



# Računarske komunikacije

Prof. dr Enis Kočan ([enisk@ucg.ac.me](mailto:enisk@ucg.ac.me))

*Saradnik:* Dr Slavica Tomović ([slavicat@ucg.ac.me](mailto:slavicat@ucg.ac.me))

# SADRŽAJ KURSA

---

1. Uvod. Osnovni principi računarskih komunikacija
2. Signali. Vrste prenosa signala. Harmonijska analiza signala
3. Sistemi prenosa. Izobličenja pri prenosu signala
4. Obrada signala kodiranjem. Uticaj šuma na prenos signala
5. Obrada signala modulacijom. Osnovni tipovi digitalnih modulacija
6. Medijumi za prenos
7. Pravila strukturnog kabliranja
- 8. Tehnike multipleksiranja. Prenos višestrukim nosiocima**
9. Detekcija i korekcija greške. Kontrolni protokoli na nivou linka
10. Tehnike za poboljšanje veze na bežičnom linku. Analiza kvaliteta prenosa (BER, PER, kapacitet sistema)
11. Osnovni parametri fizičkog sloja za IEEE 802.11 grupu standarda
12. Komunikaciona rješenja za IoT mreže
13. Trendovi u računarskim komunikacijama

# Termin 8 - Sadržaj

---

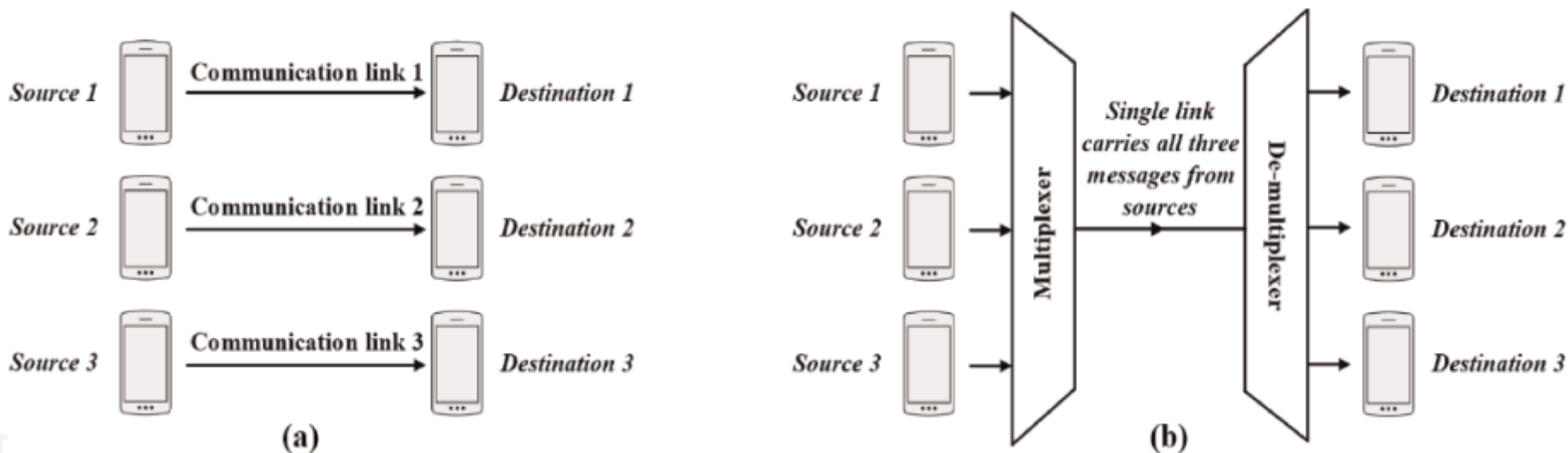
- **Pojam i vrste multipleksiranja**
- Multipleksiranje u sistemima realizovanim vođenim medijumima za prenos
- Multipleksiranje u bežičnim komunikacionim sistemima
- Prenos višestrukim nosiocima

# Pojam i vrste multipleksiranja

---

- Ogromna većina komunikacionih sistema predstavlja više-korisničke (*multi-user*) sisteme, a samo su pojedini tipovi komunikacija i dalje tipa komunikacije od tačke-do tačke.
- U svim više-korisničkim sistemima teži se da se što bolje iskoriste zajednički resursi, kao što su medijumi za prenos
- Tehnika koja omogućava da se više različitih korisničkih signala prenosi istovremeno jednim medijumom za prenos, na način da je na prijemu moguće da svaki korisnik izvuče i demoduliše željeni signal, se naziva **multipleksiranje**.
- Multipleksiranje donosi sledeće prednosti komunikacionim sistemima:
  - Ušteda komunikacionih resursa
  - Povećanje kapaciteta mreže
  - Poboljšana konektivnost (eliminisanje potrebe za namjenskim linkovima)
  - Smanjenje cijene komunikacionih usluga

# Pojam i vrste multipleksiranja



*Komunikacioni sistem sa tri izvora i tri korisnika:  
a) bez multipleksiranja, b) sa multipleksiranjem*

- U zavisnosti od potreba određenih komunikacionih sistema i potreba aplikacija, spektra koji je na raspolaganju, hardverskih mogućnosti i dr., kreira se odgovarajući multipleksni sistem u domenu vremena, frekvencije, koda, talasne dužine,...
- Na prijemu, uređaj koji se označava kao **demultiplekser**, omogućava razdvajanje multipleksiranih signala

# Pojam i vrste multipleksiranja

---

---

- Osnovne vrste multipleksa koji se koriste u sistemima sa vođenim medijumima za prenos su:
  - Vremensko multipleksiranje (**TDM** – *Time Division Multiplexing*)
  - Frekvencijsko multipleksiranje (**FDM** – *Frequency Division Multiplexing*)
  - Statističko multipleksiranje (**SM** – *Statistical Multiplexing*)
  - Multipleksiranje na bazi talasnih dužina (**WDM** – *Wavelength Division Multiplexing*), koje se koristi isključivo u optičkim komunikacijama.
- U bežičnim komunikacionim sistemima se koriste
  - Vremensko multipleksiranje
  - Frekvencijsko multipleksiranje
  - Kodno multipleksiranje (**CDM** – *Code Division Multiplexing*)
  - Ortogonalno frekvencijsko multipleksiranje (**OFDMA** – *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)
  - Prostorno multipleksiranje (**SDM** – *Space Division Multiplexing*) ...

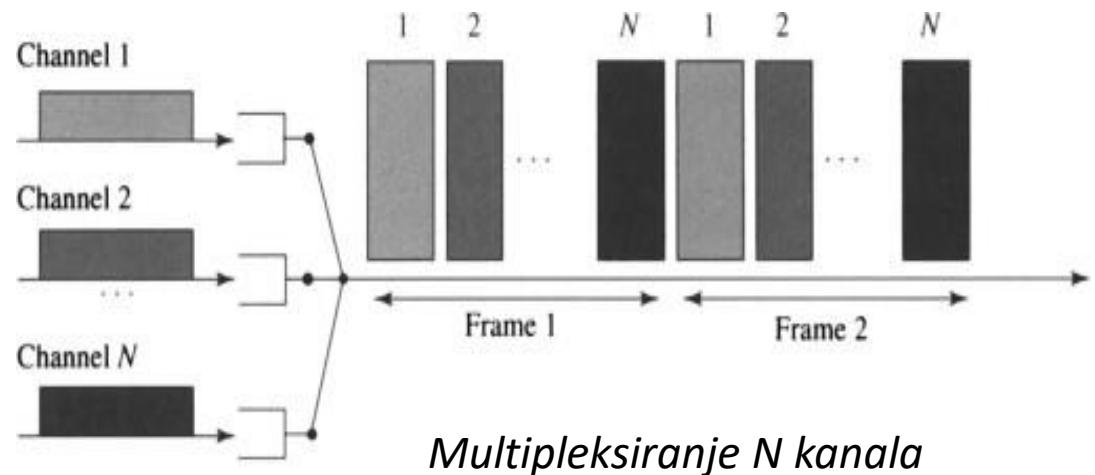
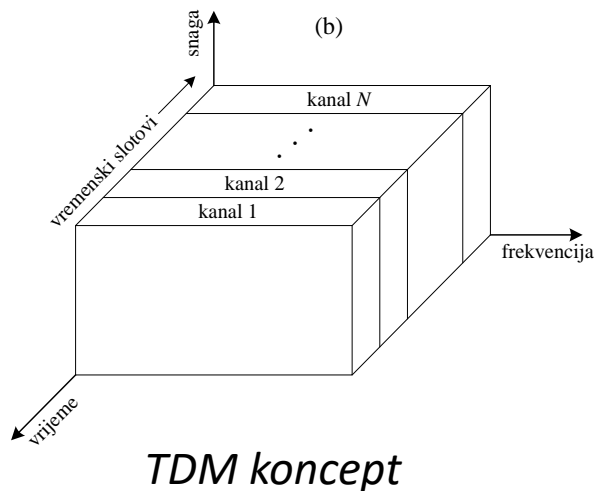
# Termin 8 - Sadržaj

---

- Pojam i vrste multipleksiranja
- **Multipleksiranje u sistemima realizovanim vođenim medijumima za prenos**
- Multipleksiranje u bežičnim komunikacionim sistemima
- Prenos višestrukim nosiocima

# TDM

- TDM je prva tehnika multipleksiranja koja se primijenila u komunikacionim sistemima
- **TDM omogućuje korisnicima pristup cijelom frekvencijskom opsegu kanala, ali u tačno definisanim vremenskim intervalima (slotovima)**
- Vrijeme pristupa zajedničkom kanalu se dijeli na **okvire (frejmove)**.
  - Frejmovi se razdvajaju specijalnom sekvencom bita, koja se naziva šema frejma.
  - Svaki frejm se dijeli na  $N$  intervala fiksne dužine, koji se nazivaju **slotovi**





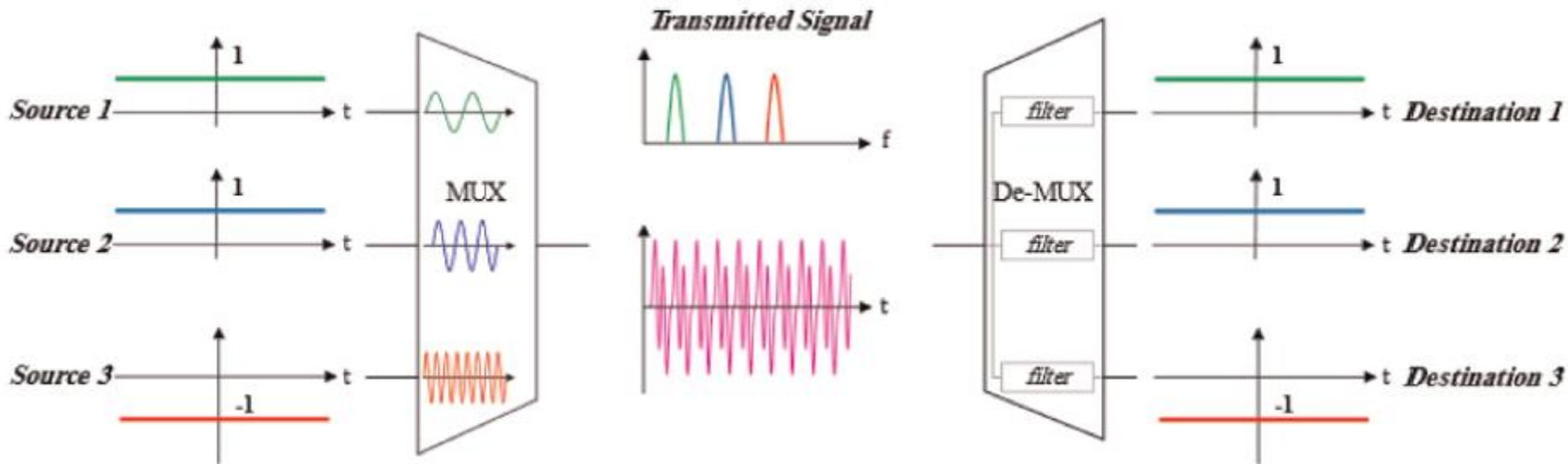
# TDM

---

- Ako korisnici pristupaju opsegu periodično, tj. na rotirajući način, moguće je ostvariti govornu komunikaciju, ili prenos podataka, na približno kontinualan način
  - Čulo sluha kod ljudi ne može uočiti diskontinuitet u prijemu govornih signala, ako je vremenski interval između 2 primljena slotova manji od 300 ms
- **Demultiplekser** prvo otkriva sekvencu koja čini šemu frejma, na osnovu čega utvrđuje trenutak početka samog frejma, a na osnovu toga i trenutke početka svakog od  $N$  vremenskih slotova
- TDM se implementira relativno jednostavno i nije potrebna velika dodatna signalizacija (*overhead* - zaglavlje) za otkrivanje frejmova (sinhronizaciju)
- TDM multipleks se primjenjuje za prenos 30+2 IKM digitalizovana govorna signala (E1 multipleks), primjenjivao se kod ISDN (*Integrated Services Digital Network*) sistema, a primjenjuje se i u brojnim bežičnim komunikacionim sistemima.

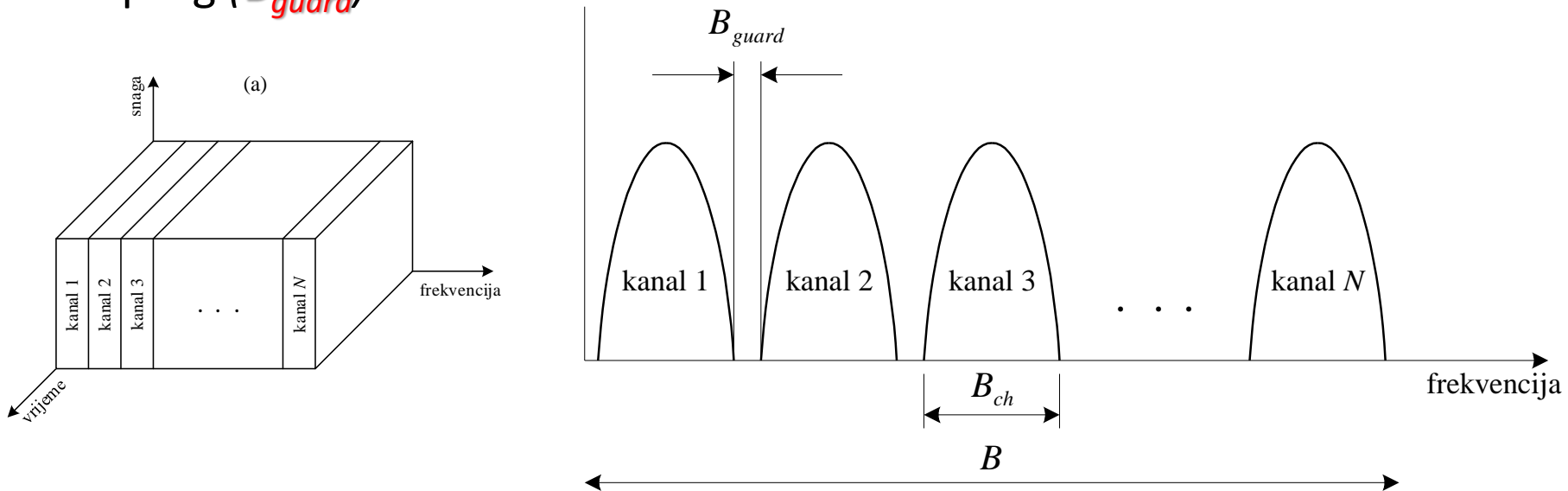
# FDM

- Najjednostavnija tehnika višestrukog pristupa
- Svakom komunikacionom paru se dodjeljuje različit frekvencijski kanal (signali se modulišu i pomjeraju na različite učestanosti)
- Podrazumijeva upotrebu odgovarajućih **filtara propusnika opsega**



# FDM

- Radi smanjenja susjedno-kanalne interferencije (*co-channel interference – CCI*), između susjednih kanala se ostavlja zaštitni opseg ( $B_{guard}$ )



Koncept razdvajanja korisnika u FDM multipleksu

Zaštitini opseg između kanala FDM multipleksa

- U vođenim medijumima za prenos, FDM se koristi kod kablovskih sistema za distribuciju TV signala u zgradama (**CATV**)

# FDM

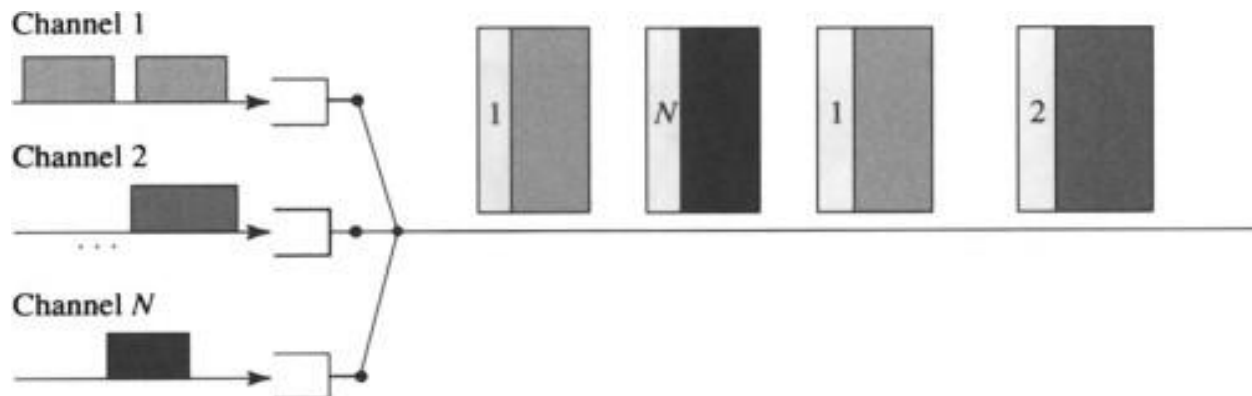
---

---

- Glavna pozitivna strana komunikacionih sistema sa FDM višestrukim pristupom je njihova **hardverska jednostavnost**
- Sistemi koji koriste FDM spadaju u uskopojasne sisteme
- Glavni **problem** u komunikacionim sistemima koji koriste FDM tehniku je **preslušavanje**, koje je posljedica **CCI**
  - Nelinearnost pojačavača snage uzrokuje širenje prenošenog signala u frekvencijskom domenu i generiše intermodulacione (IM) produkte. IM produkti predstavljaju neželjeno RF zračenje koje može da interferira sa signalima u ostalim kanalima u FDMA sistemu.
- Sljedeći bitan nedostatak FDM tehnike je njena neupotrebljivost za prenos digitalnih signala različitim brzinama signaliziranja.
  - Ovo direktno eliminiše FDM kao rješenje za kombinovani prenos digitalizovanog govora i podataka
- Ako određeni kanal nije dodijeljen, on stoji u "praznom hodu" i ne može se iskoristiti za povećanje kapaciteta

# SM

- Statističko multipleksiranje (SM) je najefektivnije rješenje za sporadičan (bursty) ulazni saobraćaj, kakav je slučaj sa podacima koji se prenose na internetu.
- **SM dodjeljuje zajednički kanal ulaznim kanalima, u skladu sa kapacitetima pojedinih ulaznih kanala**
  - Što je veći kapacitet ulaznog kanala, njemu će biti dodijeljen zajednički kanal duži vremenski period
  - Saobraćaj se obično opslužuje po redosledu pristizanja (paketa)



*Primjer statističkog multipleksiranja*

# SM

---

- SM za razliku od TDM-a ne dodjeljuje zajednički kanal svim dolaznim kanalima podjednako, pa samim tim nema rasipanja resursa u slučaju kada je neki dolazni kanal prazan (nema dolaznih podataka).
- **Demultiplekser** ne može sortirati pakete samo na osnovu njihovog položaja u frejmu.
  - Dodatni biti se moraju ubaciti unutar svakog paketa da bi označili odgovarajući ulazni kanal ili izvor
  - Rezultujuće zaglavlje je značajno veće nego kod TDM-a
  - I sama realizacija multipleksera je složenija, jer mora da dodati intervale (bite) za razdvajanje paketa, kao i identifikator izvora informacija (kanala)
- U opštem slučaju, saobraćaj koji zahtijeva konstantnu brzinu prenosa podataka, kao što su govor, video fiksne brzine prenosa i kontrolni signali, se mogu efikasnije opslužiti TDM multipleksom
  - Video podaci promjenljive brzine prenosa, pristup serverima i sl. se efikasnije opslužuju SM multipleksom

# SM

---

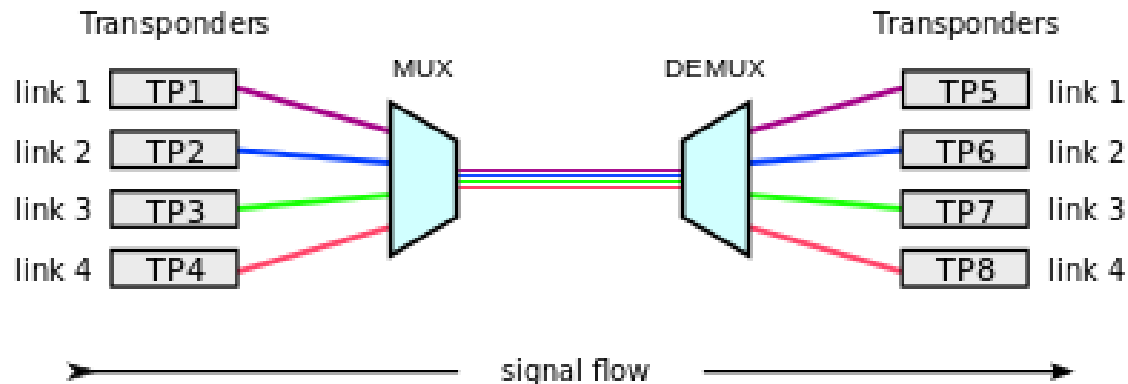
---

- **SM omogućava primjenu različitih strategija za dodjelu prioriteta pojedinim tipovima informacija (kanalima ili izvorima)**
- Uobičajeno je da se paketi opslužuju prema redosledu dolaska u bafere prema zajedničkom linku (FIFO – *First In First Out*)
- Međutim, lako je dodjeliti veći prioritet npr. govornom saobraćaju, za koji je potrebno malo kašnjenje.
- Postoje različiti algoritmi za diferencijaciju klasa servisa i dodjelu odgovarajućih prioriteta, u zavisnosti od klase servisa

# WDM

- WDM podrazumijeva multipleksiranje svjetlosnih signala različitih talasnih dužina kroz kabl sa optičkim vlaknima.
- Ovaj koncept je poznat od od 1978. godine, a prvi put je eksperimentalno realizovan 1980. godine
- **Danas se koriste WDM sistemi koji multipleksiraju 160 optičkih signala, a takođe su se pojavili i multipkeseri za 320 signala**

## wavelength-division multiplexing (WDM)



*Koncept WDM multipleksiranja*



# Termin 8 - Sadržaj

---

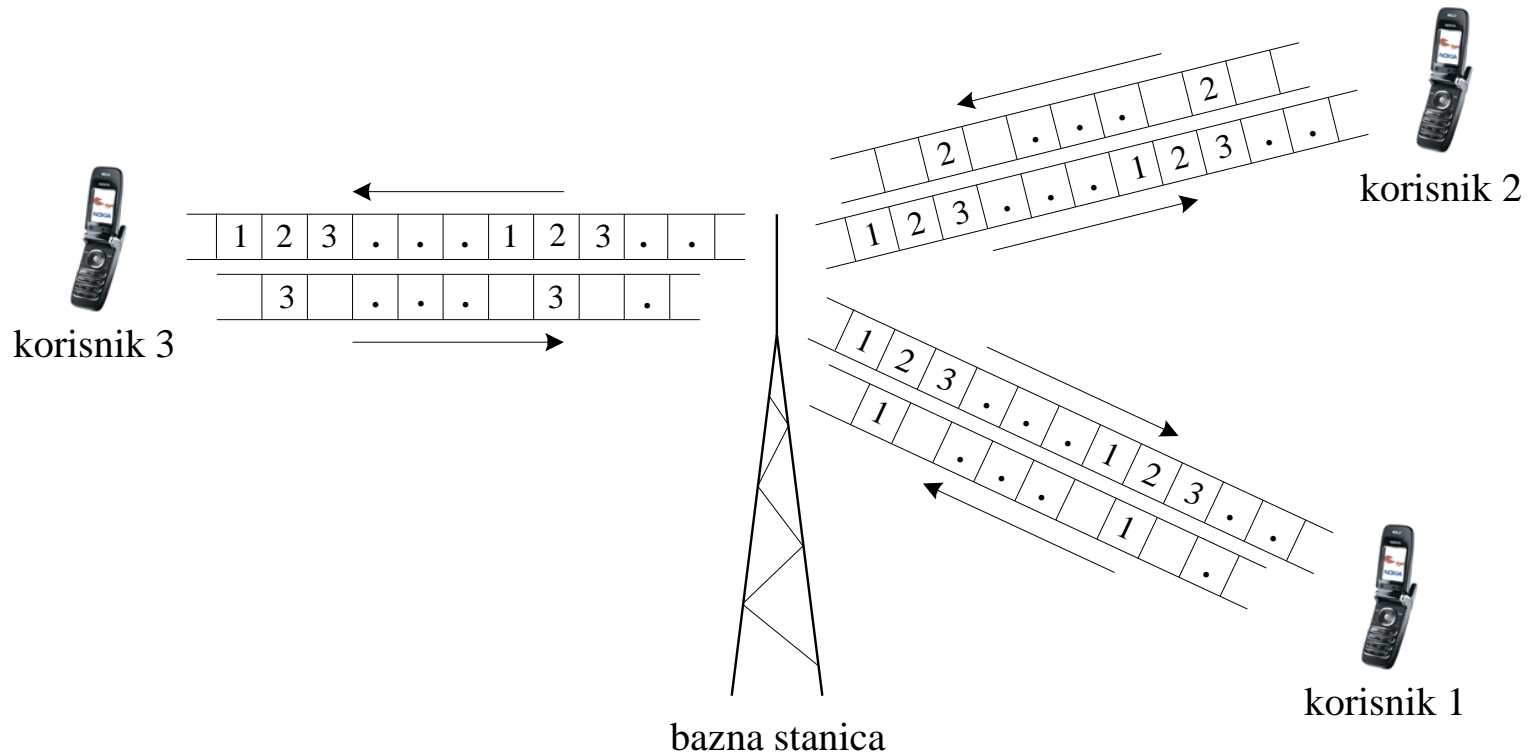
- Pojam i vrste multipleksiranja
- Multipleksiranje u sistemima realizovanim vođenim medijumima za prenos
- **Multipleksiranje u bežičnim komunikacionim sistemima**
- Prenos višestrukim nosiocima

# TDM

---

- U slučaju 2G mobilnih celularnih sistema, na *downlinku* BS stanica emituje signale kontinualno, a svaki mobilni terminal prima njemu namijenjeni signal u toku vremenskog slota/slotova koji su mu dodijeljeni.
- Formira se okvir (*frame*) od 8 vremenskih slotova, tako da se na jednoj frekvenciji može opslužiti 8 korisnika po principu TDM
- **Interferencija** između korisnika **se izbjegava** :
  - striktnim pridržavanjem rasporeda vremenskih slotova u *downlink* smjeru,
  - ostavljanjem zaštitnih intervala (*guard time*) između slotova,
  - procedurama za pravilno raspoređivanje primljenih slotova u *uplink* smjeru.

# TDM



TDM koncept na primjeru GSM (2G) celularnog komunikacionog sistema

# TDM

---

---

- TDM se često koristi u kombinaciji sa FDM konceptom.
  - Raspoloživi opseg je podijeljen na više frekvencijskih kanala kojima, po principu vremenske raspodjele, pristupa određeni broj korisnika.
  - U susjednim ćelijama koriste se različite noseće frekvencije, dok je isti kanal moguće ponovo koristiti samo u dovoljno udaljenim ćelijama kako bi se smanjio uticaj isto-kanalne interferencije
- **Prednosti TDM u odnosu na FDM i CDM:**
  - U odnosu na FDM tehniku je korisniku omogućeno da šalje ili prima digitalne signale različitog protoka u zavisnosti od njegovih trenutnih potreba.
  - U odnosu na CDM, TDM omogućuje mnogo jednostavniju kontrolu snage
  - Kod mobilnih celularnih sistema, TDM omogućuje najjednostavniji prelaz iz jedne ćelije u drugu (*handoff* ili *handover*)

# TDM

---

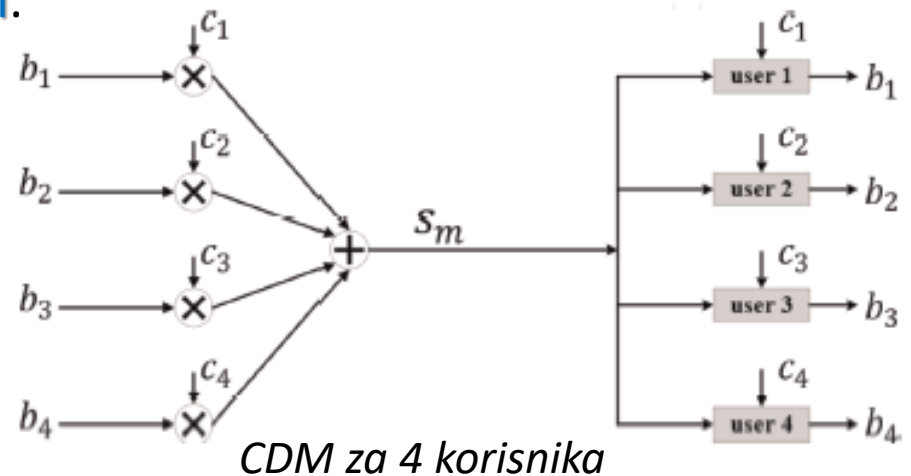
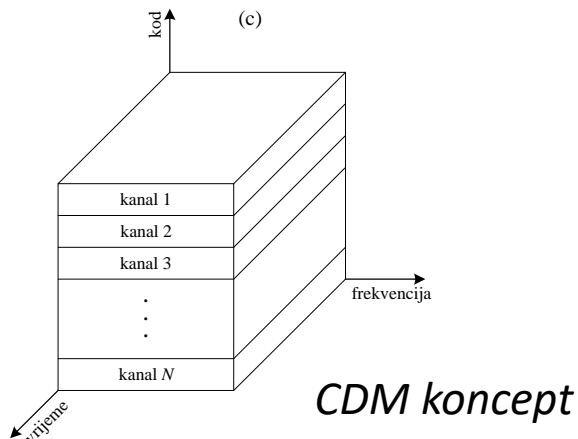
---

- **Nedostaci TDM-a**

- TDM zahtijeva preciznu sinhronizaciju slotova i okvira
- U mnogim TDM sistemima mora se primjenjivati ekvalizacija u cilju smanjenja uticaja intersimbolske interferencije
- Kako je komunikacioni terminal periodično aktivan samo u toku trajanja slotova koji su dodijeljeni korisniku, anvelopa snage periodično fluktuirá, što predstavlja problem u dizajniranju primopredajnika bežičnih komunikacionih sistema, odnosno njihovog RF dijela

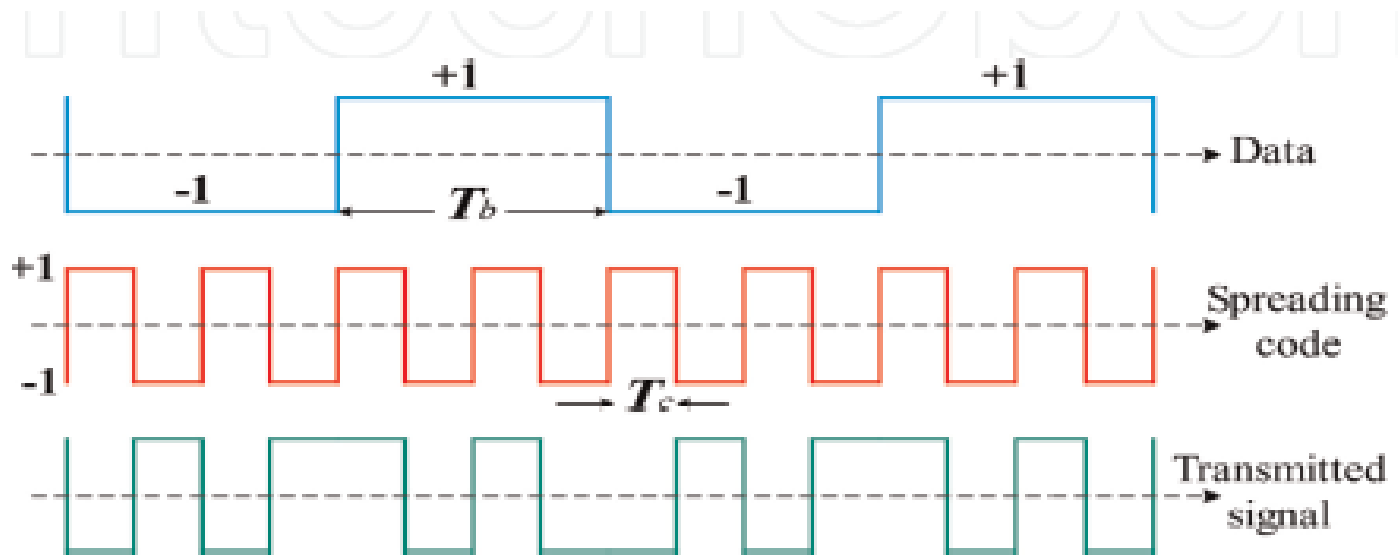
# CDM

- Kod CDM višestrukog pristupa svi korisnici pristupaju cjelokupnom raspoloživom opsegu i koriste ga kontinualno u vremenu.
- Korisnici su međusobno razdvojeni **jedinstvenim pseudo-slučajnim sekvencama ili kodovima**
- CDM predstavlja tehniku prenosa **proširenim opsegom** (*spread spectrum*)
- Prenos u proširenom opsegu može se realizovati :
  - tehnikom **direktne sekvence** (*Direct Sequence – DS*)
  - tehnikom **frekvencijskog skakanja** (*Frequency Hopping – FH*)pa se razlikuju **DS-CDM** i **FH-CDM**.



# DS CDM

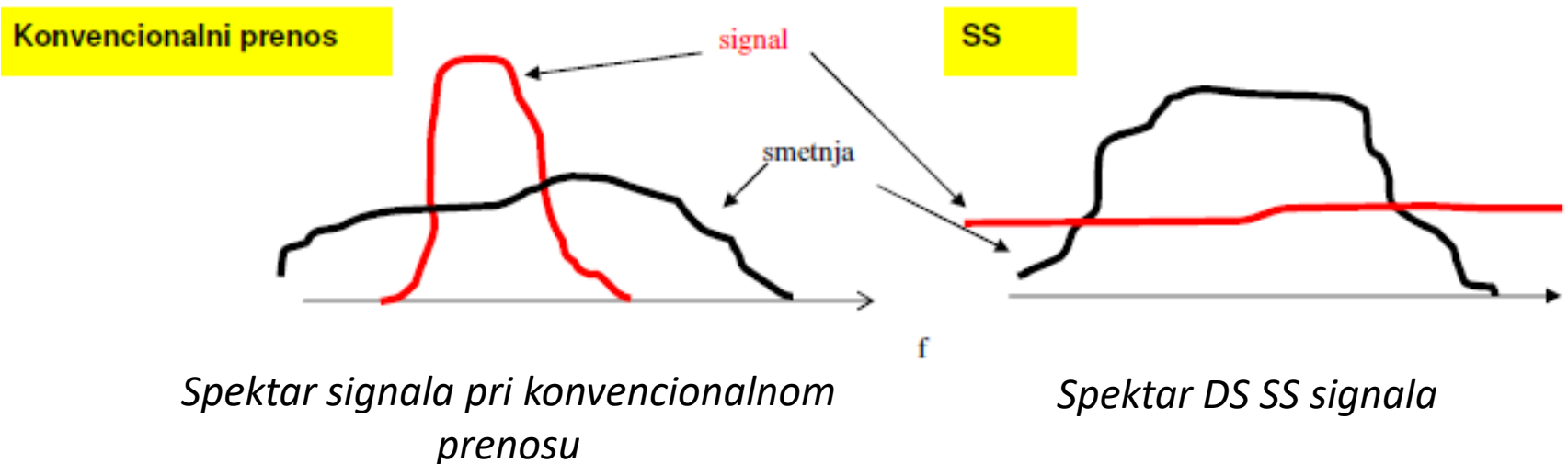
- DS CDM ili DS SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*)
- Realizuje se množenjem originalnog digitalnog signala pseudo-slučajnom (PN – *pseudo-noise*) sekvencom čije je trajanje signalizacionog intervala,  $T_c$ , mnogo manje od trajanja signalizacionog intervala originalnog signala,  $T$ , tj.,  $T_c \ll T$
- Važi da je  $T = KT_c$ , gdje je  $K$  **kodni dobitak** (*processing gain*)



DS SS sa kodnim dobitkom  $K=4$

# DS CDM

- Spektar izlaznog signala je  $K$  puta širi od spektra modulišućeg signala
- Prvobitni motiv je bio zaštita od impulsnih radio-ometača
  - Aktuelni motiv je efikasno korišćenje RF spektra, kroz realizaciju kodnog multipleksa

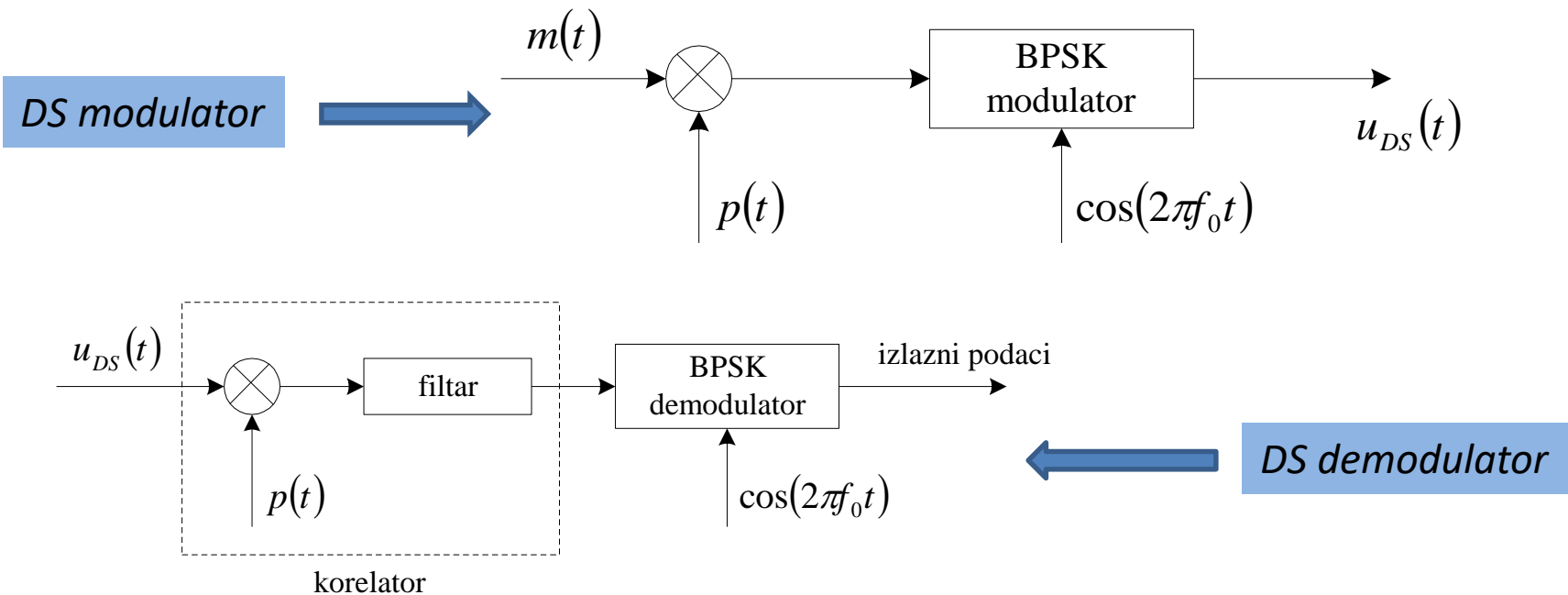




# DS modulator i demodulator

$$u_{DS}(t) = m(t)p(t)\cos(2\pi f_0 t)$$

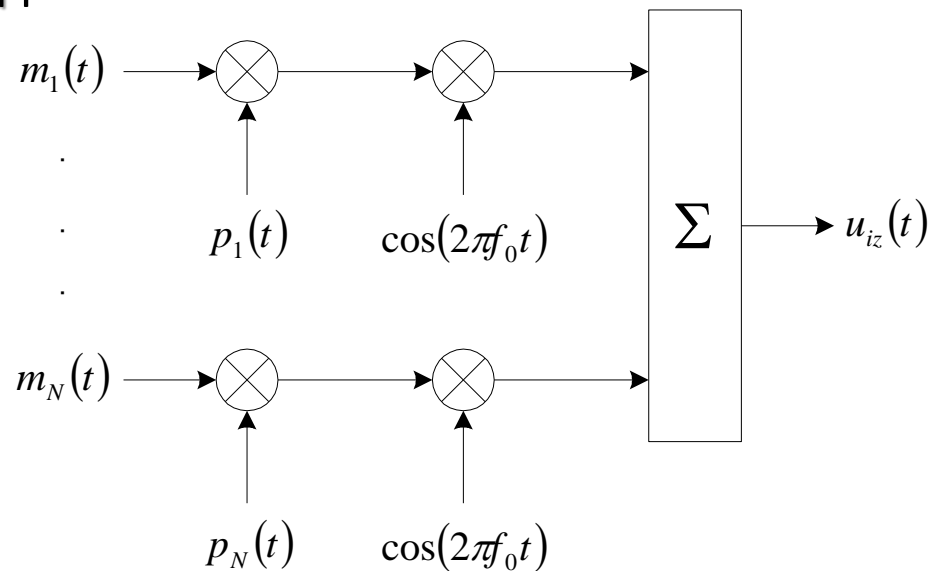
- gdje je
  - $m(t)$  originalni modulišući signal,
  - $p(t)$  spreading sekvenca i
  - $f_0$  frekvencija nosioca.



# DS CDM višestruki pristup

$$u_{iz}(t) = \sum_{i=1}^N m_i(t) p_i(t) \cos(2\pi f_0 t)$$

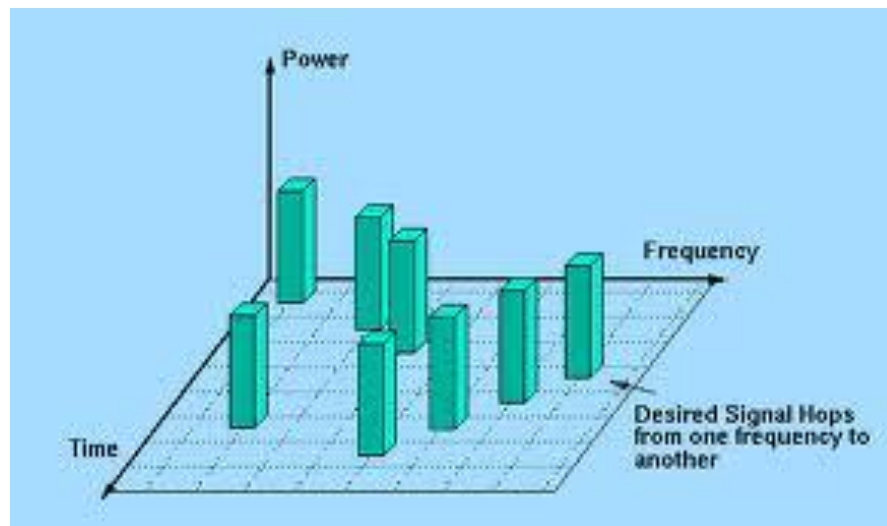
- gdje je
  - $m_i(t)$  modulišući signal  $i$ -tog korisnika,
  - $p_i(t)$  spreading sekvenca  $i$ -tog korisnika i
  - $f_0$  frekvencija nosioca.
- Kodna sekvenca svakog korisnika je jedinstvena
- Obično se koriste ortogonalne sekvence da bi se smanjila **MUI** (*Multi-User Interference*)
- Prednost je što svi korisnici imaju istu frekvenciju nosioca
- Nedostatak su složena sinhronizacija i pojava *near-far* problema, zbog čega se uvodi kontrola emisije snage



DS CDM predajnik

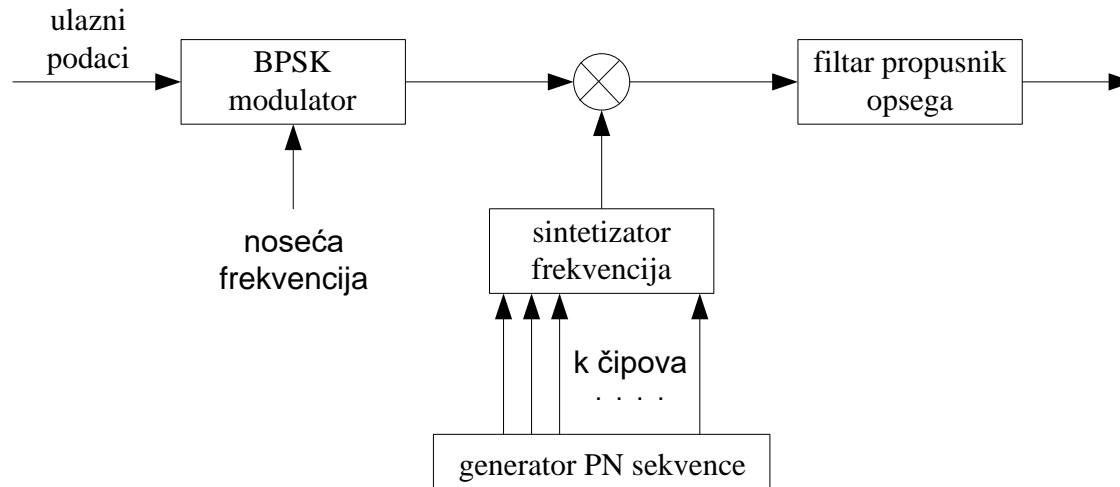
# FH CDM

- Prenos proširenim spektrom sa frekvencijskim skakanjem podrazumijeva promjenu frekvencije nosioca prema pseudo-slučajnoj šemi (*hopping sekvenca*)
- U zavisnosti od odnosa brzine signaliziranja, i brzine promjene kanala (nosioca), razlikuju se:
  - **FFH (Fast Frequency Hopping)** – u toku trajanja simbola se promijeni frekvencija nosioca
  - **SFH (Slow Frequency Hopping)** – više simbola se prenosi na istoj frekvenciji nosioca



# FH CDMA

- Kod FH CDM sistema se **ne javlja *near-far* efekat**
  - U pojedinačnim intervalima signal zauzima uzak opseg
- Glavni izvor smetnji je međučelijska interferencija
  - za otklanjanje se primjenjuje kontrola snage koja je jednostavnija nego kod DS CDM



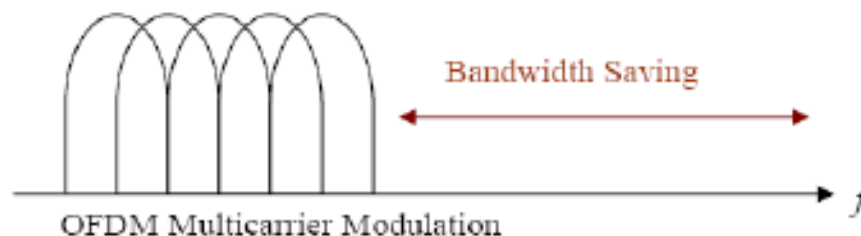
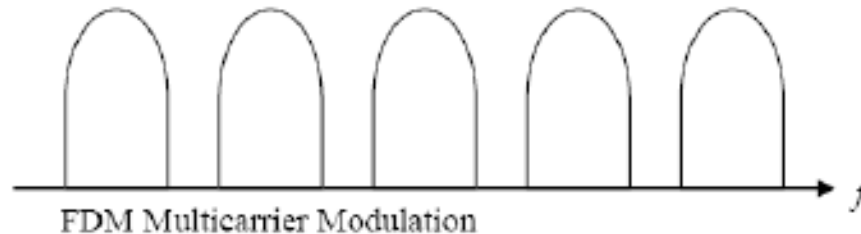
# Termin 8 - Sadržaj

---

- Pojam i vrste multipleksiranja
- Multipleksiranje u sistemima realizovanim vođenim medijumima za prenos
- Multipleksiranje u bežičnim komunikacionim sistemima
- **Prenos višestrukim nosiocima**

# Prenos višestrukim podnosiocima

- Ideja prenosa višestrukim podnosiocima (*multicarrier modulation* - **MCM**) je da se eliminišu štetni efekti frekvencijski selektivnog kanala (vremenski disperzivnog kanala), i da se poveća brzina prenosa podataka
- Ako se prenos vrši na  $N$  podkanala, onda je trajanje simbola u svakom podkanalu  $N$  puta veće od trajanja originalnog simbola, tj. **svaki podkanal zauzima  $N$  puta manji opseg od opsega originalnog signala**

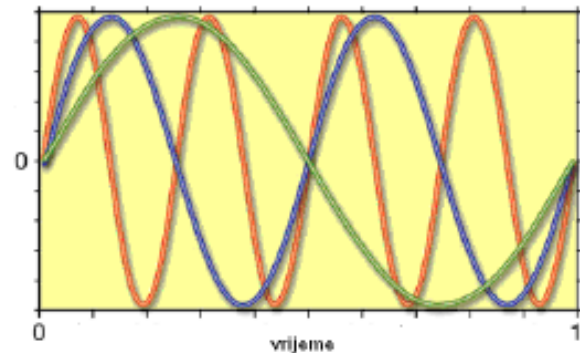


# Prenos višestrukim podnosiocima

- Specijalni slučaj MCM-a je **OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)
- **Nosioci su međusobno ortogonalni** (u domenu učestanosti to znači da će maksimum u spektru jednog podkanala odgovarati nulama u spektru susjednih podkanala), čime se postiže značajna ušteda u opsegu

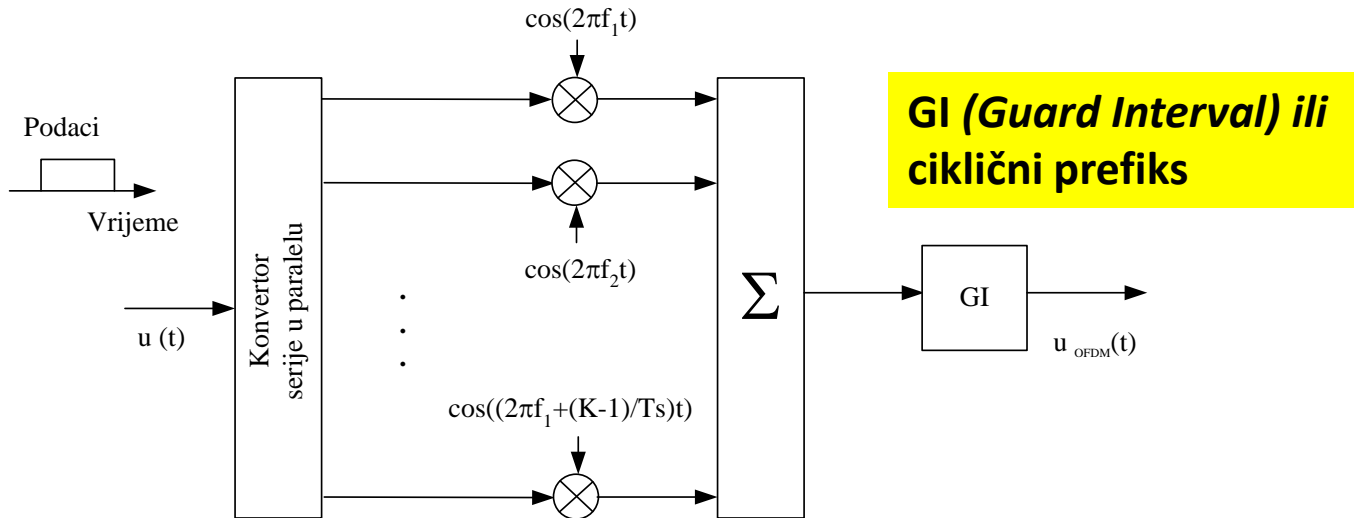
Uslov ortogonalnosti:

$$\int_0^{T_s} \sin(n\omega_0 t) \sin(m\omega_0 t) dt = 0, \quad n \neq m$$

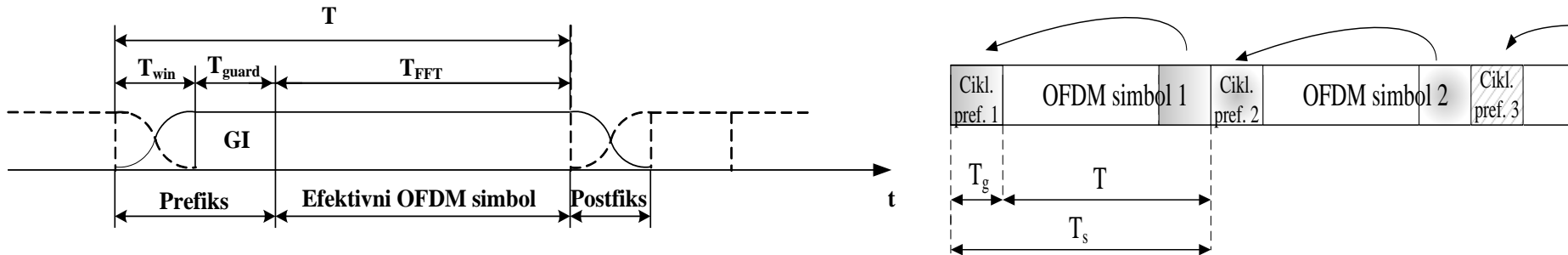


- Podnosioci su modulirani višenivoovskim modulacijama, a po potrebi se mogu koristiti različite modulacije na različitim nosiocima (npr. QPSK, 16-QAM, 64-QAM, itd.)
- **OFDM se smatra modulacionim postupkom**, a postoji i **tehnika višestrukog pristupa** (**OFDMA** – *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) zasnovana na OFDM-u

# Princip realizacije OFDM-a



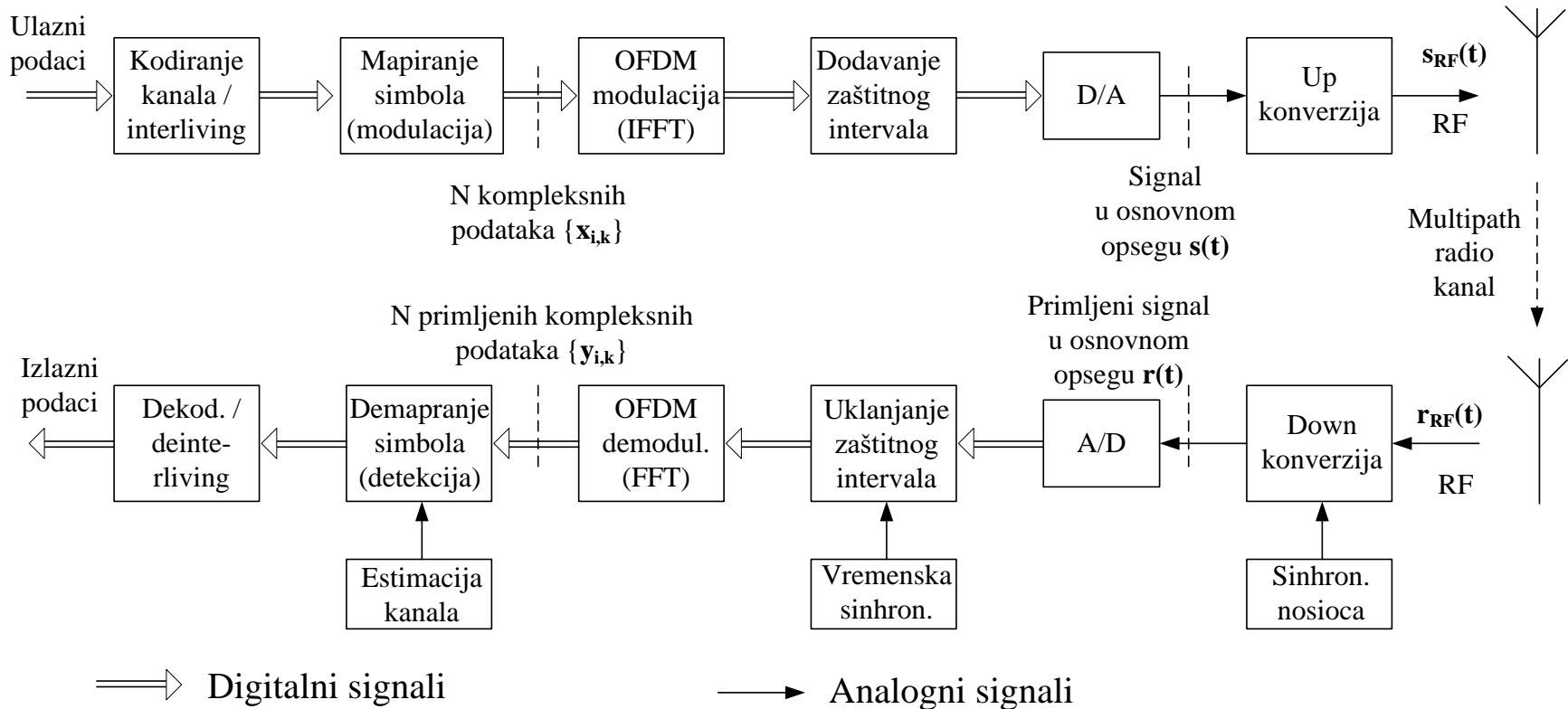
- **Ortogonalni podnosioci se mogu realizovati preko IFFT (Inverse Fast Fourier Transformation) operacije**



- **GI (Guard Interval)** predstavlja zaštitni interval koji **onemogućava pojavu ISI**



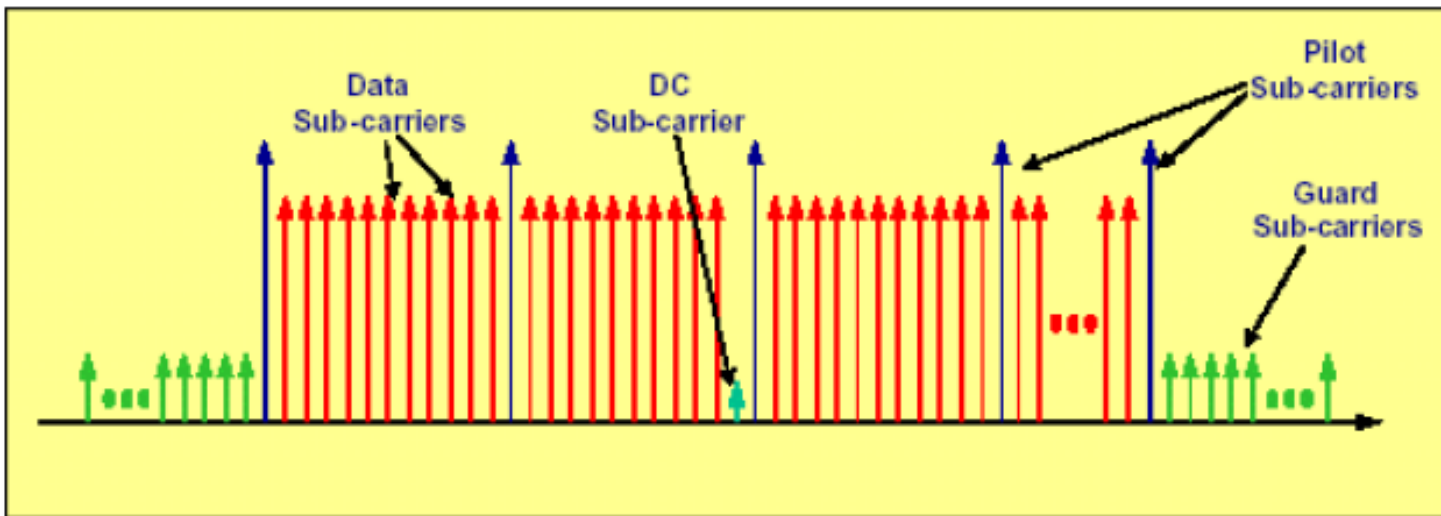
# Šema OFDM sistema



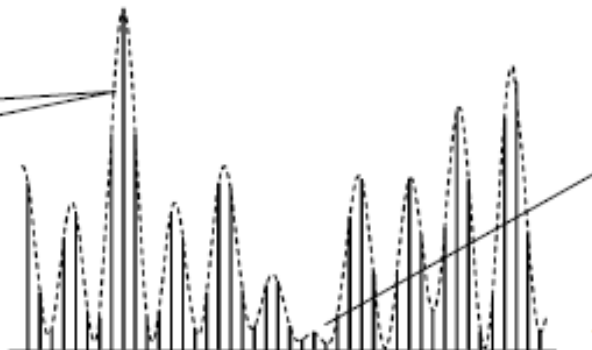
# Tipovi podnosioca

Postoje tri grupe podnosioca:

- data
- pilot
- nulti



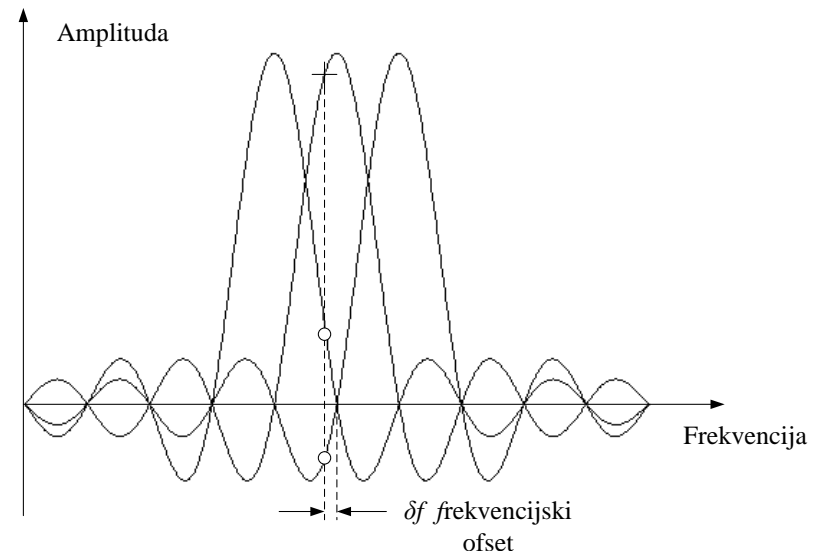
Uticaj frekvencijski-selektivnog fedinga na subkanale



Očigledni razlog u prilog primjene FEC i interleavinga, pa OFDM → COFDM

# Interferencija među podnosiocima

- Predajnik i prijemnik nisu idealno frekvencijski sinhronizovani, ili uslijed velike vrijednosti Doppler-ovog pomjeraja, prijemnik u domenu učestanosti uzima vrijednost signala na pogrešnoj učestanosti - (**frekvencijski ofset**)
  - Tada korisni signal nema svoju maksimalnu vrijednost, a uzima se i dio energije iz susjednih podnosilaca
  - Ovo predstavlja **interferenciju među podnosiocima** (**ICI – Intercarrier Interference**)
  - Već i za male vrijednosti frekvencijskog ofseta, ICI izaziva značajne degradacije BER performansi OFDM sistema



# Prednosti i nedostaci OFDM-a

---

- **Prednosti OFDM-a:**

- Racionalno koristi frekvencijski spektar.
- Predstavlja efikasnu tehniku za borbu protiv multipath fading-a, bez potrebe za složenim ekvilajzerima koji su u single-carrier sistemima neophodni.
- Otporan je na uskopojasnu interferenciju, zato što takva interferencija zahvata samo mali broj podnosilaca.
- Otporan je na vremensko širenje simbola na prijemu.

- **Nedostaci OFDM-a:**

- Izuzetna osjetljivost na frekvencijski *offset* i fazni šum.
- Veliki odnos vršne i srednje snage (*Peak to Average Ratio* - PAR) koji stvara probleme u RF pojačavačima.
- Složenost sinhronizacije.
- Potreba povraćaja ortogonalnosti podnosilaca na mjestu prijema radi izbjegavanja interferencije između njih.

# Primjena OFDM-a

---

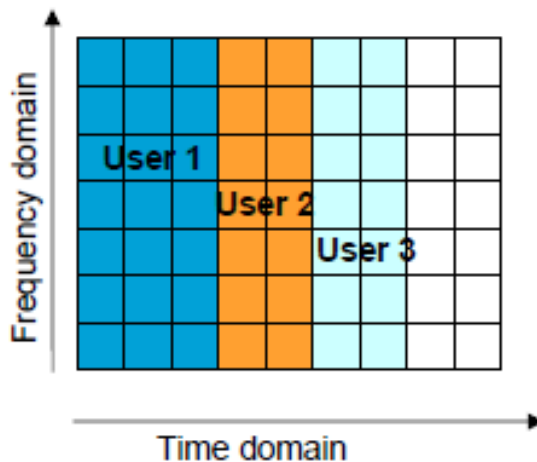
---

- Digital broadcasting systems (**DAB, DVB-T, DVB-T2**)
  - Broadband Wireless Access (**WiMAX, LTE, LTE-Advanced**)
  - Wireless LANs (**IEEE 802.11 a/g/n**)
  - High-rate Ultra-Wideband (**UWB**)
  - HF radio (brzina do 19.2kb/s u SSB kanalu širine 2.7kHz)
- Radio**
- High-speed digital subscriber lines (HDSL, ADSL, VDSL)
  - Power Line communications (PLC)
- Vodovi**

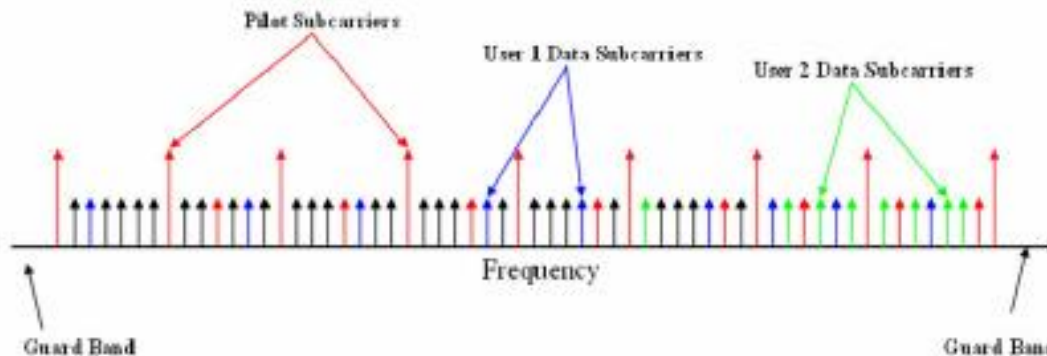
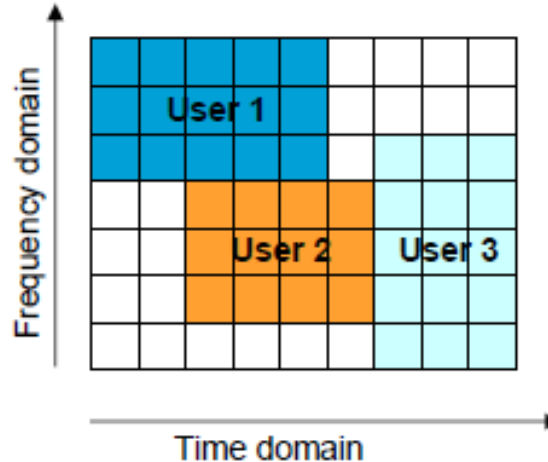
# OFDMA

- OFDM predstavlja modulacionu tehniku, dok je OFDMA tehnika višestrukog pristupa

I OFDM allocates users in time domain only



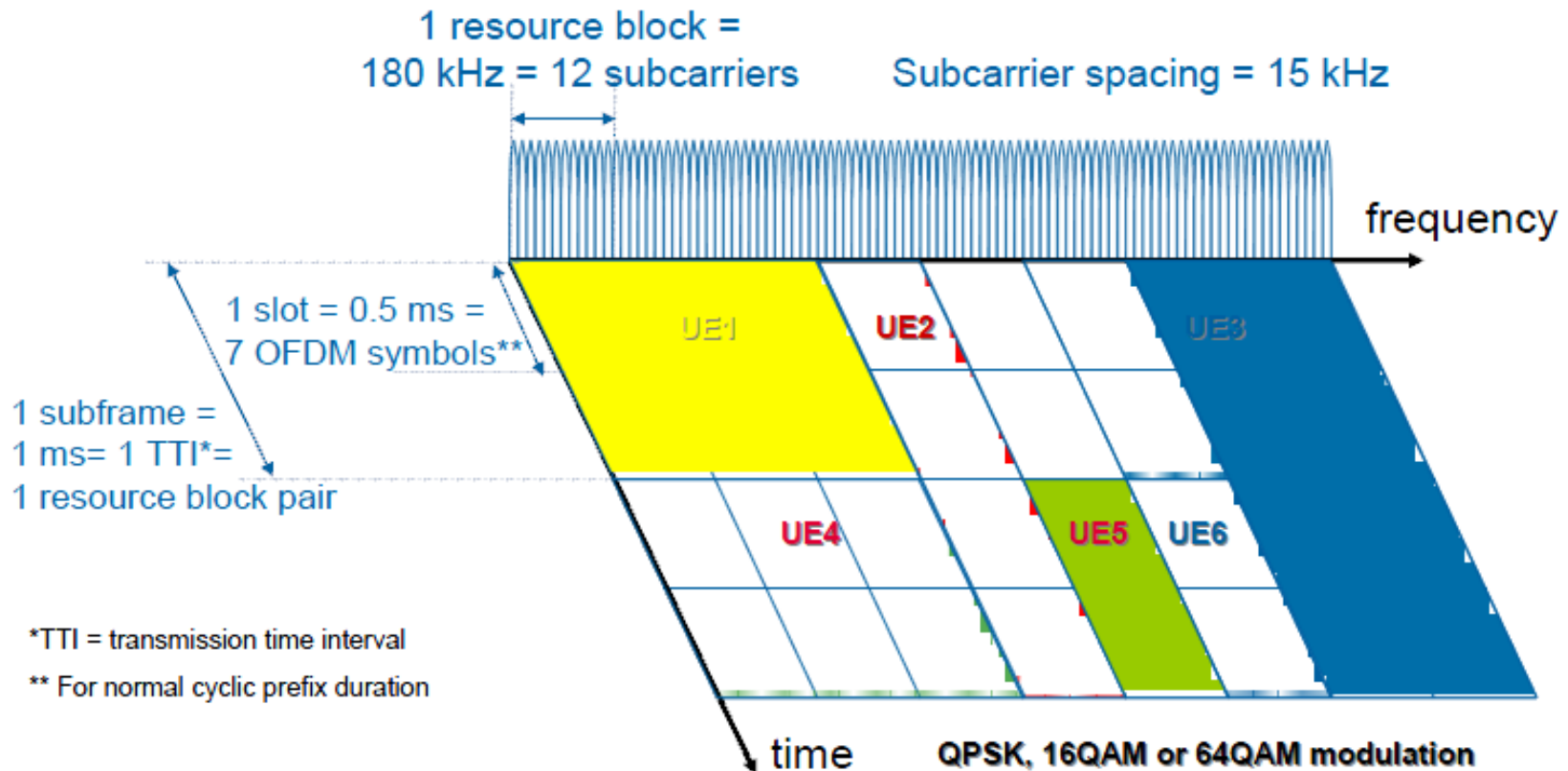
I OFDMA allocates users in time and frequency domain



Podnosioci dodijeljeni nekom korisniku ne moraju biti susjedni

# OFDMA

- OFDMA vremensko-frekvencijsko multipleksiranje na primjeru LTE sistema



# Prednosti i nedostaci OFDMA

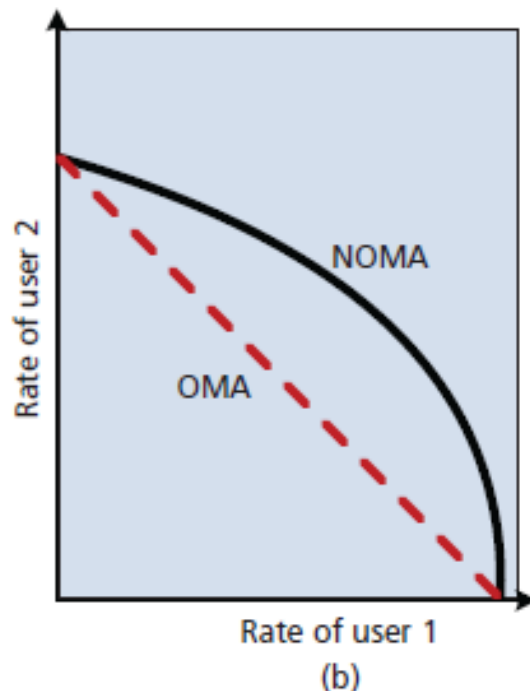
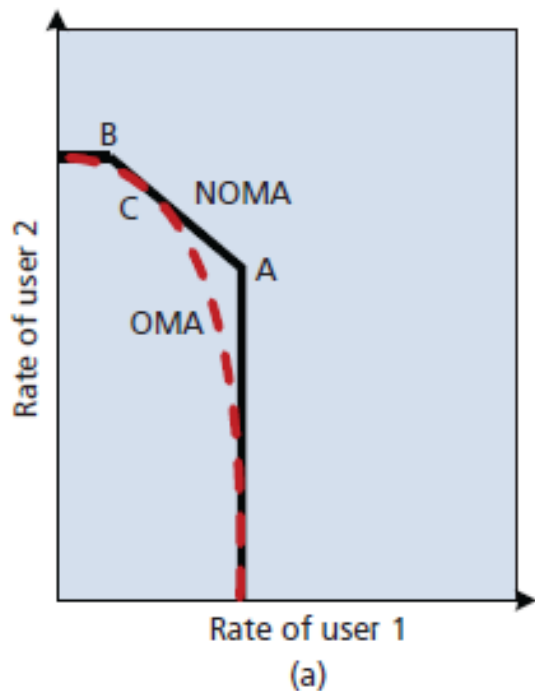
---

- **Prednosti OFDMA su:**
  - *Multi-user* diverziteti: podnosioci se dodjeljuju korisnicima u skladu sa karakteristikama njihovih funkcija prenosa
  - Ostvarenje različitih brzina prenosa podataka
  - Otpornost na *multipath* fading
  - Manji uticaj MUI nego kod CDMA sistema
  
- **Nedostaci OFDMA su:**
  - Veliki odnos vršne i srednje snage (PAPR)
  - Osjetljivost na frekvencijski ofset i fazni šum
  - Interferencija između kanala (CCI – *Co-channel interference*)
  - Sinhronizacija između korisnika za FFT operaciju na prijemu



# NOMA

- Zahtjevi koji su uzrokovali potrebu za NOMA
  - Ekspanzija mobilnog Internet saobraćaja
    - Potreba za većom spektralnom efikasnošću
  - M2M i IoT servisi u 5G mrežama
    - Opsluživanje velikog broja korisnika
    - Smanjenje kašnjenja (zaglavlja)



- Poređenje kapaciteta OMA i NOMA u AWGN kanalu, za sistem sa 2 korisnika
  - a) Uplink komunikacija
  - b) Downlink komunikacija

# NOMA realizacije

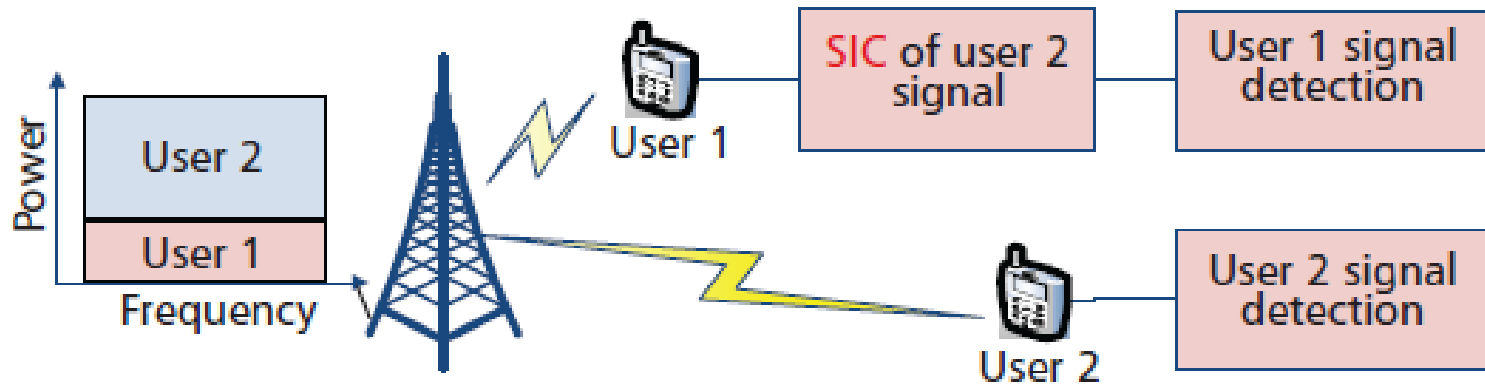
---

---

- **NOMA multipleksiranje u domenu snage**
  - Različitim korisnicima se dodjeljuju različiti nivoi snage, u skladu sa uslovima na kanalu
  - Tipovi:
    - Osnovna NOMA sa sukcesivnim poništavanjem interferencije (**SIC** – *Successive Intererence Cancellation*)
    - NOMA u MIMO sistemima,....
- **NOMA kodno multipleksanje**
  - Različitim korisnicima se dodjeljuju različiti neortogonalni kodovi, koji se zatim multipleksiraju na istim vremensko-frekvencijskim resursima

# NOMA multipleksiranje u domenu snage

---



NOMA sa SIC prijemnikom

- Veća snaga se dodjeljuje korisniku sa lošijim karakteristikama kanala (korisnik 2 na slici)
  - Korisnik 2 direktno dekodira primljeni signal, tretirajući signal korisnika 1 kao šum
  - Korisnik 1 najprije dekodira poruku korisnika 1, a zatim uklanja tu poruku iz primljenog signala (SIC), da bi omogućio dekodiranje sopstvene poruke

# Primjena tehnika višestrukog pristupa

---

- FDM
  - Analogni mobilni komunikacioni sistemi prve generacije
- TDM
  - 2G (GSM) mobilni komunikacioni sistemi
  - E1, T1
- DS CDM
  - 3G Mobilni komunikacioni sistemi (WCDM – *Wideband CDM*)
  - GPS (USA), Galileo (Europe), GLONASS (Russia) – DSSS
  - Bežični telefoni u opsezima od 900MHz, 2,4GHz i 5,8GHz - DSSS
  - IEEE 802.11b (Wi-Fi) – DSSS, IEEE 802.15.4 (ZigBee) - DSSS
- FH CDM
  - Bluetooth (Adaptive Frequency Hopping)
  - Vojne komunikacije (JTID/MIDS, HAVE QUICK)
  - Toki-voki na opsegu od 900MHz, i različiti korisnički uređaji na nelicenciranom opsegu od 2,4GHz
- OFDMA
  - IEEE 801.16e, IEEE 802.16m (WiMAX)
  - LTE, LTE-Advanced (na *downlinku*)
  - IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access (MBWA)
  - Novi WiFi standard, IEEE 802.11ax