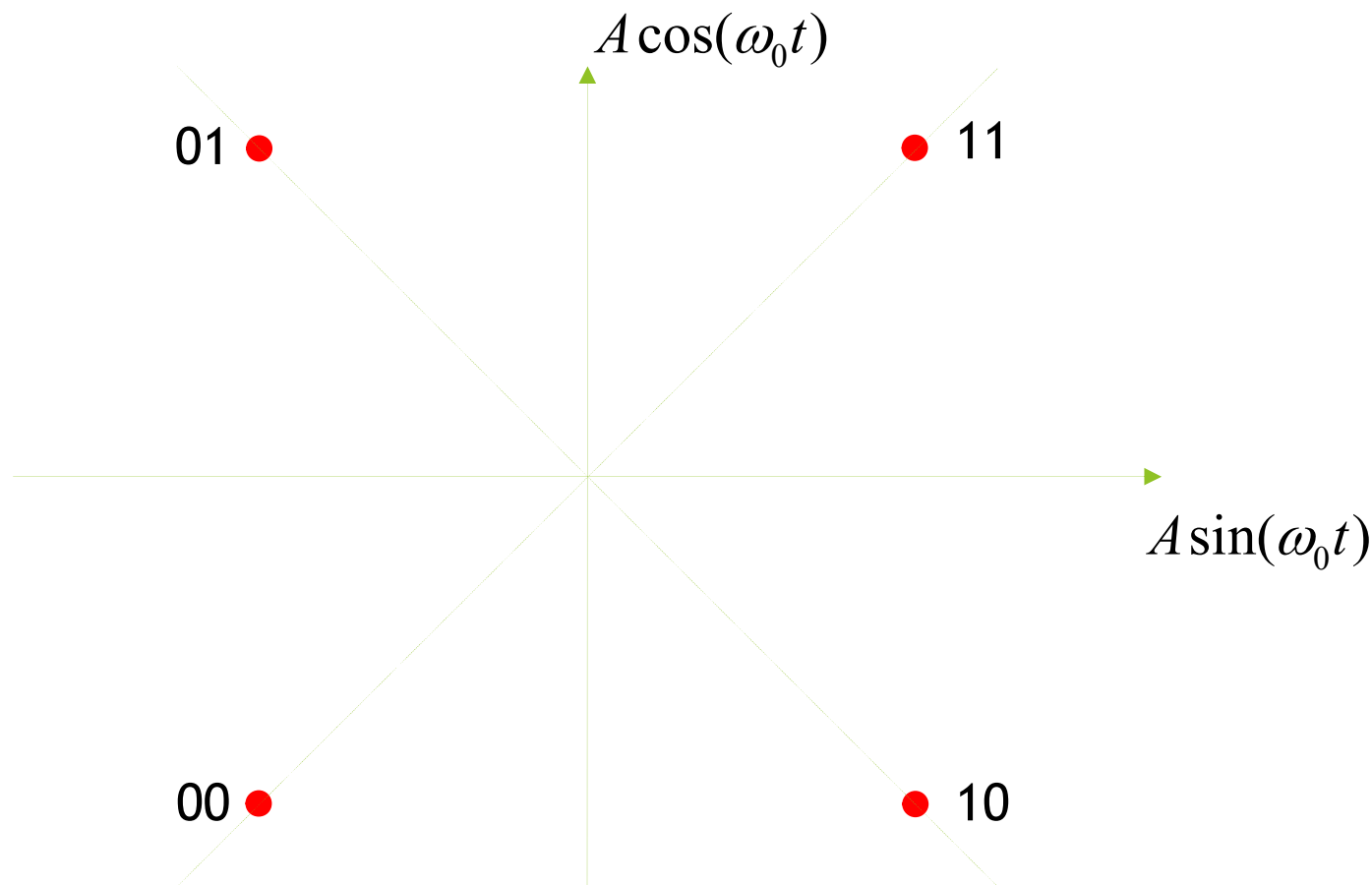
BPSK – Konstelacioni dijagram

- ▶ Konstelacioni dijagram (konstelacija)
- ▶ Grafički prikaz položaja simbola u sin-cos koordinatnom sistemu

$$s_{PSK}(t) = \begin{cases} A \sin(\omega_0 t), & a_k = 1 \\ -A \sin(\omega_0 t), & a_k = 0 \end{cases}$$

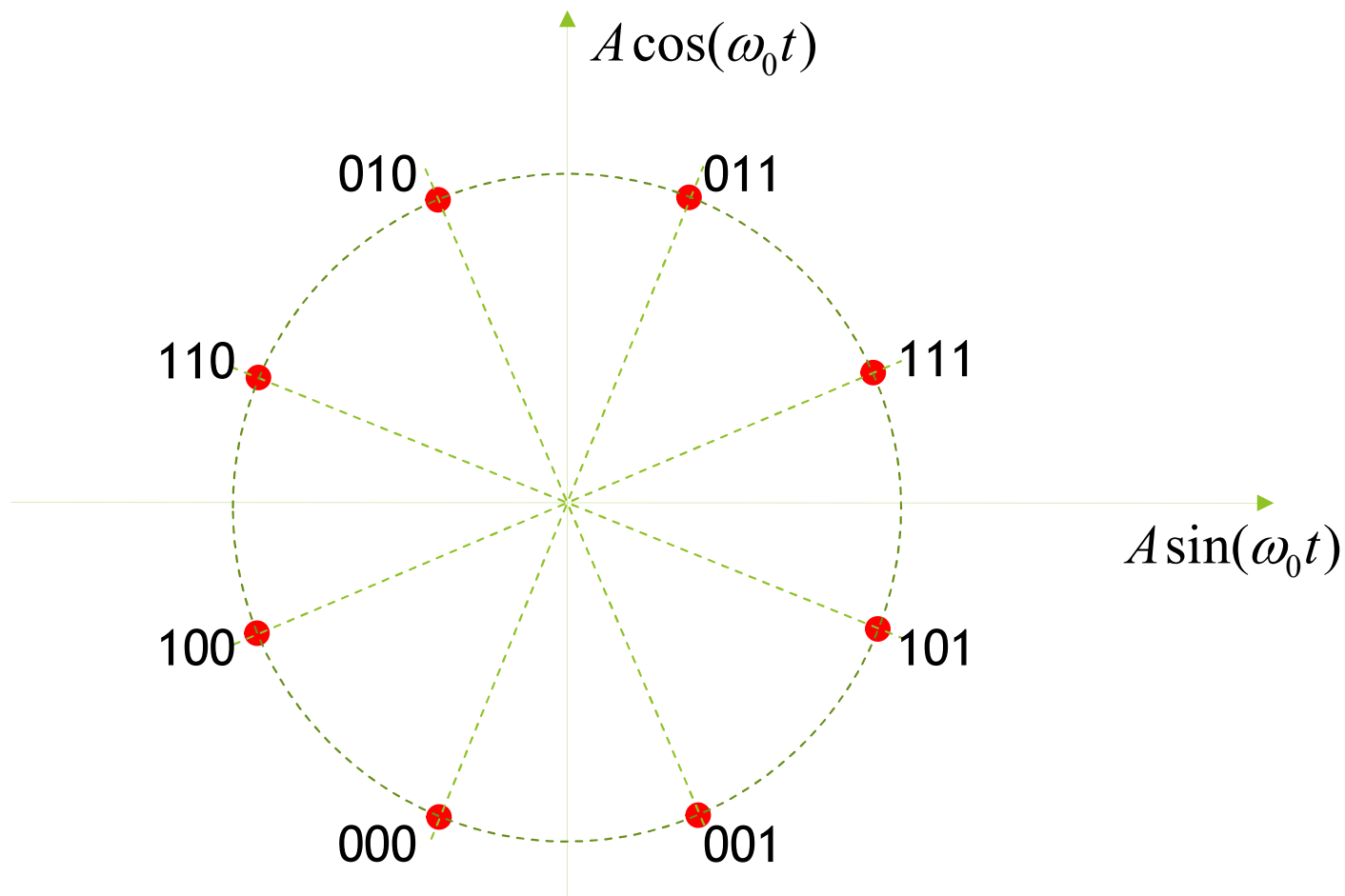


4PSK - Konstelacioni dijagram

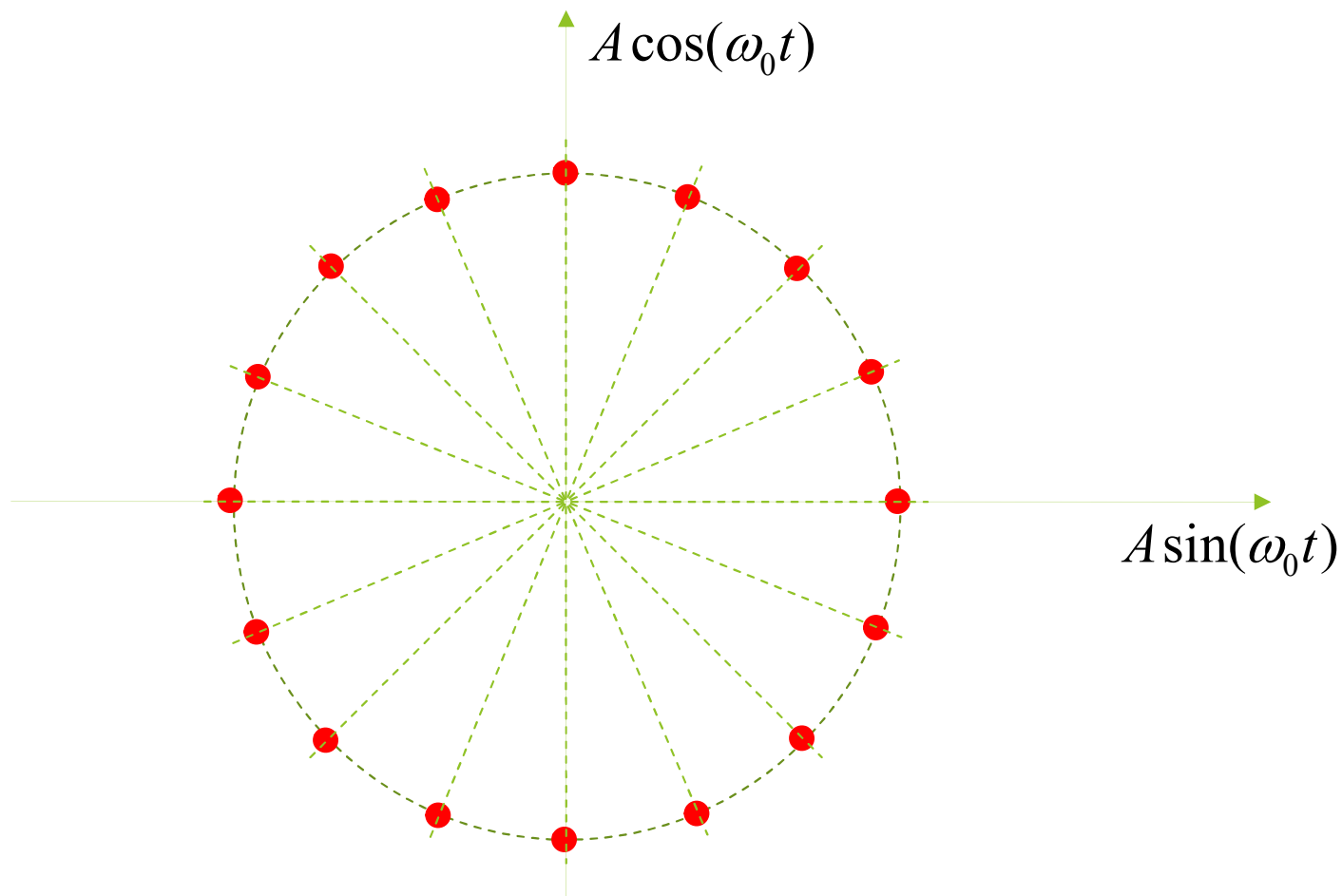


$$\begin{aligned}
 A \sin\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{4}\right) &= A \sin(\omega_0 t) \cos \frac{\pi}{4} + A \cos(\omega_0 t) \sin \frac{\pi}{4} \\
 &= \frac{\sqrt{2}}{2} A \sin(\omega_0 t) + \frac{\sqrt{2}}{2} A \cos(\omega_0 t)
 \end{aligned}$$

8PSK - Konstelacioni dijagram



16PSK - Konstelacioni dijagram



Digitalna fazna modulacija (MPSK)

- ▶ Brzina prenosa simbola

$$S = \frac{D}{n} \text{ simbola/s}$$

- ▶ D je bitska brzina (b/s), a n broj bita po simbolu
- ▶ Ukupan broj mogućih simbola je $M = 2^n$
- ▶ Fazna razlika između simbola je

$$P = \frac{360^\circ}{M} = \frac{2\pi}{M} \text{ rad}$$

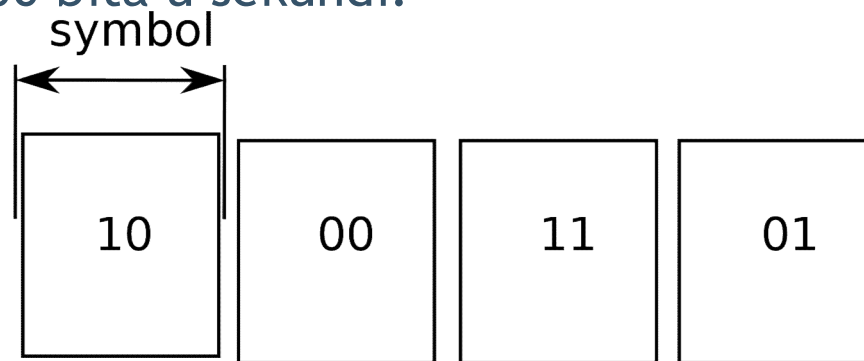
- ▶ Maksimalna brzina prenosa, bez uticaja šumova i smetnji

$$C = B \log_2 M$$

- ▶ B je širina propusnog opsega u Hz

Digitalna fazna modulacija (MPSK)

Primer: telefonska linija je dizajnirana za prenos zvučnih zvukova, na primer, tonova, a ne digitalnih bitova (nula i jedinica). Računari mogu, međutim, da komuniciraju preko telefonske linije pomoću modema, koji predstavljaju digitalne bitove tonovima, koji se nazivaju simboli. Ako postoje četiri alternativna simbola (koji odgovaraju muzičkom instrumentu koji može da generiše četiri različita tona, jedan po jedan), prvi simbol može predstavljati niz bitova 00, drugi 01, treći 10 i četvrti 11. Ako modem reprodukuje melodiju koja se sastoji od 1000 tonova u sekundi, brzina simbola je 1000 simbola/sekundi, ili 1000 baudova. Pošto svaki ton (tj. simbol) predstavlja poruku koja se sastoji od dva digitalna bita u ovom primeru, brzina bitova je dvostruko većá od brzine simbola, odnosno 2000 bita u sekundi.



Primer5

- ▶ Jedan 8PSK modulator ima na svom ulazu niz informacionih bita sa bitskom brzinom od 2400 b/s i namenjen je radu u sistemu koji služi za prenos telefonskih signala pri čemu se koristi propusni opseg od 3.1kHz. Odrediti:
 - ▶ a) Broj mogućih simbola
 - ▶ b) Brzinu prenosa simbola
 - ▶ c) Faznu razliku između simbola
 - ▶ d) Maksimalnu bitsku brzinu

Primer5

- ▶ Jedan 8PSK modulator ima na svom ulazu niz informacionih bita sa bitskom brzinom od 2400 b/s i namenjen je radu u sistemu koji služi za prenos telefonskih signala pri čemu se koristi propusni opseg od 3.1kHz. Odrediti:

- ▶ a) Broj mogućih simbola
- ▶ b) Brzinu prenosa simbola
- ▶ c) Faznu razliku između simbola
- ▶ d) Maksimalnu bitsku brzinu

a) 8PSK $\rightarrow M = 8$

b) $M = 2^n \rightarrow n = 3, S = \frac{D}{n} = \frac{2400 \text{ b/s}}{3} = 800 \text{ simbola/s}$

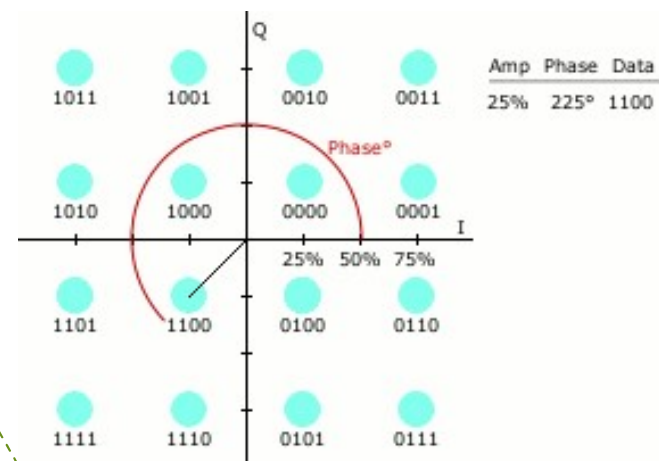
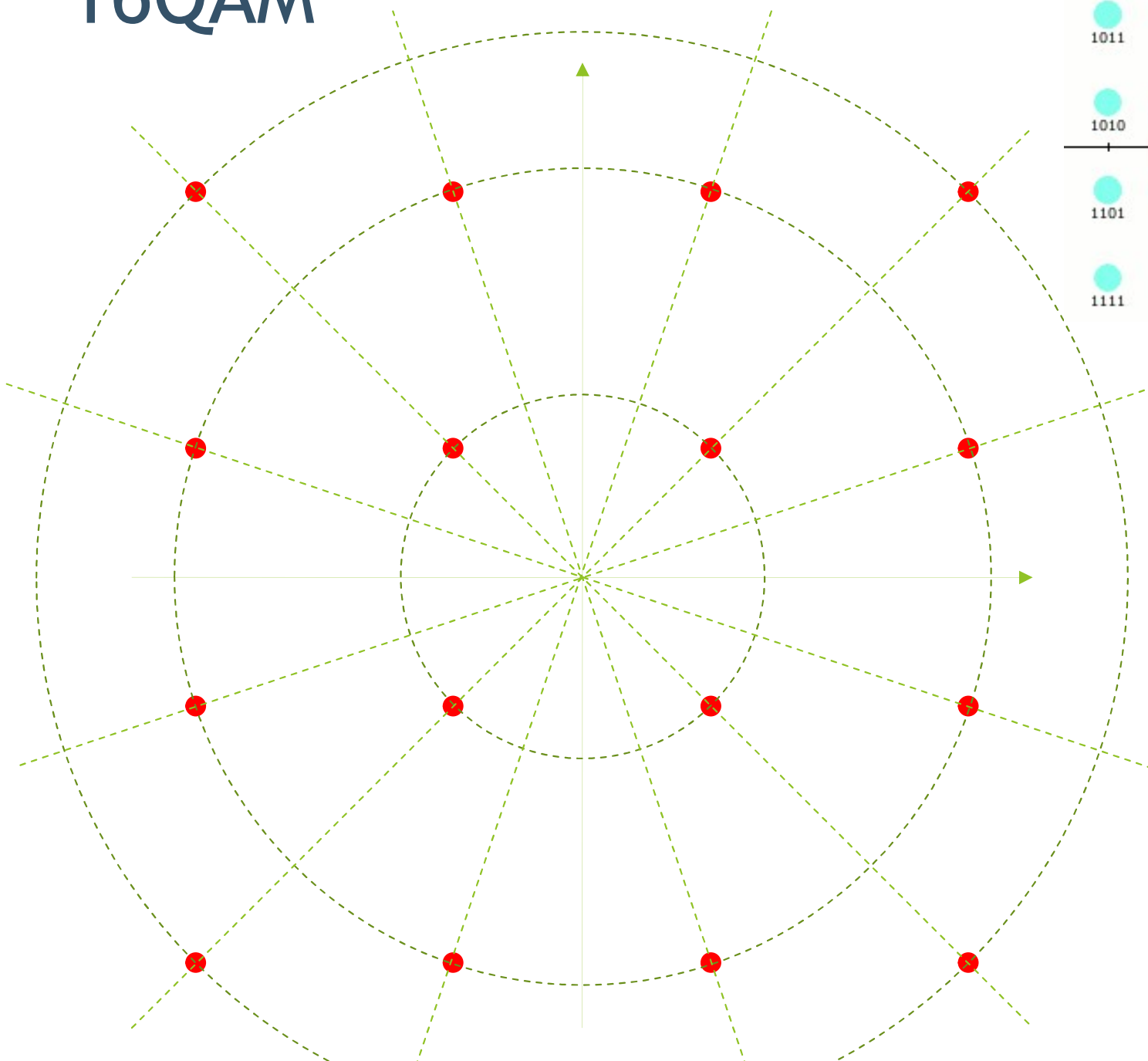
c) $P = \frac{360}{M} = 45^\circ$

d) $B = 3100 \text{ Hz}, C = B \log_2 M = 9300 \text{ b/s}$

QAM

- ▶ 16QAM, 64QAM, 256QAM
- ▶ 64QAM, 256QAM
 - ▶ digitalna kablovska televizija (DVB-C)
 - ▶ $S = 6952 \text{ kSimbola/s} \rightarrow D = 55.616 \text{ Mbit/s}$
 - ▶ digitalna zemaljska televizija (DVB-T2)
- ▶ 1024QAM, 4096QAM
 - ▶ Powerline Ethernet, Homeplug AV2
- ▶ 32768QAM
 - ▶ ADSL
 - ▶ VDSL

16QAM



Modulacija

GSM modulacija

GSM koristi format digitalne modulacije koji se zove 0.3GMSK (tzv. Gaussian minimum shift keying). 0.3 opisuje propusni opseg Gausovog filtera u odnosu na brzinu prenosa.

GMSK je posebna vrsta digitalne FM modulacije. "1" i "0" su predstavljeni pomeranjem RF nosioca za plus ili minus 67,708 KHz. Tehnike modulacije koje koriste dve frekvencije da predstavljaju "1" i "0" se označavaju kao FSK (Frekventna modulacija). U slučaju GSM-a, brzina prenosa podataka od 270,833 kbit/sec je odabrana da bude tačno četiri puta veća od pomeranja RF frekvencije. Ovo ima efekat minimiziranja spektra modulacije i poboljšanja efikasnosti kanala.

Digitalni signal se prvo propušta kroz Gausov filtera pre nego što se šalje na modulator frekvencije