

1.

- a. *Potrebno je odrediti potrebnu teoretsku širinu pojasa za GSM sustav ako se pretpostavi samo MSK modulacija bez Gaussove pretfiltracije.*
- b. *Koliko je trajanje jednog simbola kod GSM-a?*
- c. *Što kod GMSK modulacije predstavlja BT umnožak i koliki je? Kolika je granična frekvencija niskopropusnog Gaussovog filtra?*

Rj:

- a) Broj bitova u normalnom odsječku (računajući i zaštitni pojas) je 156,25. Trajanje odsječka je 576,88 μ s. Brzina bita (simbola) je $R_b = 156,25 / 576,88 \mu s = 270,85$ kb/s. Širina latice je 1,5 R_b tako da je $B = 406,28$ kHz.
- a) Trajanje simbola $T_s = T_b = 1/R_b = 3,692 \mu s$.
- b) Umnožak predstavlja ustvari normiranu širinu filtra za oblikovanje (uz poznato trajanje impulsa). Kod GSM sustava ta vrijednost je $B \cdot T = 0,3$. Iz vrijednosti T_s dobije se $B = 81,257$ kHz.

2. *Komunikacijskim sustavom potrebno je prenijeti podatke brzine 35 Mbit/s kanalom širine pojasa 15 MHz. Faktor strmine β kosinus kvadrat filtra iznosi 0,5. Potrebno je odabrati QAM modulacijski postupak kojim se može ostvariti zadani prijenos podataka uz najveću moguću otpornost na šum.*

Napomena: QAM je linearni modulacijski postupak

Rj: Odgovor 16 QAM

$$B = B_N (1 + \beta) \Rightarrow B_N = \frac{B}{(1 + \beta)} = \frac{15}{(1 + 0,5)} = 10 \text{ MHz},$$

$$R_s = B_N = 10 \text{ MBd, (realni filter : } R_s < B \text{ tj. } R_s \leq B_N)$$

$$n = \frac{R_b}{R_s} = \frac{35}{10} = 3,5 \Rightarrow n = 4 \text{ bita po simbolu (barem)}$$

$$M = 2^n = 2^4 = 16 \text{ simbola}$$

3. Dan je AMPS sustav sa 300 govornih kanala, veličinom grozda $N = 7$ te sa omnidirekcionalnim antenama baznih stanica. Sve bazne stanice su smještene u sredini ćelije i zrače jednaku snagu u silaznoj vezi. Vjerojatnost blokiranja se uzima da je 2%. Potrebno je odrediti:

- Maksimalni promet po ćeliji u Erl.
- Za grozd $N = 7$, omnidirekcionalne antene, broj interferera 6 te uz eksponent staze $n = 4$ odrediti odnos signala prema interferenciji SIR (S/I).
- Ukoliko se želi povećati promet potrebno je smanjiti veličine grozda. Smanjenje grozda povećava interferenciju pa je potrebno izvršiti sektoriranje ćelija. Potrebno je odrediti minimalni SIR za veličine grozdova $N = 3$ i 4 uz sektoriranje od 3 i 6 dijelova ćelije. Potrebno je odrediti koja vrijednost N zadovoljava ili je bolja od vrijednosti SIR-a pod b). Broj interferera prilikom sektoriranja može ovisiti o veličini grozda (pripazite kod $N=3!$ - skica) pa je potrebno na to obratiti pažnju.
- Za svaku konfiguraciju ($N = 3,4$) odrediti maksimalni promet po ćeliji uz vjerojatnost blokiranja od 2% i 300 govornih kanala. Pretpostaviti jednoliku raspodjelu korisnika što daje jednaki broj kanala po svakom sektoru.

Rj:

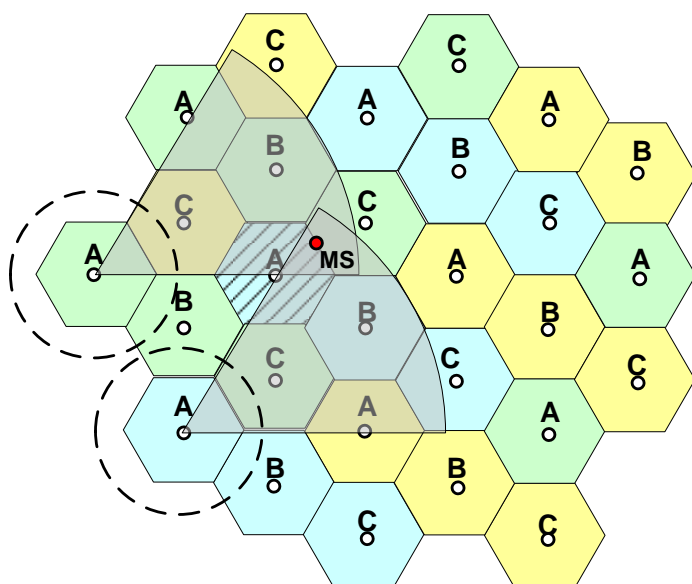
a) $B = 2\%$, broj kanala po ćeliji je $N = 300 / 7 = 42$. Iz tablice se dobije promet od 32,836 Erl.

b)

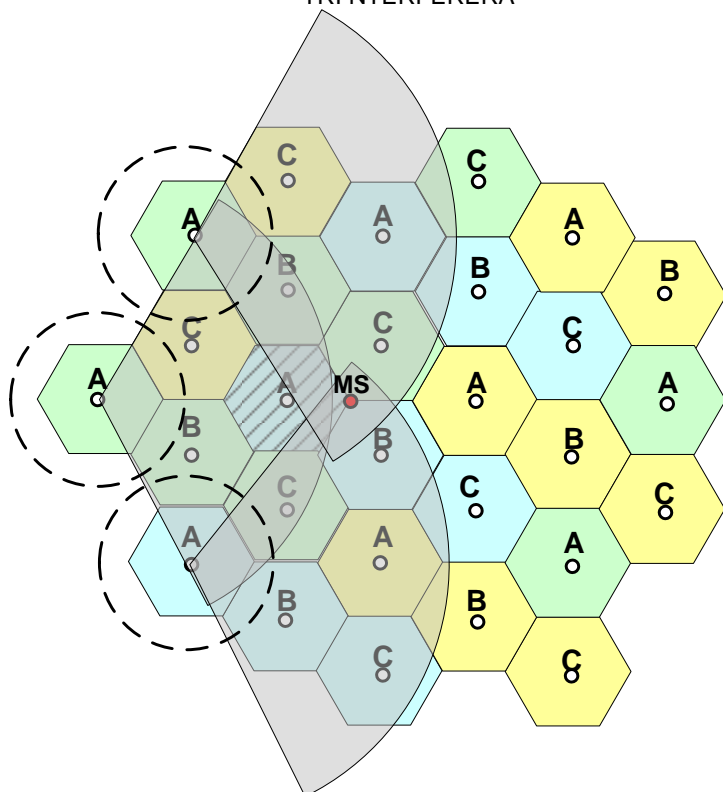
$$SIR = 10 \log_{10} \left[\frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0} \right] \text{ (dB)} \quad \text{Uz } N = 7, n = 4 \text{ te } i_0 = 6 \text{ dobije se } SIR = 18,66 \text{ dB.}$$

Grozd od tri ćelije, sektoriranje 6 i 3.

SEKTORIRANJE 60 STUPNJEVA
DVA INTERFERERA

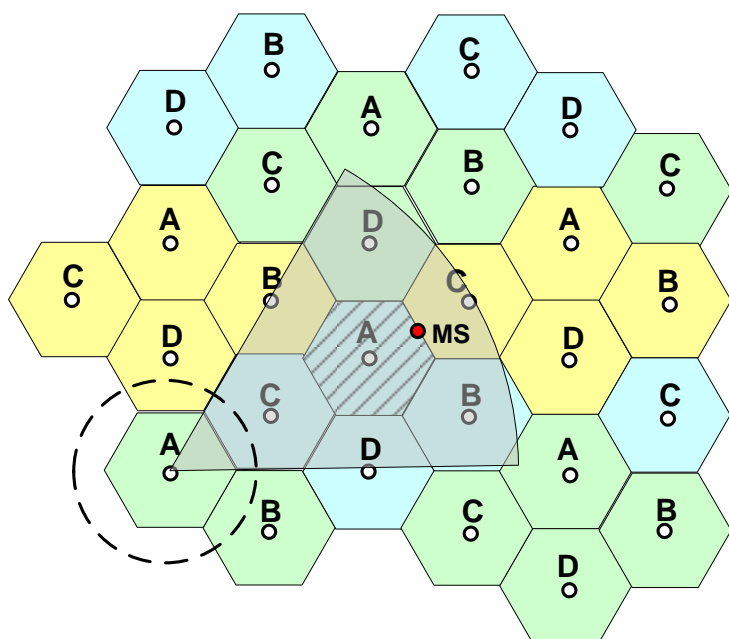


SEKTORIRANJE 120 STUPNJEVA
TRI INTERFERERA

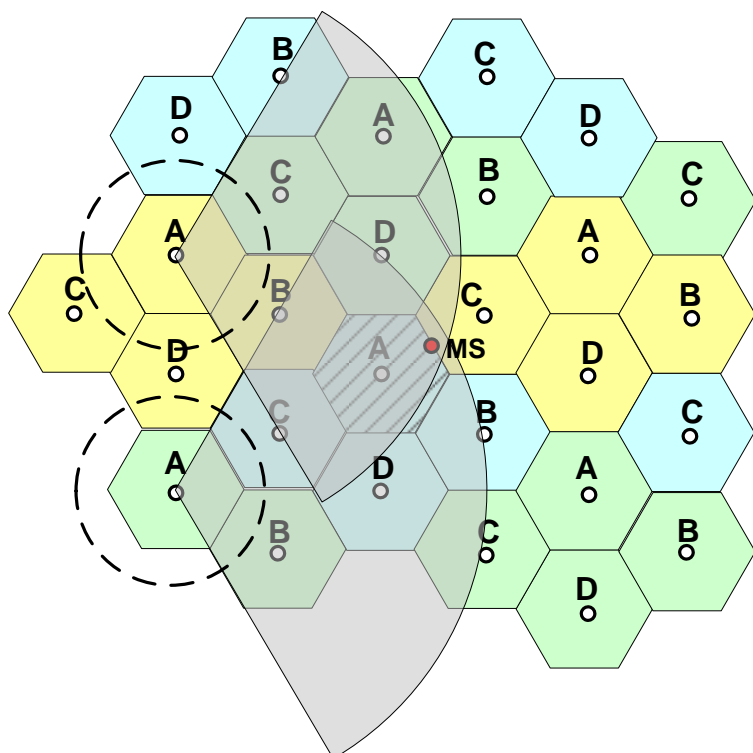


Grozd od četiri ćelije, sektoriranje 6 i 3.

SEKTORIRANJE 60 STUPNJEVA
JEDAN INTERFERER



SEKTORIRANJE 120 STUPNJEVA
DVA INTERFERERA



U tablici je dan pregled broja interferera za svaki pojedini slučaj.

N	sektoriranje 6	sektoriranje 3
3	2	3
4	1	2

Minimalna vrijednost SIR-a za pojedino sektoriranje.

N	sektoriranje 6	sektoriranje 3
3	16,07 dB	14,31 dB
4	21,58 dB	18,57 dB

Vidljivo je da grozd $N = 3$ nije moguće koristiti, dok su obje vrijednosti za grozd $N = 4$ prihvatljive.

d)

N	sektoriranje 6			sektoriranje 3		
	Broj kanala po ćeliji	Broj kanala po sektoru	Promet Erl.	Broj kanala po ćeliji	Broj kanala po sektoru	Promet Erl.
3	100	16	58,97	100	33	73,88
4	75	12	39,69	75	25	52,52

- 4. U omnidirekcionalnom ćelijskom sustavu minimalni odnos korisnog signala prema interferenciji je 18 dB. Ukoliko je eksponent prigušenja staze 3,8; a ćelija se sa istim kanalima ponavlja svakih 4,8 km, koliki je maksimalni mogući polumjer ćelije? (Koristiti aproksimativni izraz!).**

Rj:

$$10 \cdot \log\left(\frac{C}{I}\right) = 18 \text{ dB}, \quad n = 3,8 \quad D = 4,8 \text{ km}$$

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{6} \left(\frac{D}{R}\right)^n \Rightarrow \left(\frac{D}{R}\right)^n = 6 \cdot \frac{C}{I}$$

$$\log\left(\frac{D}{R}\right) = \frac{10 \cdot \log(C/I) + 10 \cdot \log 6}{10 \cdot n} = 0,678 \Rightarrow \frac{D}{R} = 4,769 \Rightarrow \underline{R \approx 1 \text{ km}}$$

5. Napišite kako izgleda ortogonalni kod za proširenje oznake $c_{8,2}$.

Rj: 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1

6. Jednom korisniku su kod LTE-a dodijeljena 8 RB-a (Resource Block). Koristi se isključivo 16-QAM modulacijski postupak. Koliko bitova je poslano tom korisniku?

Rj:

1 RB ima 12 podnosilaca i 7 simbola tj. ima $12 \cdot 7$ elemenata dodjeljivanja (RE)

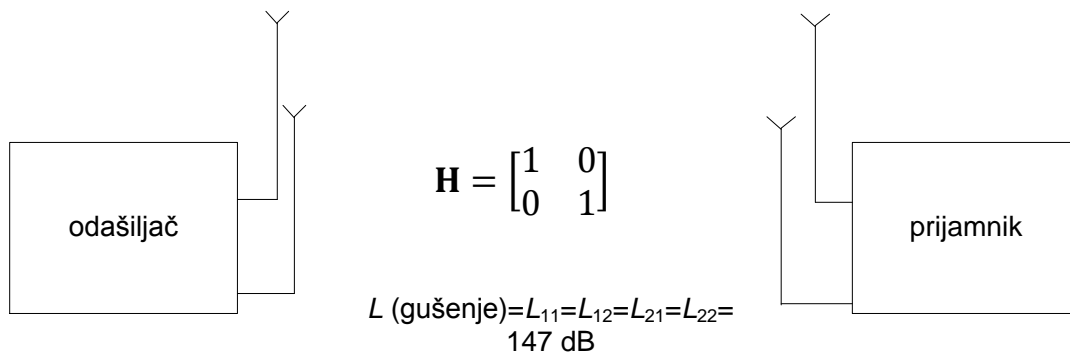
Svaki element dodjeljivanja je 16-QAM moduliran tj. nosi 4 bita.

Znači: 1 RB= $12 \cdot 7 \cdot 4 = 336$ bita; 8RB=2688 bita

7. Zadan je MIMO sustav prema slici. Dobitci svih antena su jednaki 1, a gubitke u kabelima možemo zanemariti. Izračunajte spektralnu učinkovitost ovog MIMO sustava. Izračunajte spektralnu učinkovitost SISO sustava gdje vrijedi: $P_{TX}=1$ W, L (gušenje) = 147 dB, $H=1$ i $\sigma_{RX}^2 = -140$ dBm.

$$P_{TX1}=P_{TX2}=0,5 \text{ W}$$

$$\sigma_{RX1}^2 = \sigma_{RX2}^2 = -140 \text{ dBm}$$



$$S_1=S_2= 27 \text{ dBm} - 147 \text{ dB} = -120 \text{ dBm}$$

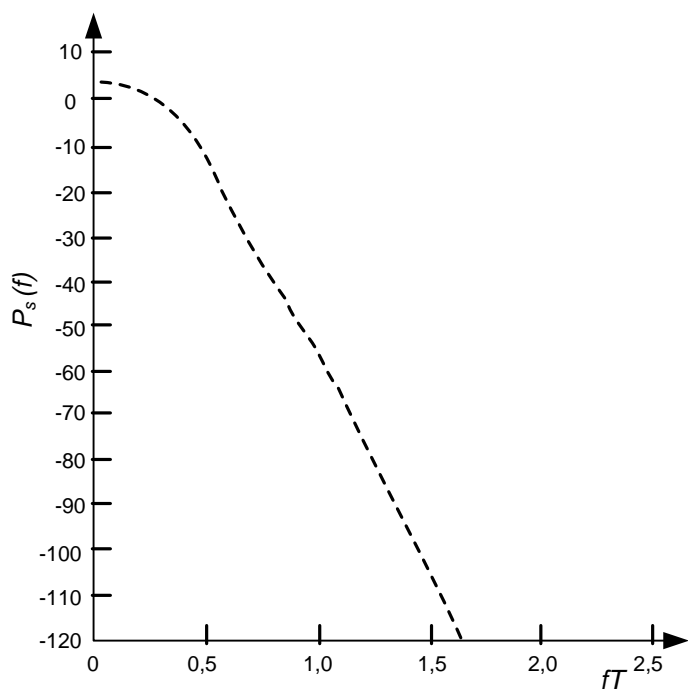
$S_1/N_1=20$ dB tj. 100 puta, isto vrijedi i za S_2/N_2

$$\frac{C}{B} = \log_2 \left(1 + \frac{S_1}{N_1} \right) + \log_2 \left(1 + \frac{S_2}{N_2} \right) = 2 \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S_1}{N_1} \right) = 2 \cdot \log_2(101) = 13,3 \text{ bit/s/Hz}$$

SISO:

$$\frac{C}{B} = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) = 7,65 \text{ bit/s/Hz}$$

8. Na slici se nalazi spektar GMSK moduliranog signala dobiven uz Gaussov filter koji ima $BT=0,2$. Neka je trajanje bita $5\mu s$. Koliki spektar zauzima (koju širinu kanala) tako modulirani signal ako zanemarimo sve spektralne komponente koje su manje od -20 dB. Izračunajte spektralnu učinkovitost ovog modulacijskog postupka uz tako definiranu širinu spektra.



Rj:

Iz slike očitamo $fT \approx 0,55$ za -20 dB

$T = 5 \mu s$; iz toga slijedi $f = 110$ kHz

Širina spektra moduliranog signala je $2f$ tj. 220 kHz

spektralna učinkovitost = $1/(5\mu s / 220 \text{ kHz}) = 0,91$ bit/s/Hz