

4G sistemi mobilne telefonije

4G treba da omogući karakteristike koje je 2008. definisala ITU-R

- **IMT-Advanced** (*International Mobile Telecommunications-Advanced*)
 - sveobuhvatna „*all-IP*“ mobilna širokopojasna rešenja
 - ne podržava komutaciju kola
 - podrška raznih uređaja (laptop, smart telefoni...)
 - *ultra-broadband* brzine pristupa Internetu
 - IP telefonija
 - mrežne igre
 - *real-time* multimedija
 - QoS
 - HDTV
 - interoperabilnost sa prethodnim sistemima

- *IMT-Advanced* karakteristike
 - brzine
 - 100 Mbit/s kada se korisnik kreće velikim brzinama
 - 1 Gbit/s kada je korisnik relativno stacionaran u odnosu na baznu stanicu
 - dinamička raspodela resursa u cilju podrške velikog broja korisnika
 - skalabilna širina kanala 5-20 MHz, opciono 40 MHz
 - besprekidno povezivanje – *handover* i roving
 - mogućnost ponude multimedijalnog servisa visokog kvaliteta

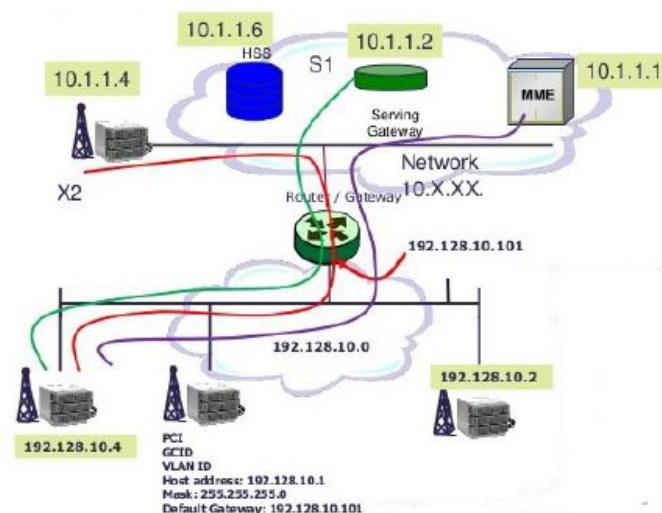
Dva „4G“ sistema je razvijeno krajem 2010-tih:

- **WiMAX** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)
IEEE 802.16 serija standarda
 - IEEE 802.16e-2005 – osnova *Mobile WiMAX*-a
 - prvi put implementiran u Južnoj Koreji 2007.
 - 2008. – SAD
- **LTE** (*Long Term Evolution*)
 - 3GPP razvio standarde na bazi GSM/EDGE/UMTS/HSPA
 - prva implementacija 2009. u Norveškoj i Švedskoj
 - E-UTRA (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access*) – naziv za radio interfejs u LTE
- 3,9G – prve generacije *Mobile WiMAX*-a i LTE-a nisu bile prave 4G, jer su podržavale brzine znatno manje od 1 Gbit/s
 - međutim, ipak ih smatraju 4G tehnologijama

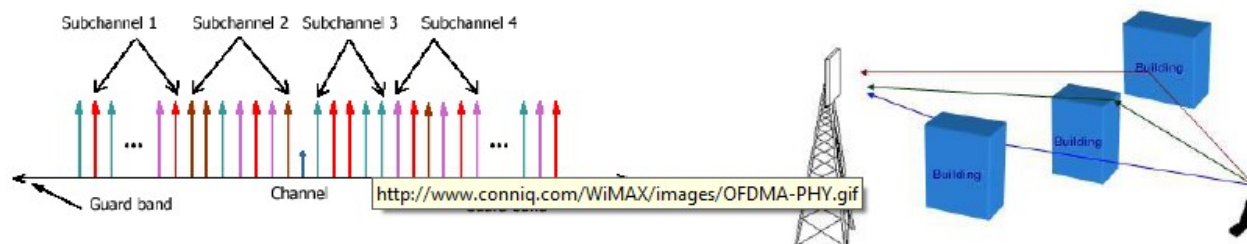
- Kasnije razvijeni *IMT-Advanced* kompatibilni standardi
 - *Mobile WiMAX Release 2*
 - IEEE 802.16m-2011, a menja ga 802.16.1-2012
 - radi na 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,5 GHz
 - širine kanala: 5 MHz, 8,75 MHz i 10 MHz
 - *LTE-Advanced*
 - predložen od strane NTT DoCoMo (Japan)
 - standardizovan 2011. od strane 3GPP
 - radi na 800, 900, 1800, 2100 i 2600 MHz
 - negde definisano i 450 i 3600 MHz
 - širina kanala 5-20 MHz

- 4G

- ne podržava komutaciju kola
 - paketska „all-IP“ mreža



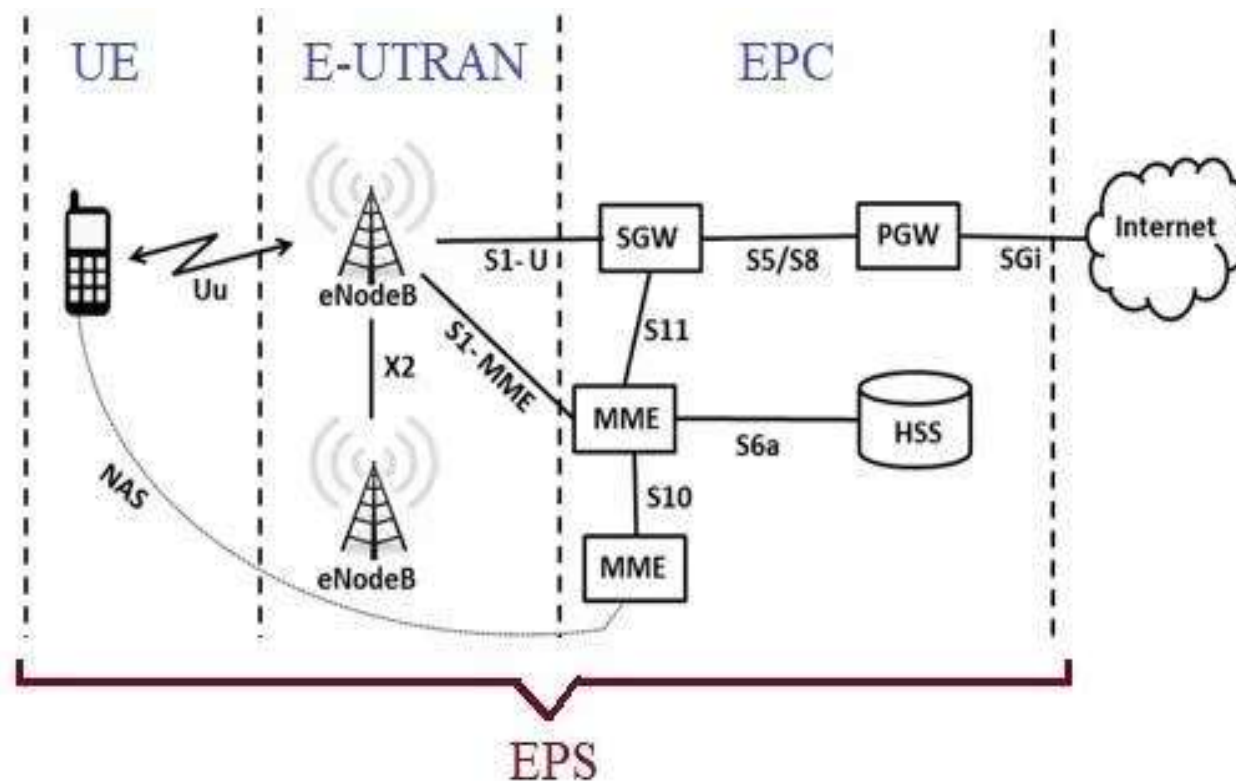
- ne koristi tehniku proširenog spektra DSSS, odnosno CDMA
 - menja je tehnika OFDMA – omogućava velike brzine i pored *multipath* fedinga



- podržava MIMO tehniku i *smart* antene

4G Arhitektura

4G mreža se sastoji od dela za radio funkcionalnost i dela za osnovnu funkcionalnost mreže (core network). Radio funkcija je zasnovana na LTE 3GPP standardima, a jezgro mreže je zasnovano na EPC 3GPP standardima.

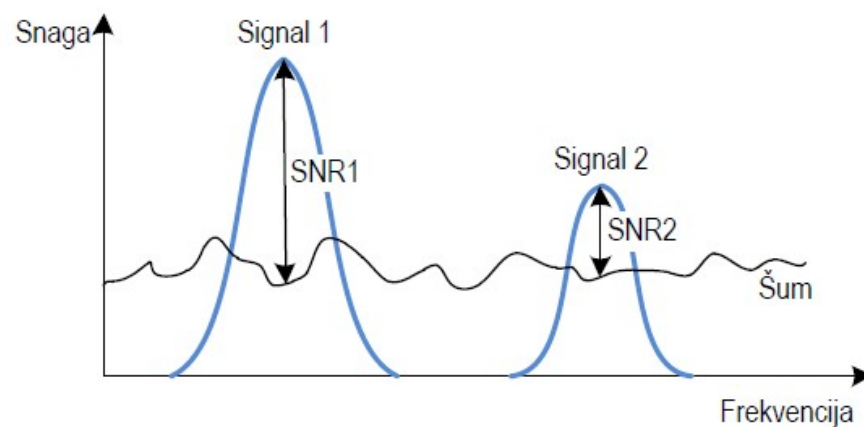


4G Arhitektura

- EPS je skraćenica za Evolved Packet System, dok je EPC skraćenica za Evolved Packet Core.
- EPS arhitektura se sastoji od korisničke opreme (UE), radio mreže (E-UTRAN), osnovne mreže (EPC) i IP mreže (IMS).
- EPS je kombinacija E-UTRAN, EPC i UE. UE (korisnička oprema) se odnosi na bilo koji uređaj koji kontroliše korisnik, kao što je mobilni pretplatnik, tablet, laptop, USB ključ itd. UE je povezan sa EPC preko E-UTRAN mreže. Razvijeni čvor-B (tj. eNodeB) je bazna stanica LTE radio sistema.
- EPC se sastoji od SGW (Serving Gateway), PGW (Packet data network gateway - gateway za paketni prenos podataka), MME (Mobile Management Entity - entitet za upravljanje mobilnošću) i HSS (Home Subscriber Station - pretplatnička stanica). Povezan je sa eksternim mrežama kao što je IMS (IP Multimedia Core Network Subsystem).

4G ključne tehnologije

- Performanse radio sistema se u najvećoj meri utvrđuju na osnovu **najbitnijeg faktora** – odnos signal-šum, **SNR** (*Signal-to-Noise Ratio*)



- Bilo bi dobro da je signal koji se prenosi što jači
 - u mrežama koje koriste nelicencirani opseg jačina signala se mora limitirati kako bi se izbegla interferencija
 - mora se uložiti **dosta truda** kako bi se signal na prijemu što više izolovao od **šuma** koji postoji u sredini

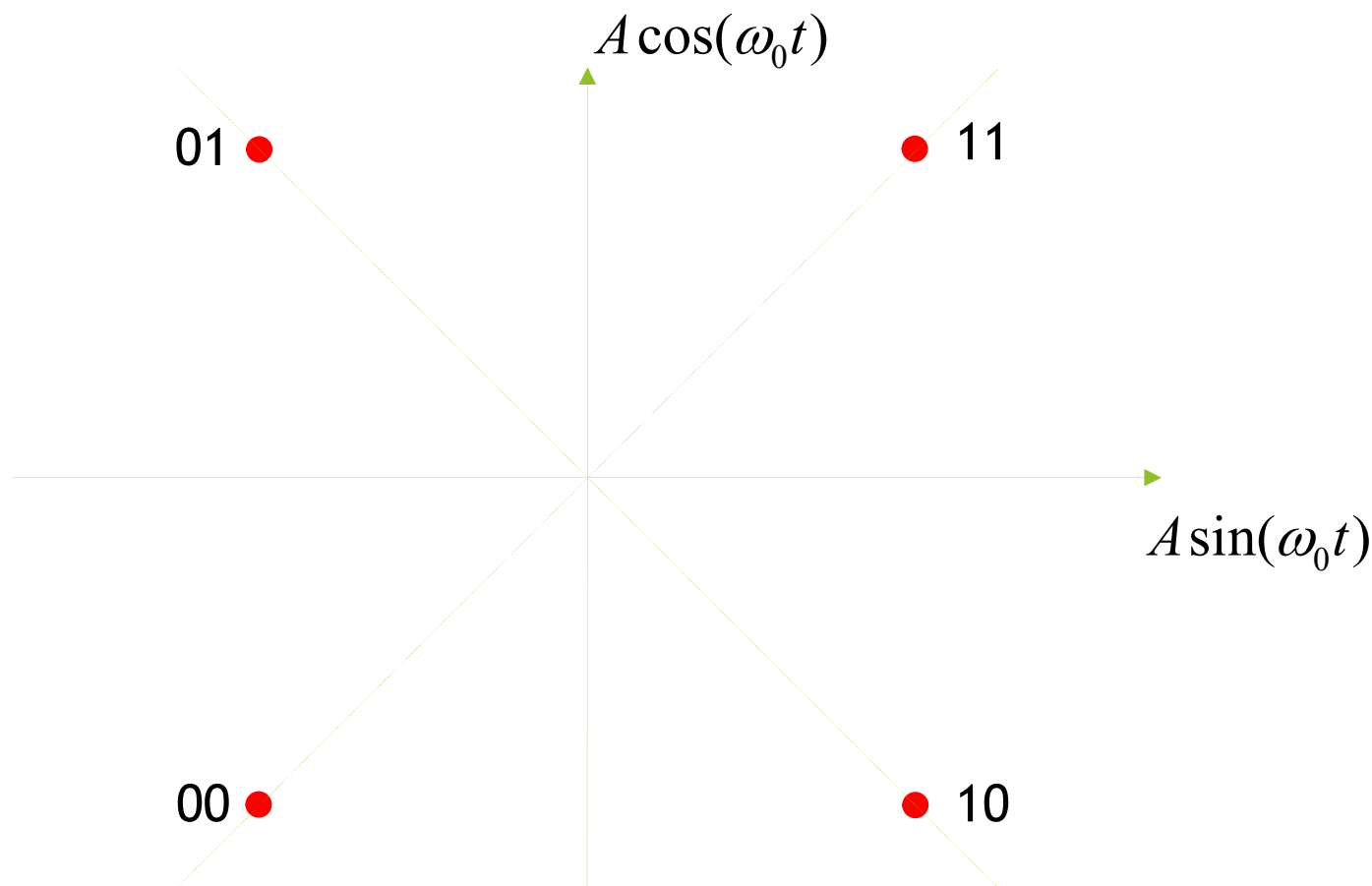
- Šenonova teorema – **ne postoji teoretski maksimum brzine prenosa podataka**

- C – kapacitet u bit/s
- B – propusni opseg u Hz

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

- **Modulacija koja može da obezbedi veći odnos signal-šum, može da postigne i veće brzine prenosa**
 - npr, jednim nivoom signala se predstavlja više bita
 - može se beskonačno povećavati broj nivoa, ali u nekom trenutku će šum početi da utiče na odluku na prijemu

4PSK - Konstelacioni dijagram

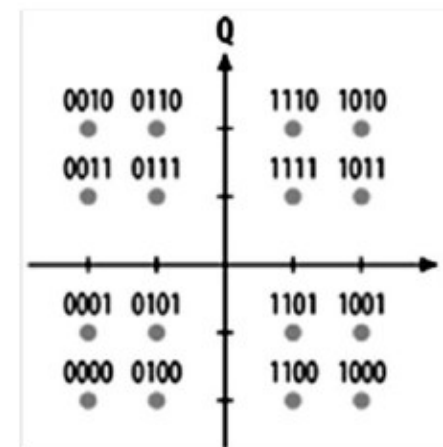


$$\begin{aligned}
 A \sin\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{4}\right) &= A \sin(\omega_0 t) \cos \frac{\pi}{4} + A \cos(\omega_0 t) \sin \frac{\pi}{4} \\
 &= \frac{\sqrt{2}}{2} A \sin(\omega_0 t) + \frac{\sqrt{2}}{2} A \cos(\omega_0 t)
 \end{aligned}$$

- QAM

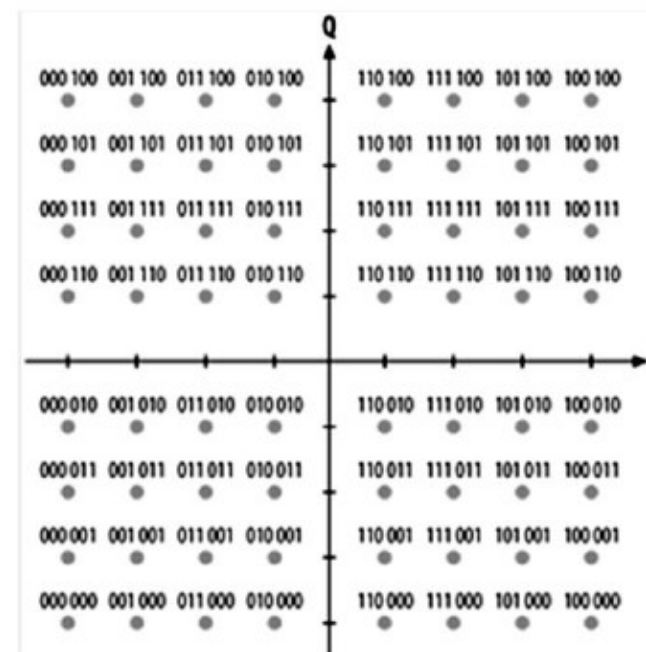
- 16-QAM

- 1 simbol – 4 bita



- 64-QAM

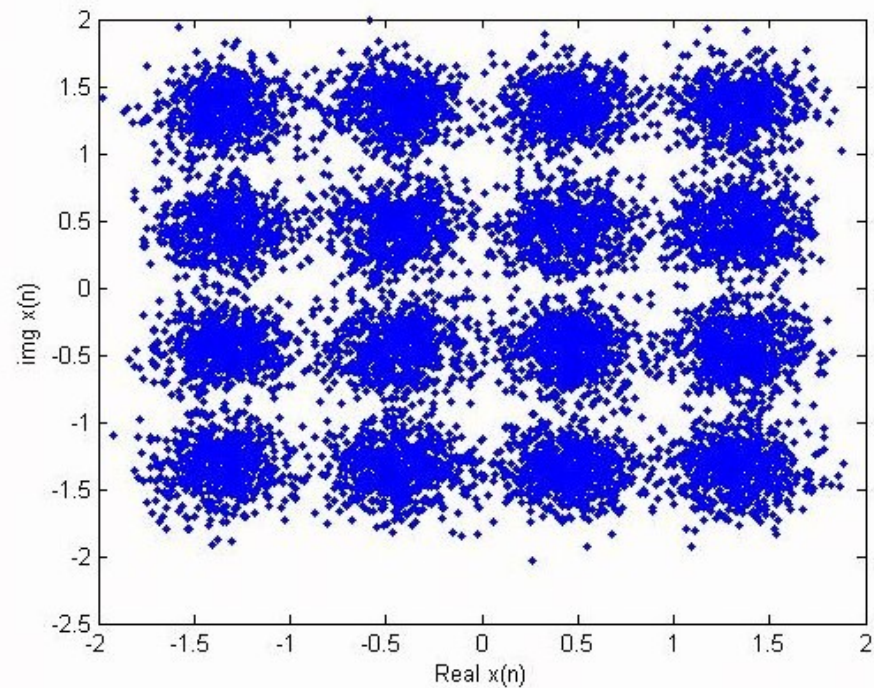
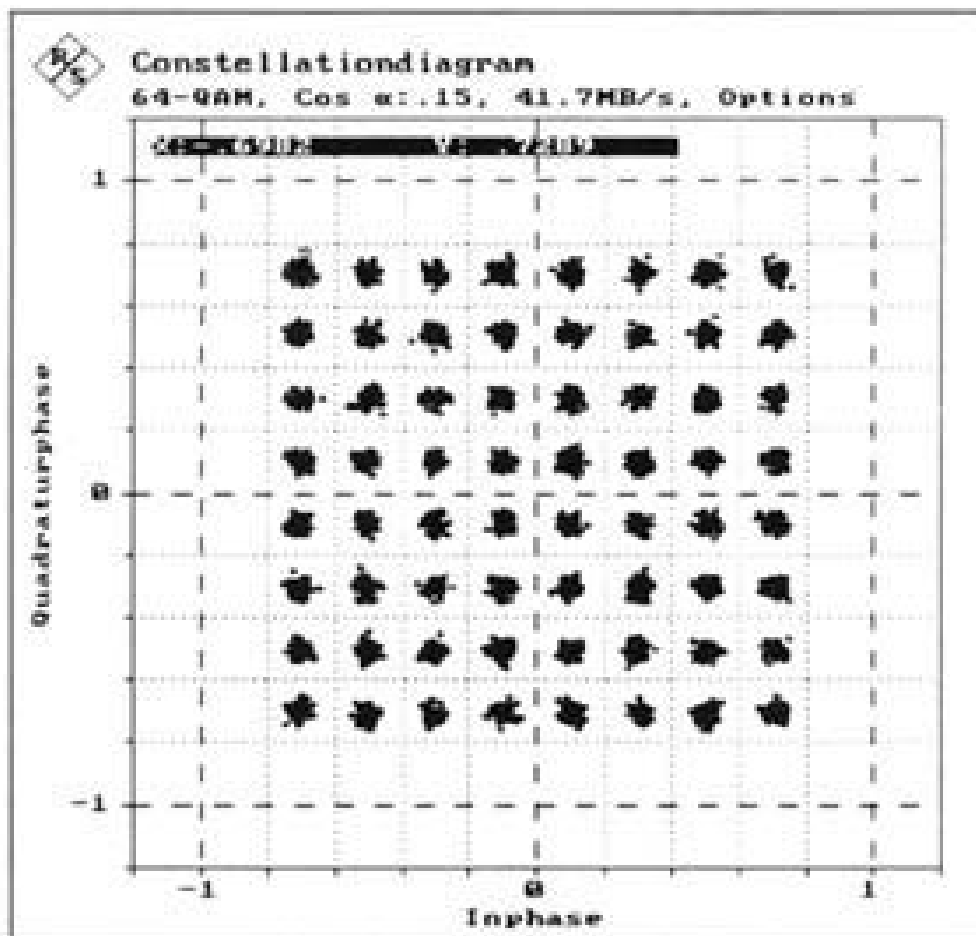
- 1 simbol – 6 bita
- predloženo da se koristi u LTE



- QAM
 - 256-QAM
 - 1 simbol – 8 bita
 - 802.11ac

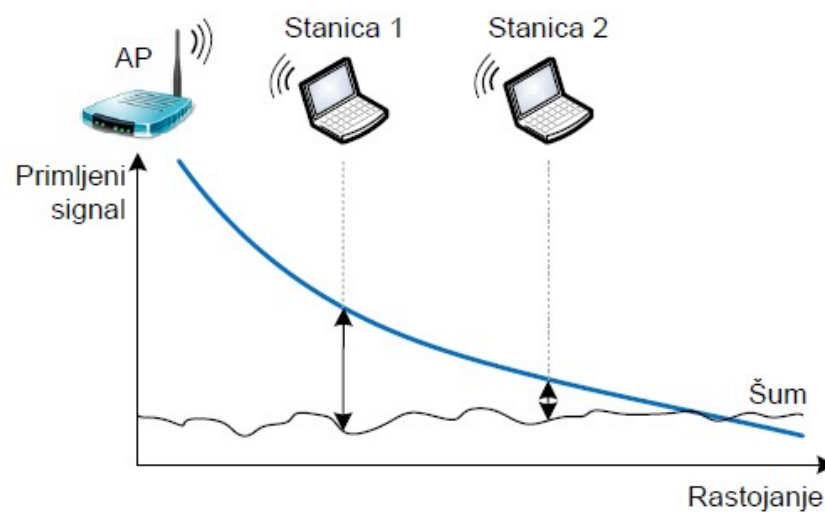


QAM uticaj suma



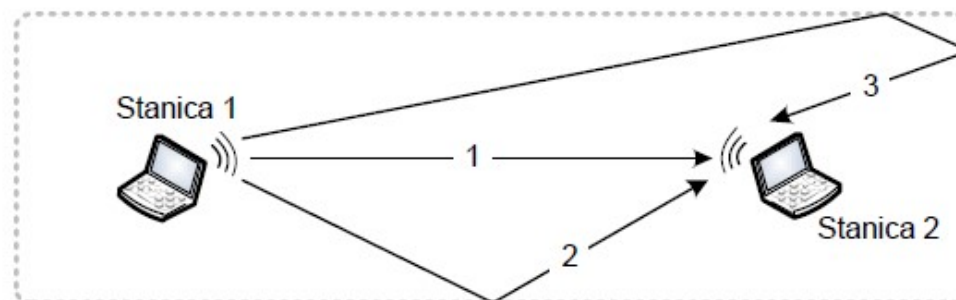
- QAM
 - 512-QAM – 9 bita
 - 1024-QAM – 10 bita
 - 2048-QAM – 11 bita
 - 4096-QAM – 12 bita
 - *powerline Ethernet*
- u žičnim sistemima se postiže veći nivo jer je šum manji
 - npr. neki ADSL sistemi postižu **32768-QAM** (1 simbol – 15 bita)

- Brzina prenosa zavisi od dometa
 - na putu kroz prostor dolazi do degradacije signala
 - sa povećanjem rastojanja stanice od AP tačke nivo signala će opadati, a time će se smanjivati SNR
 - kada SNR postane toliko mali da ne može da podrži veliku brzinu, stanica će se prebaciti u drugi režim sa manjom brzinom prenosa koja podržava manji SNR

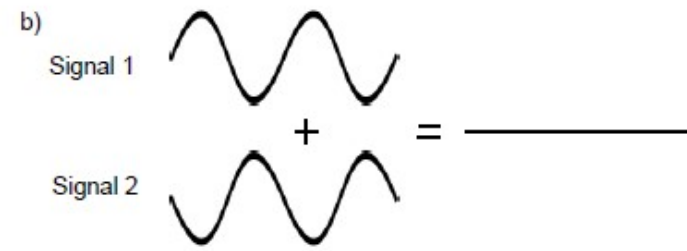
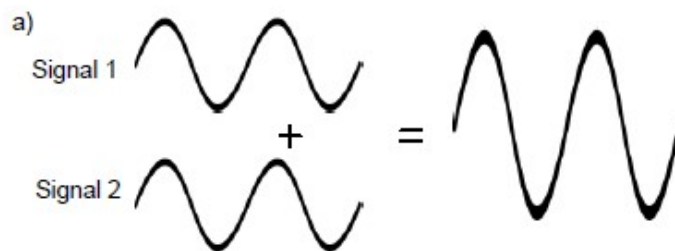


- **SNR** (*Signal-to-Noise Ratio*)
 - veći SNR – više informacija se može prenositi
 - analogija sa okom čoveka i detektovanjem upaljene lampe
 - tokom noći lakše detektovati upaljenu lampu nego danju
 - šum je ambijentalno osvetljenje koje je manje noću (veći SNR)
 - ako smo bliže kući lakše je detektovati upaljenu lampu
 - SNR se povećava sa smanjenjem rastojanja
 - ako je sijalica jača (40 W vs. 150 W) lakša je detekcija
 - SNR se povećava sa povećanjem snage emitovanja
 - cilj – povećati SNR koji se može „utrošiti“ na
 - povećanje brzine prenosa
 - povećanje rastojanja
 - ili pomalo na oba aspekta

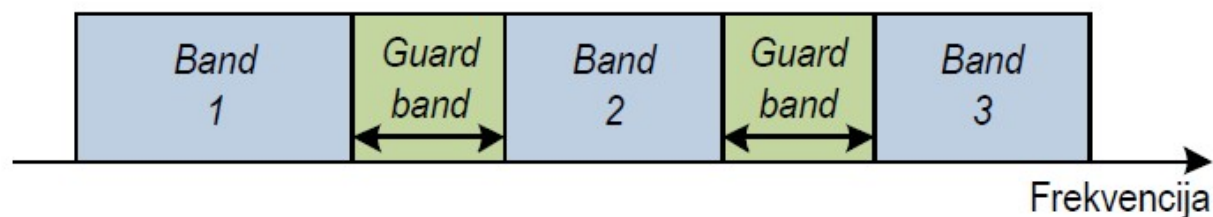
- *Multipath* – višestruka propagacija signala
 - signal se prostire različitim putanjama od izvora do odredišta
 - primljeni signal će biti zbir svih signala koji stižu do prijemnika



- u zavisnosti od faze signala postoje dve ekstremne situacije

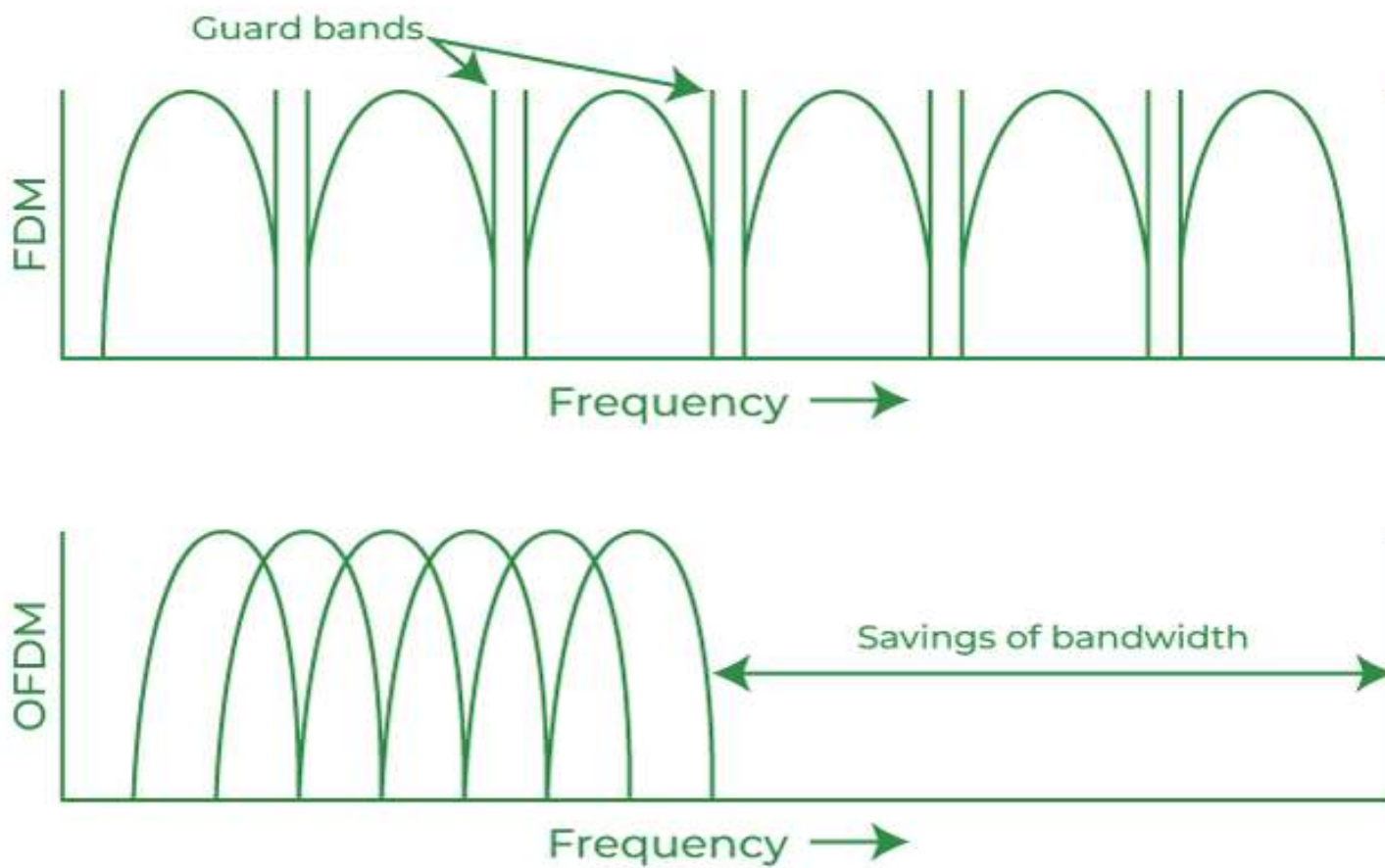


- **OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) modulacija
 - široki frekvencijski kanal se deli na više podkanala (podnosioci)
 - svakim podkanalom se prenosi deo podataka
- OFDM je povezana sa FDM tehnikom
 - svakom korisniku se dodeljuje jedan kanal, a zaštitni opseg se koristi za izbegavanje interferencije

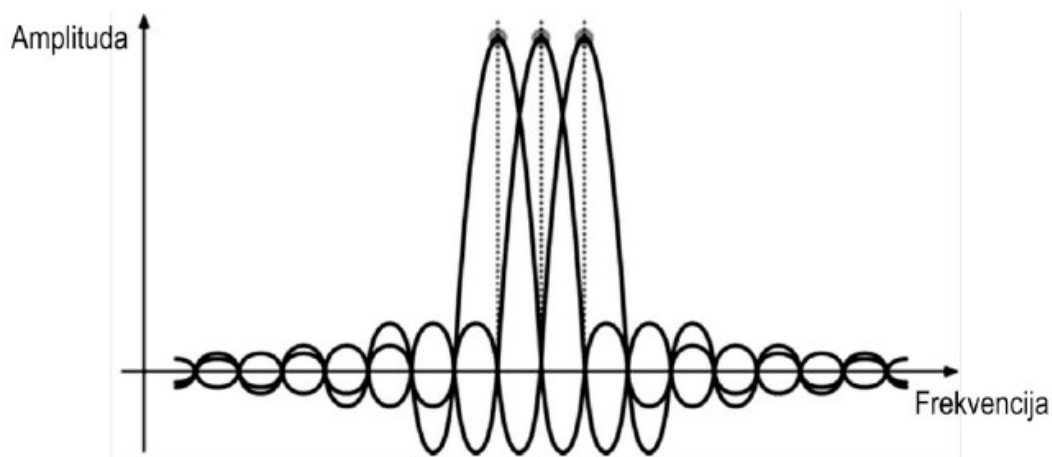


- zaštitni opsezi su zauzimali deo ukupnog opsega koji se mogao koristiti za prenos podataka

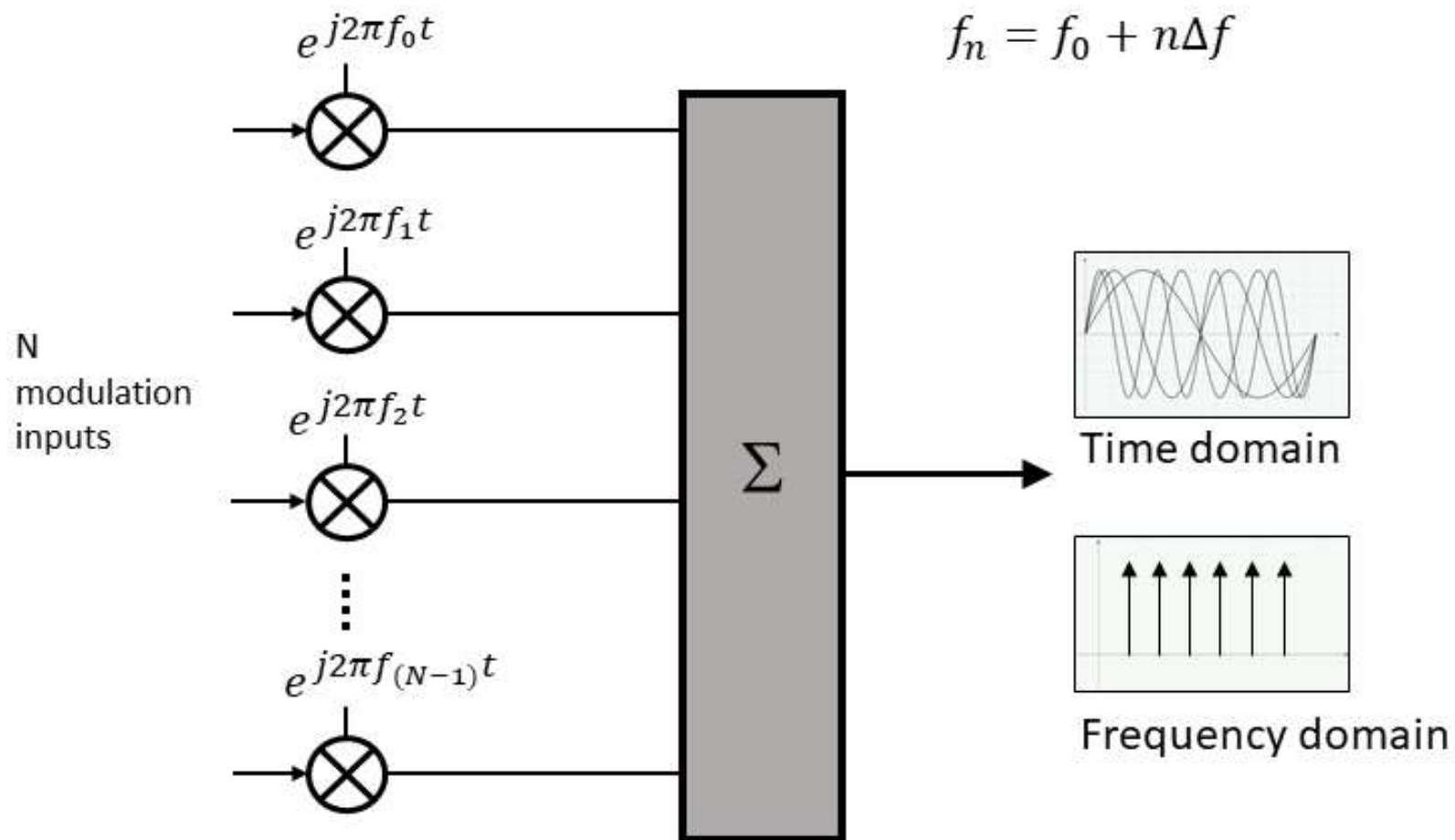
OFDM



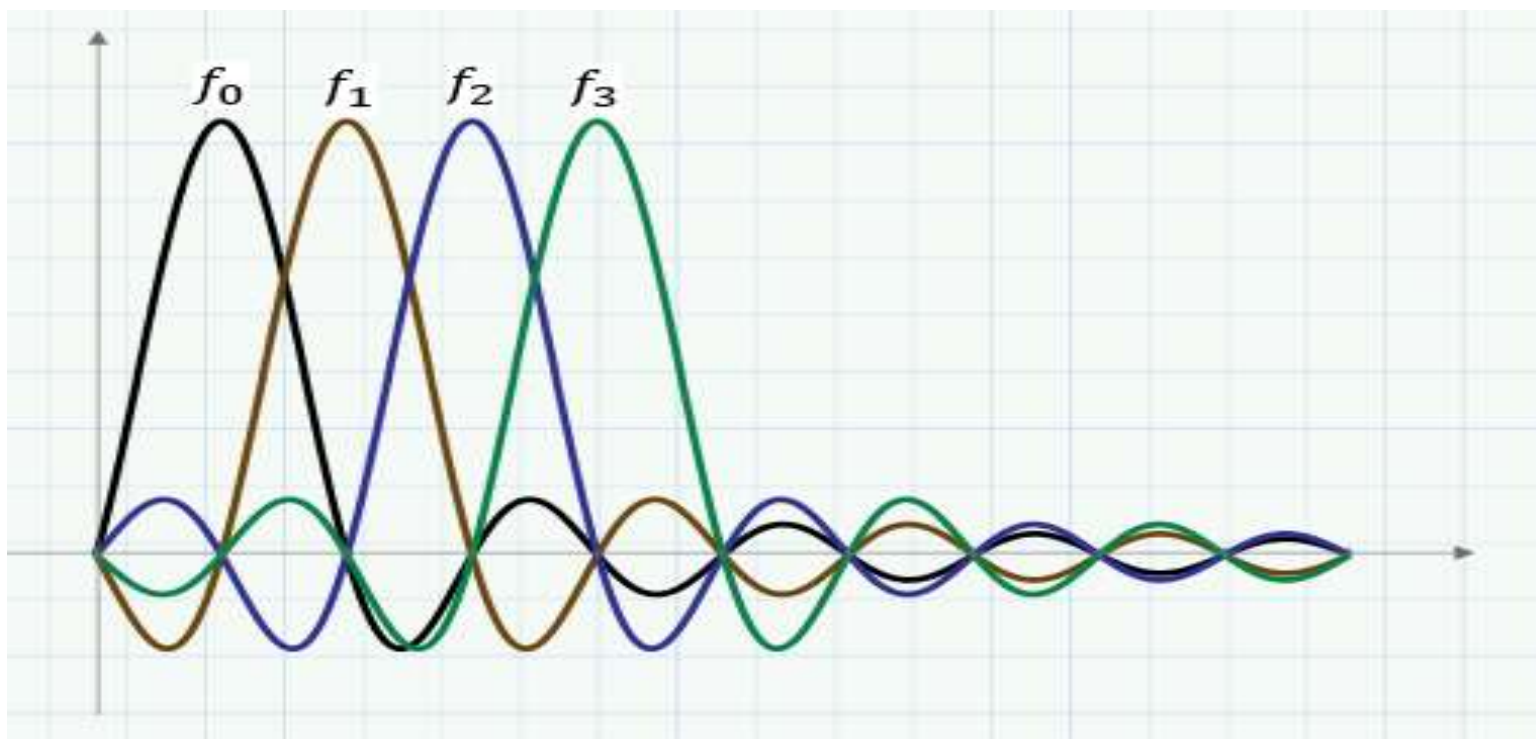
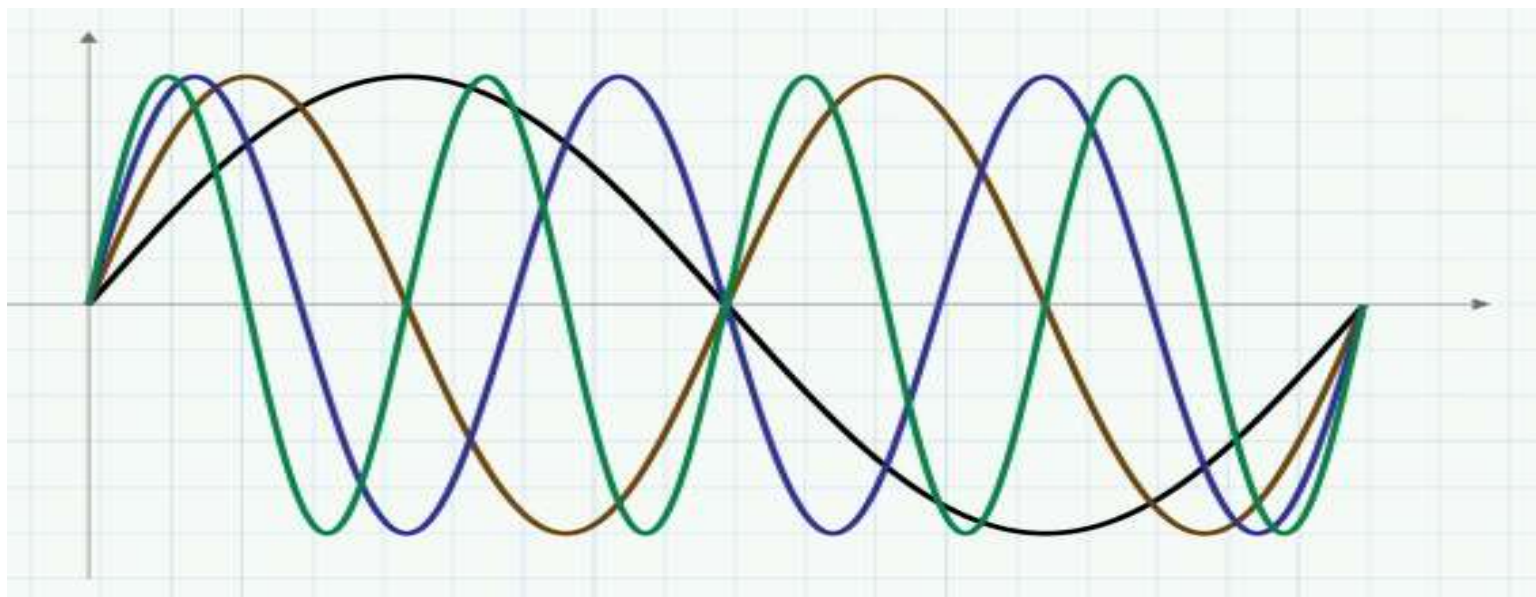
- OFDM bira kanale koji se preklapaju, ali ne interferiraju
 - koristi Furijeovu transformaciju
 - kanali se lako mogu razdvojiti jedan od drugog
 - kanali su „ortogonalni“ (nezavisni)
 - na svakoj frekvenciji podnosioca svi ostali podnosioci ne utiču na konačnu formu signala
 - u tačkama gde se nalaze maksimumi pojedinih podnosilaca, ostali nosioci imaju nultu amplitudu
 - podaci se prenose frekvencijama koje odgovaraju maksimumu podnosilaca



OFDM

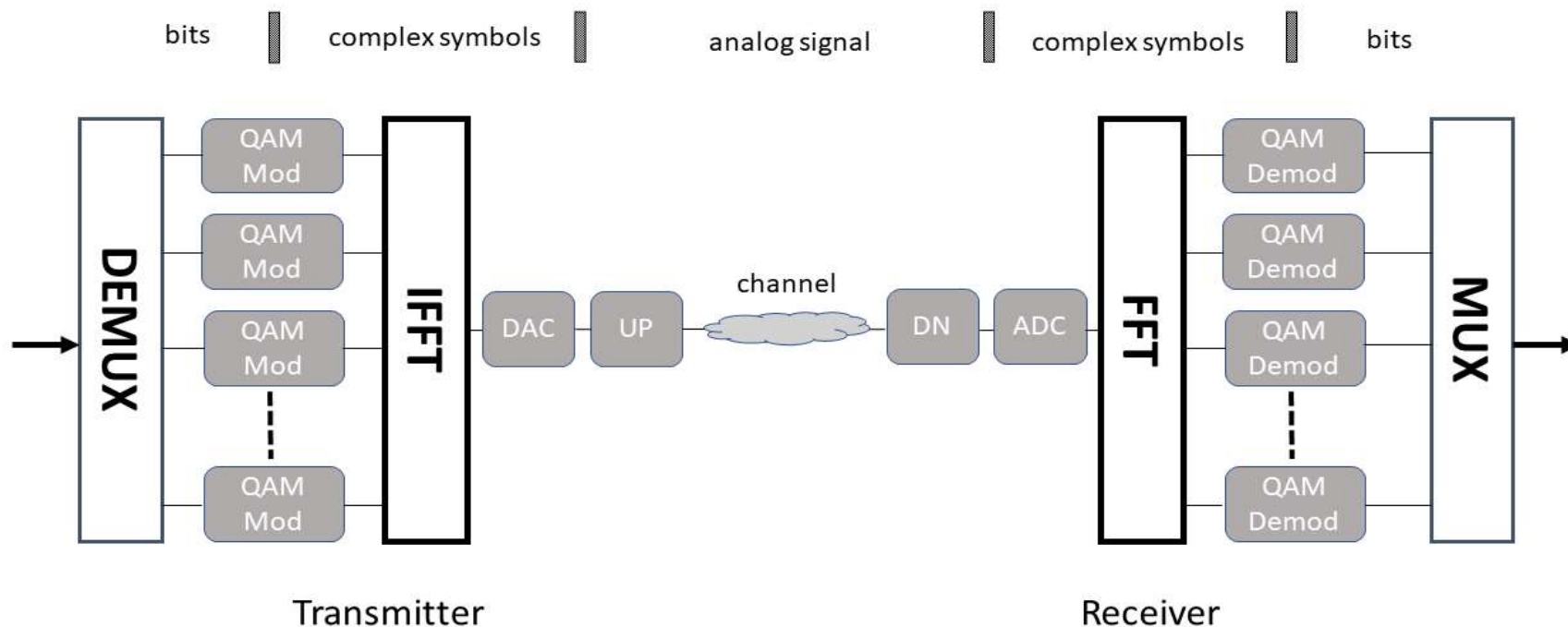


OFDM

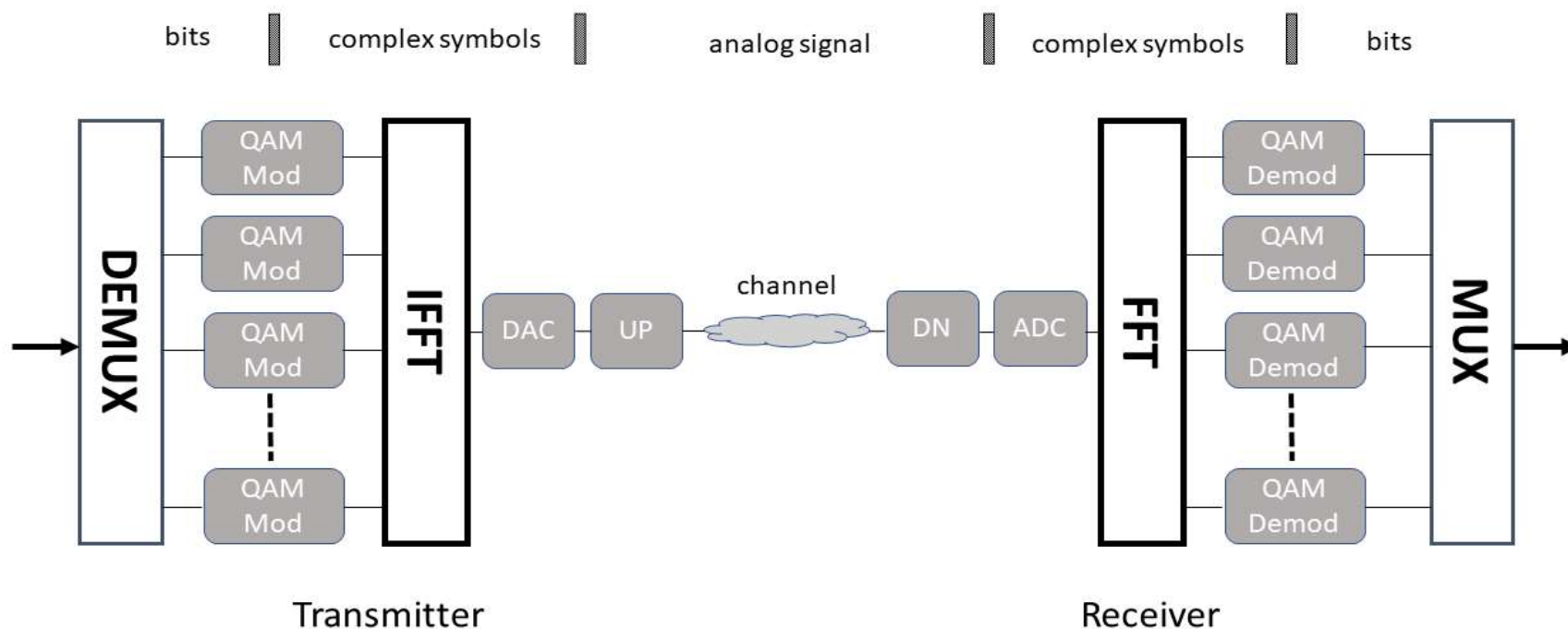


OFDM

Osnovni blok dijagram end-to-end OFDM sistema koji se sastoji od predajnika i prijemnika. Jedinstveni tok bitova se demultipleksira (DEMUXS) u manje tokove bitova koji se ulaze u pojedinačne QAM modulatore za svaki od N podnosaca. Ključni faktor za OFDM je upotreba inverzne brze Furijeove transformacije (IFFT) za efikasno kreiranje talasnog oblika u vremenskom domenu iz niza modulisanih podnosioca. Rezultujući OFDM signal je u digitalnom obliku koga digitalno-analogni konverter (DAC) pretvara u analogni signal. Ovaj signal osnovnog opsega se obično konvertuje naviše (UP) na višu frekvenciju (i možda pojačava) pre nego što se prenese preko bežičnog kanala.

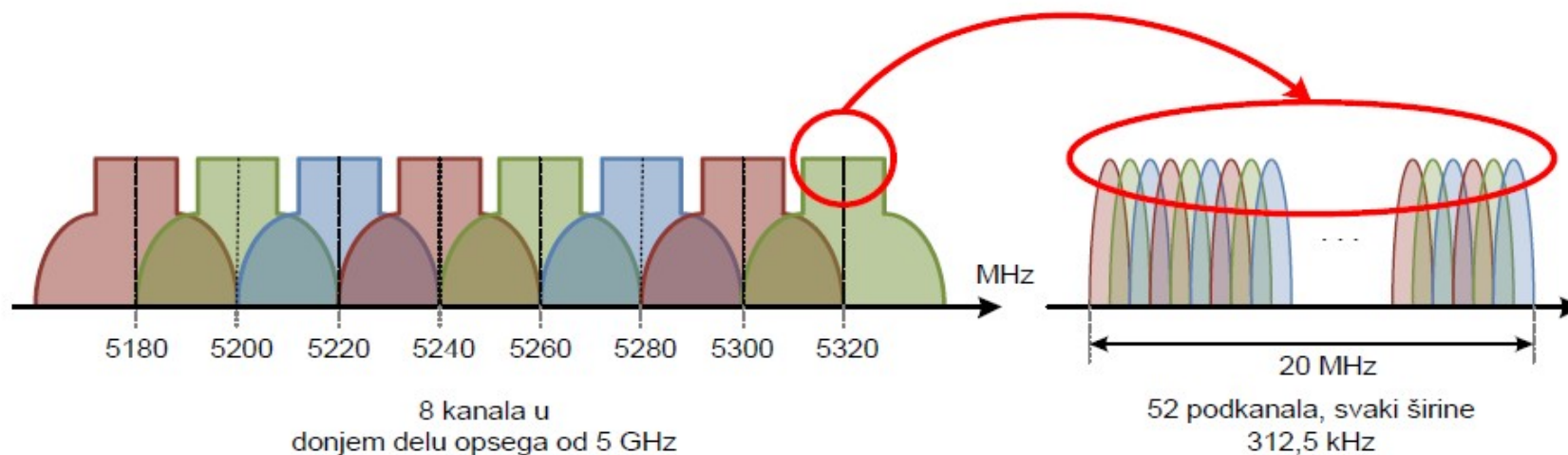


Na prijemniku, proces je obrnut. Analogni pretvarač (DN) pomera OFDM signal nazad u osnovni opseg. Analogno-digitalni konverter (ADC) pretvara signal u digitalni oblik i prosleđuje ga u FFT blok. FFT blok transformiše signal vremenskog domena nazad u niz podnosaca koji nose QAM modulaciju, u frekvencijskom domenu. QAM demodulatori reprodukuju tok bitova iz svakog podnosioca, koji se zatim multipleksira (MUX) da bi se ponovo kreirao originalni pojedinačni tok podataka.

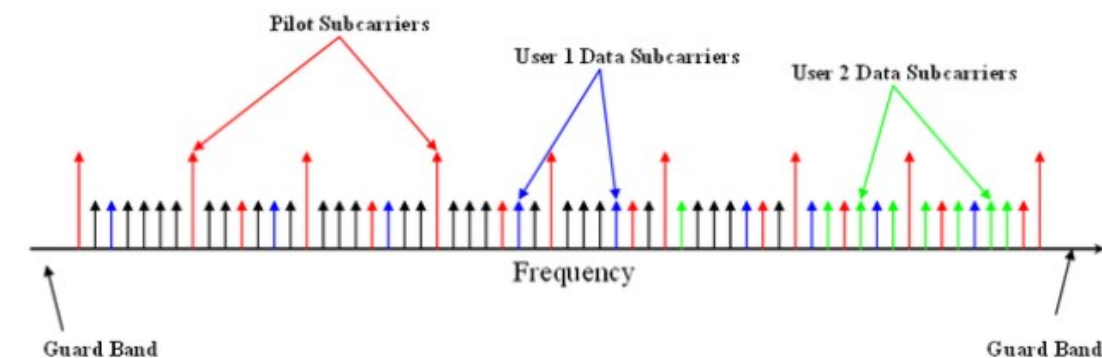


• OFDM

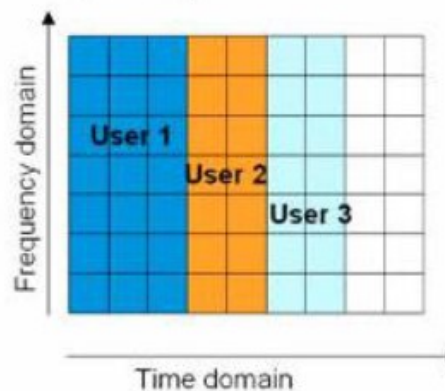
- ukupan opseg se deli na veći broj ortogonalnih podnosilaca
 - između njih se bira odgovarajući frekvencijski razmak
- svaki podnosilac se posebno moduliše i nosi deo podataka
 - tok podataka se deli na N paralelnih tokova
 - npr. 802.11a tok podataka deli na 52 niza bita (4 pilota + 48 podaci)
 - max brzina 54 Mbit/s



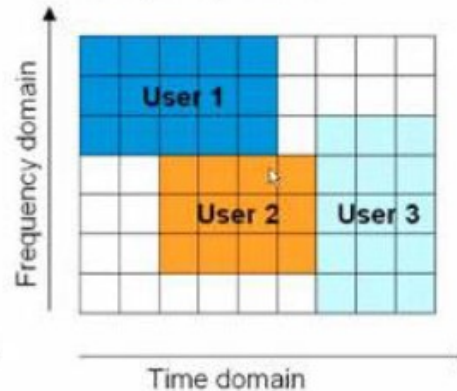
- OFDMA (OFDM Access)
 - različiti korisnici koriste različite podkanale u različito vreme



! OFDM allocates users in time domain only



! OFDMA allocates users in time and frequency domain

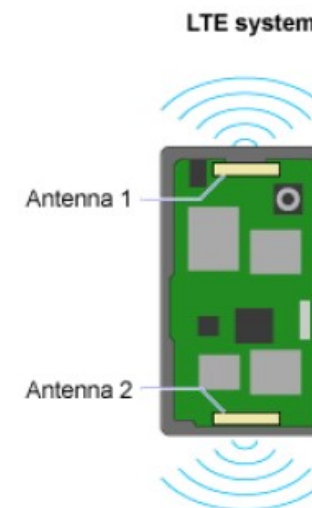
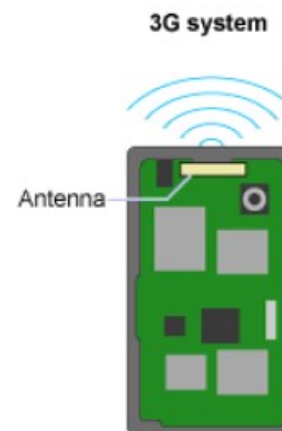


4G ključne tehnologije

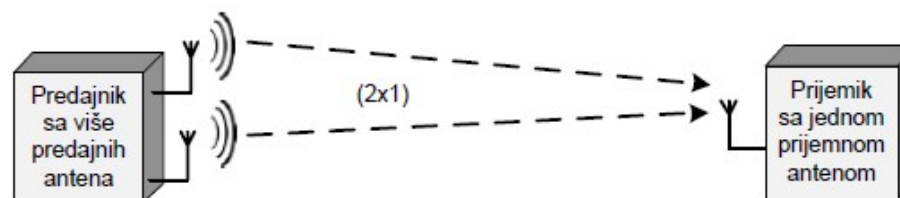
- **MIMO** (*Multiple-Input Multiple-Output*) tehnika
 - koristi više antena koje šalju i primaju podatke u isto vreme
 - koristi različite tehnike kako bi povećao SNR
 - usmeravanje predajnog snopa
 - prostorni diversiti
 - MRC (*Maximal-Ratio Combining*)



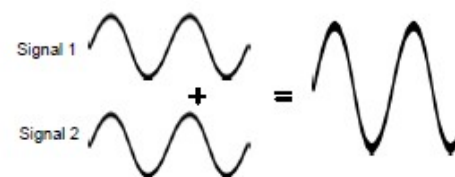
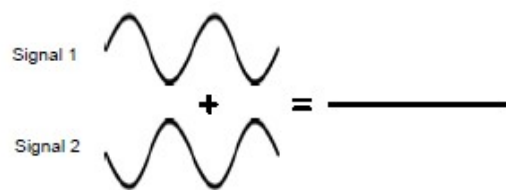
http://salestores.com/stores/images/images_747/AP713166028WR.jpg



- **Usmeravanje predajnog snopa, TxBF (*Transmit Beamforming*)**
 - više predajnih antena poboljšava signal na prijemu

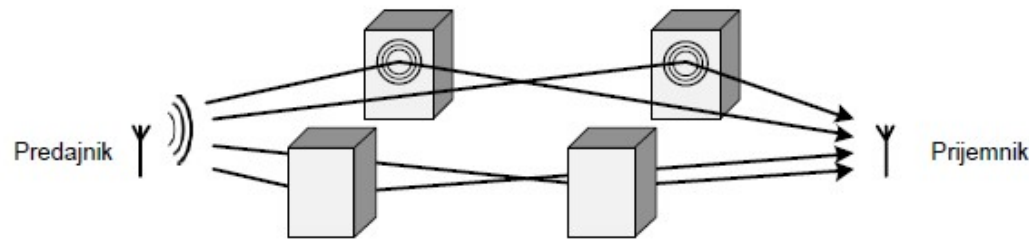


- signali prelaze različite putanje i na prijemu se sabiraju
 - razlika u fazi utiče na snagu primljenog signala – dva ekstrema



- faze na predaji se pažljivo podešavaju kako bi se povećao SNR
 - **predajnik mora dobiti povratnu informaciju od prijemnika**
 - povratne informacije validne kratko vreme (npr. prijemnik se pomera)
 - ne mogu se koristiti u slučaju brodkasta i multikasta

- **Prostorni diversiti** – koristi *multipath* fenomen
 - prepreke mogu da umanje snagu signala, ali signal može i da se odbije od njih (npr. metalna površina je kao „ogledalo“)
 - moguće „videti“ jednu AP više puta

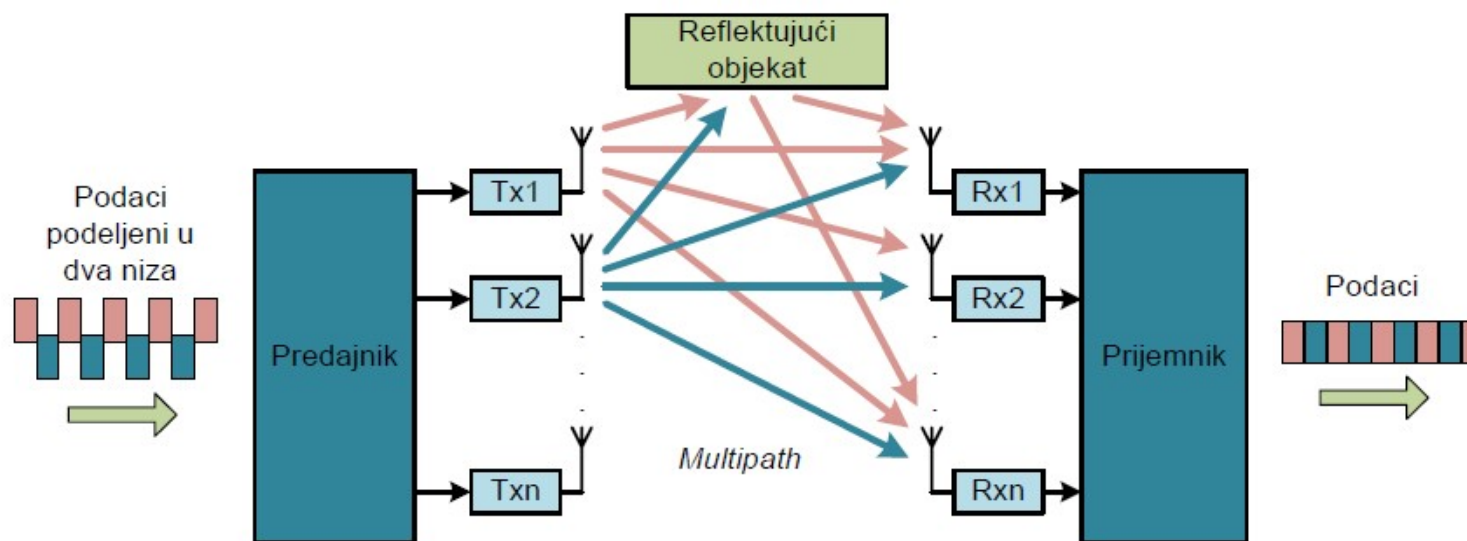


- MIMO sa više antena šalje radio signal u isto vreme
 - svaki signal se naziva prostorni tok (*spatial stream*)
 - fizički razmak između antena utiče da signal prelazi različitu putanju, a ta pojava se naziva prostorni diversiti (*spatial diversity*)
- Predajnik na istoj frekvenciji može da šalje i različiti tok podataka
 - to je **prostorni multipleksing**, SDM (*Space Division Multiplexing*)

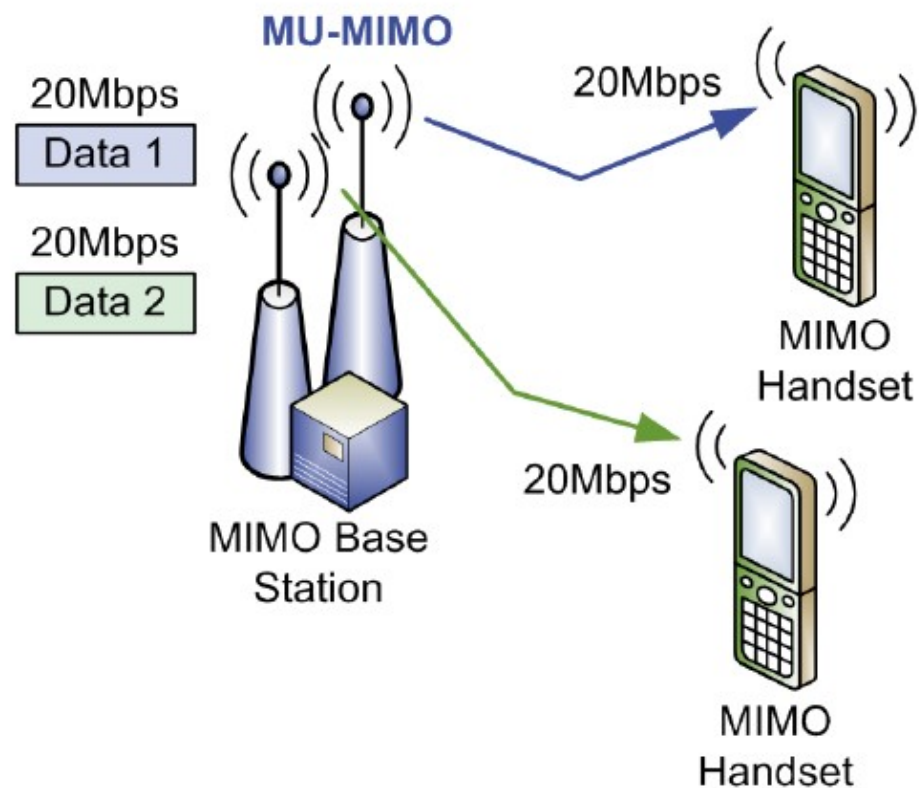
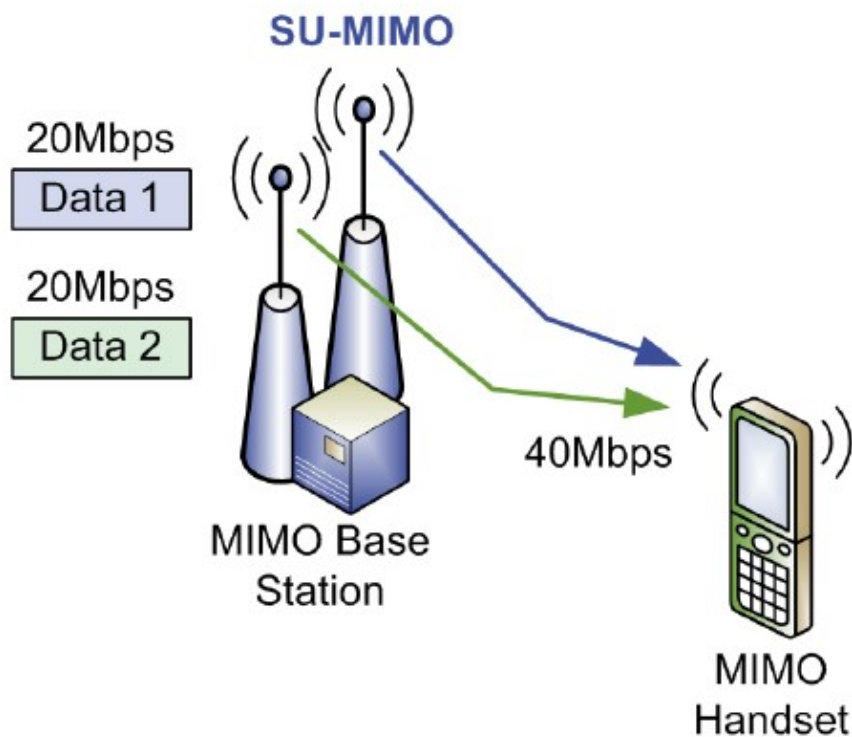
- Prostorni diversiti

- prijemni uređaj poseduje više antena/prijemnika

- prijemnik nezavisno dekodira signale koji stižu na njegovu antenu
 - radio signali sa svih prijemnika se kombinuju
 - korišćenjem složenog matematičkog proračuna dobija se mnogo bolji prijemni signal nego kada se koristi samo jedna prijemna antena ili kada se koristi TxBF tehnika



- **MU-MIMO** (*Multi User MIMO*)
 - povećava kapacitet (broj korisnika)



4G primena

- Srbija (MTS, Telenor, VIP) – proleće 2015.
- Nemačka – 2010.
- Skandinavija – 2010.
- Hrvatska – 2012.
- Slovenija – 2014.
- Italija – 2014.
- UK – 2012.
- SAD – većina nudi LTE, a neki WiMAX
- WiMAX je bio popularan 2005-2010.

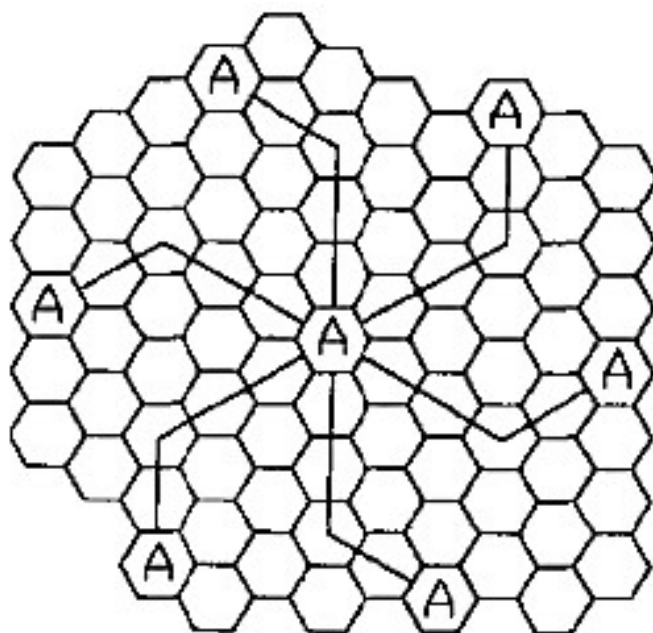
Primer 1

Za celularni sistem sa ukupno 396 dodeljenih govornih kanala izračunati srednji odnos S/I i br. kanal za faktor ponovne upotrebe ćelija N jednak 4, 7 i 12.

Pretpostaviti da su antene omnidirekzione i da je broj interferencija na istom kanalu u prvom sloju jednak šest. Za modelovanje gubitaka pri prostiranju uzeti koeficijent $\gamma = 4$.

Koristiti sledeći odnos:

$$N = \frac{1}{3} \left[6 \left(\frac{S}{I} \right) \right]^{\frac{2}{\gamma}}$$



Primer 1

Koristiti sledeci odnos:

$$N = \frac{1}{3} \left[6 \left(\frac{S}{I} \right) \right]^{\frac{2}{\gamma}}$$

Resenje

za $N = 4$, broj kanala po celiji je $= K/N = 396/4 = 99$.

$$N = \frac{1}{3} \left[6 \left(\frac{S}{I} \right) \right]^{\frac{2}{\gamma}}$$

$$4 = \frac{1}{3} \left[6 \left(\frac{S}{I} \right) \right]^{\frac{2}{4}}$$

$$\frac{S}{I} = 24 \text{ (13.8 dB)}$$

Primer 1

za $N = 7$, broj kanala po celiji je $= K/N = 396/7 = 56$.

$S/I = 73.5 \rightarrow 18.7 \text{ dB}$

za $N = 12$, broj kanala po celiji je $= K/N = 396/12 = 33$.

$S/I = 21.6 \rightarrow 23.3 \text{ dB}$

N	Br kanala po celiji	Sr. S/I (dB)
4	99	13.8
7	56	18.7
12	33	23.3

Iz rezultata je evidentno da povećanjem faktora ponovne upotrebe frekvencije sa $N = 4$ na $N = 12$, srednji odnos S/I je poboljšán sa 13,8 na 23,3 dB.

Primer 2.

Ako je dupleks bežičnom ćelijskom sistemu dodeljen ukupni spektar od 20 MHz a svaki simpleks kanal ima 25 kHz RF propusni opseg, pronađi

a) Broj dupleks kanala

b) Ukupan broj kanala po ćelijskoj lokaciji ako se koristi ponovna upotreba frekvencija od $N=4$ ćelije.

Za potrebe zadatka uzeti da se četiri dupleks para koristi za potrebe kontrolnih kanala.

a) Ukupan broj simpleks kanala je:

$$20 \cdot 10^6 / 25 \cdot 10^3 = 800$$

Ukupan broj dupleks kanala je $C = 800/2=400$

Od toga su 4 kanal kontrolni tako da je ukupan br korisničkih dupleks kanala:
 $400 - 4 = 396$

Primer 2.

b) Ukupan broj dupleks kanala po celiji za $N = 4$ je:

$$C_c = 396/4 = 99$$

Primer 3

Da bi se utvrdio saobraćaj po kanalu, prikupljeni su sledeći podaci tokom perioda od 90 minuta (videti tabelu). Izračunati intenzitet saobraćaja u Erlang jedinicama.

Traffic data used to estimate traffic intensity.

Call no.	Duration of call (s)
1	60
2	74
3	80
4	90
5	92
6	70
7	96
8	48
9	64
10	126

Primer 3

Resenje

Prosecan br poziva u jedinici vremena:

$$\lambda = \frac{10}{1.5} = 6.667 \text{ calls / hour}$$

Prosecno trajanje poziva:

$$H = \frac{(60 + 74 + 80 + 90 + 92 + 70 + 96 + 48 + 64 + 126)}{10} = 80 \text{ Sec/call}$$

Intenzitet saobraćaja:

$$A_u = \lambda H = 6.667 \times \frac{80}{3600} = 0.148 \text{ Erlangs :}$$

Traffic data used to estimate traffic intensity.

Call no.	Duration of call (s)
1	60
2	74
3	80
4	90
5	92
6	70
7	96
8	48
9	64
10	126

Primer 4

U prikazanoj tabeli je zabeležena aktivnost jedne korisničke linije tokom osmočasovnog perioda od 9:00 do 17:00 časova. Pronaci intenzitet saobraćaja:

a) tokom osmočasovnog perioda kao i

b) tokom vremena najintenzivnijeg saobraćaja koje je između 16:00 i 17:00 časova.

Call no.	Call started	Call ended	Call duration (min.)
1	9:15	9:18	3.0
2	9:31	9:41	10.0
3	10:17	10:24	7.0
4	10:24	10:34	10.0
5	10:37	10:42	5.0
6	10:55	11:00	5.0
7	12:01	12:02	1.0
8	2:09	2:14	5.0
9	3:15	3:30	15.0
10	4:01	4:35	34.0
11	4:38	4:43	5.0

Primer 4

Resenje

a) tokom osmočasovnog perioda

Prosecan br poziva u jedinici vremena:

$$\lambda = \frac{11}{8} = 1.375 \text{ calls / hour}$$

Prosecno trajanje poziva:

$$H = \frac{100}{11} \times \frac{1}{60} = 0.1515 \text{ hours / call}$$

Intenzitet saobracaja:

$$A = \lambda H = 1.375 \times 0.1515 = 0.208 \text{ Erlangs}$$

Primer 4

Resenje

b) tokom vremena najintenzivnijeg saobraćaja (16:00 - 17:00 časova).
Prosecan br poziva u jedinici vremena:

$$\lambda = 2/1 = 2 \text{ calls/hour}$$

Prosecno trajanje poziva:

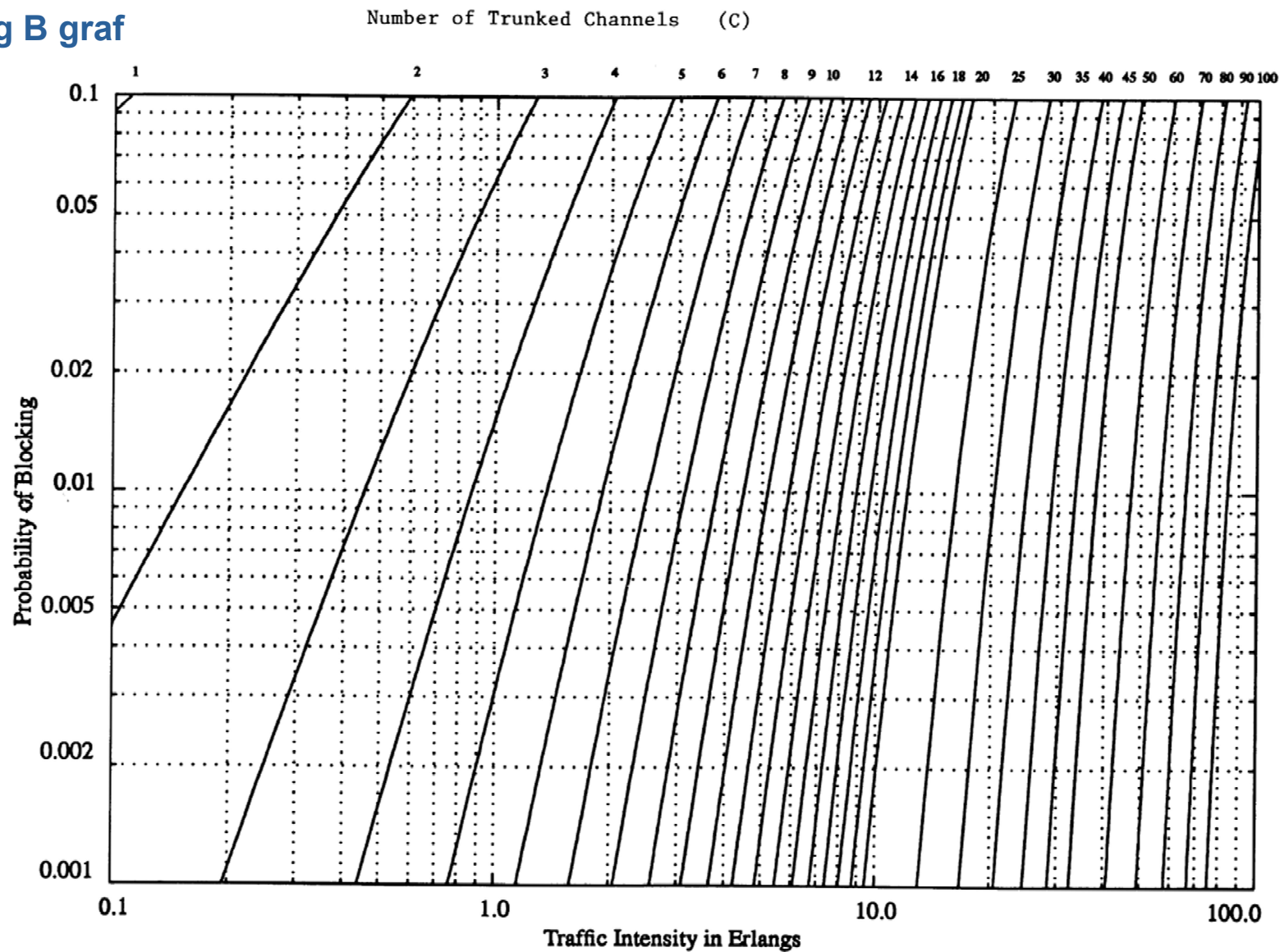
$$H = \frac{34 + 5}{2} = 19.5 \text{ min/call} = 0.325 \text{ hours/call}$$

Intenzitet saobraćaja:

$$A = \lambda H = 2 \times 0.325 = 0.65 \text{ Erlangs}$$

Dakle intenzitet saobraćaja tokom vremena najintenzivnijeg saobraćaja je $0.65/0.208 = 3.125$ puta veci u odnosu na prosečni intenzitet saobraćaja na liniji u toku osmocasovnog perioda.

Erlang B graf



Primer 5.

Koliko korisnika može biti podržano za verovatnoću blokiranja od 0,5% za sledeći broj trunk kanala u sistemu sa blokiranjem poziva?

a. 5

b. 10

Pretpostavimo da svaki korisnik generiše $A_U = 0,1$ Erlanga saobraćaja.

Rešenje:

(a) Iz Erlang B grafikona dobijamo $A \approx 1$

Dakle, ukupan broj korisnika, $U = A/A_U = 1 / 0,1 = 10$ korisnika.

(b) Iz Erlang B grafikona dobijamo $A \approx 4$

Dakle, ukupan broj korisnika, $U = A/A_U = 4 / 0,1 = 40$ korisnika.