



PRINCIPI MODERNIH TELEKOMUNIKACIJA

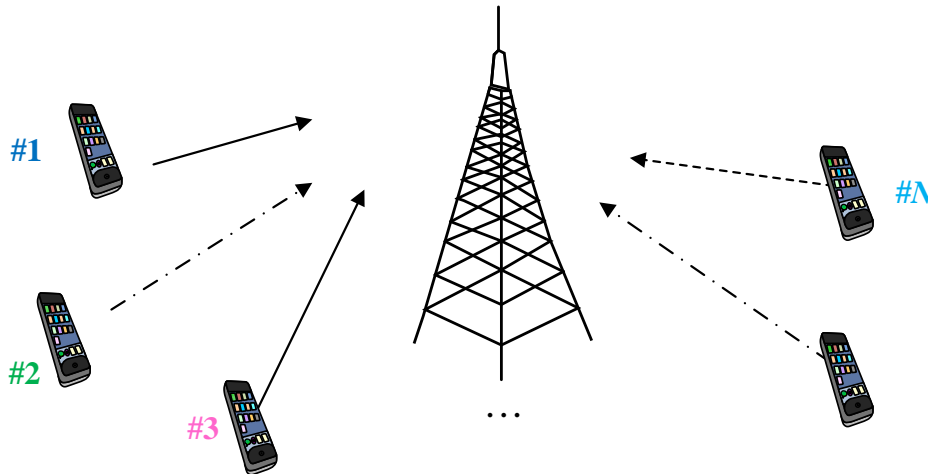
*Elektrotehnički fakultet
Katedra za telekomunikacije
Beograd, 2020/2021.*



Tehnike multipleksiranja i višestrukog pristupa

Uvod

- * Savremeni telekomunikacioni sistemi predstavljaju *višekorisničke sisteme*.
- * *Kako raspodeliti zajedničke resurse za prenos signala među korisnicima?*
 - Potrebno je obezbediti *uređenje sistema* u kojem veliki broj nezavisnih korisnika vrši prenos informacija korišćenjem zajedničkih resursa.
 - Telekomunikacioni kanal predstavlja skup i ograničen resurs.
 - Efikasnost korišćenja resursa utiče na iskorišćenje kapaciteta sistema, kvalitet i cenu servisa krajnjih korisnika, prihode provajdera servisa.
- * Tehnikama *višestrukog pristupa (multiple access)* ostvaruje se poboljšanje iskorišćenosti zajedničkih spektralnih resursa.



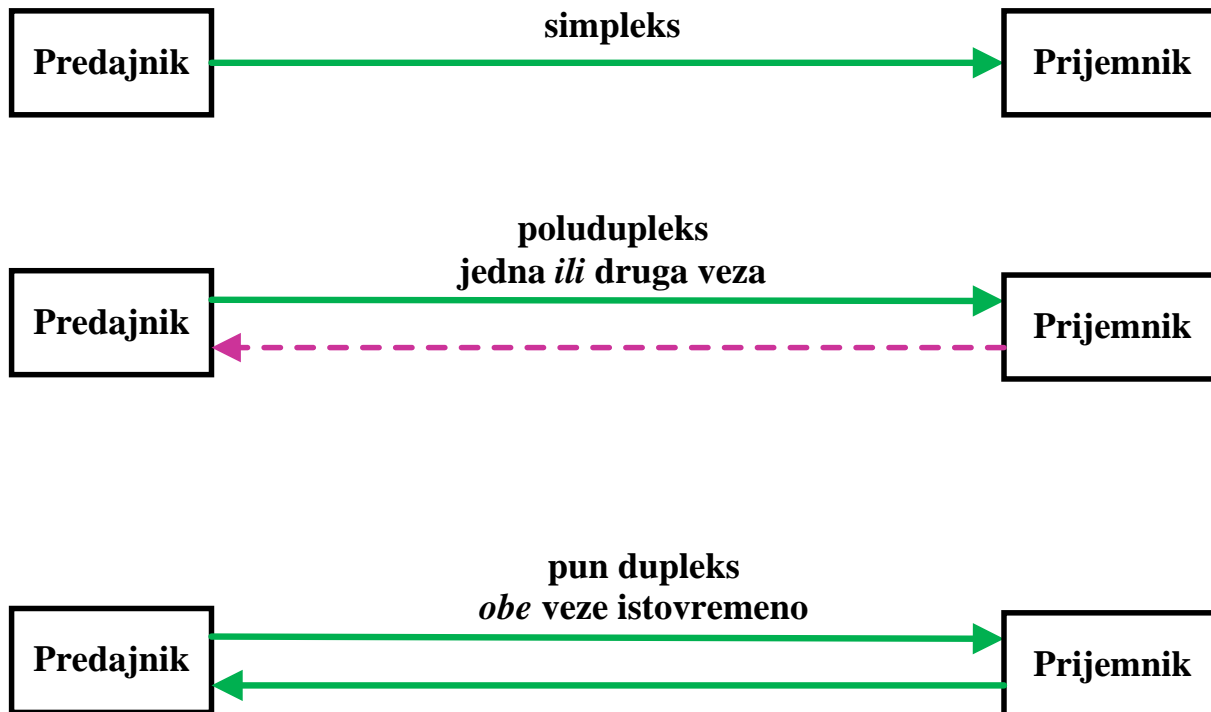
Uvod

- * Telekomunikacioni sistem za prenos informacija na raspolaganju ima telekomunikacioni kanal u određenom opsegu učestanosti (gde su njegove karakteristike povoljne ili dozvoljene za korišćenje).
 - Prenos signala bežičnim putem u opsegu radio-učestanosti,
 - Raspodela celokupnog opsega za razne telekomunikacione servise uređena je nacionalnom i međunarodnom regulativom.
- * U dostupnom opsegu učestanosti koji je *konačne širine*, potrebno je izvršiti prenos signala koji nose informacije *svih korisnika* sistema.
- * Raspodela spektralnih resursa zavisi od smera i načina razmene informacija među korisnicima sistema, što se uređuje *dupleksiranjem*.
- * U sistemu sa velikim brojem korisnika zajedničko pristupanje postojećim resursima i njihovo usklađeno korišćenje može se ostvariti primenom tehnika *multipleksiranja*, kao i tehnika *višestrukog pristupa*.

Dupleksiranje

Vrsta veze u zavisnosti od smera i način razmene informacija među korisnicima može biti:

- Simpleks (*simplex mode*)
- Poludupleks (*half duplex, HDX*)
- Pun dupleks (*full duplex, FDX*)

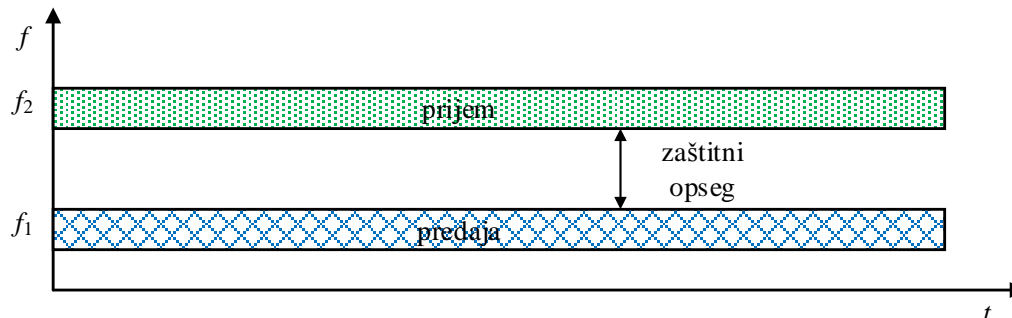


Dupleksiranje

- * U *simpleks vezi* prenos se uvek obavlja samo u jednom smeru
 - Prenos od jednog korisnika (izvora informacija) ka jednom ili više korisnika.
 - Primer, sistemi nadgledanja (bez mogućnosti upravljanja) ili širokodifuzni prenos TV signala.
- * U *dupleks modu*, između dva korisnika veza izvršava se dvosmerna razmena informacija. U zavisnosti od načina dvosmerne razmene razlikuju se poludupleks i pun dupleks režim rada.
- * U *poludupleks režimu* prenos između dva korisnika u bilo kom trenutku moguć je *samo* u jednom smeru.
 - Za svaki od smerova prenosa na raspolaganju je celokupan kapacitet kanala (primer, toki-voki komunikacija).
- * U *punom dupleks režimu*, krajnji korisnici u bilo kom trenutku mogu da istovremeno emituju i primaju informacije (najčešći način rada u savremenim telekomunikacijama).
 - Kada se primenjuje pun dupleks režim rada za svaki od smerova istovremene komunikacije u sistemu potrebno je dodeliti zasebne resurse.
 - Dodeljivanje resursa za svaki od smerova komunikacije može se izvršiti podelom u vremenskom i frekvencijskom domenu.

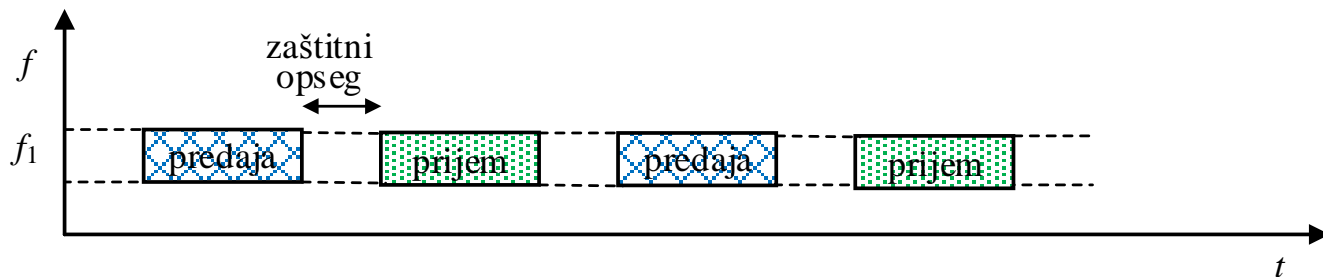
FDD (*Frequency Division Duplexing*)

- * Dupleksiranje na bazi frekvencijske raspodele, FDD – za svaki od smerova komunikacije dodeljen zaseban opseg učestanosti.
- * *Može se primenjivati kako za prenos digitalnih i analognih signala.*
- * Za svakog od korisnika jedan opseg učestanosti dodeljuje se za emitovanje (*uplink*), dok se drugi opseg dodeljuje za prijem informacija (*downlink*).
 - Frekvencijski opsezi dodeljeni za svaki smer komunikacije bi trebalo da budu dovoljno razdvojeni tako da se izbegne međusobno ometanje (interferencija) odlaznih i dolaznih signala u toku istovremene komunikacije.
- * FDD je pogodan kada su zahtevani kapaciteti u oba smera komunikacije *isti* (govorna komunikacija).
 - Primenjen u ćelijskim sistemima mobilne telefonije, satelitskim sistemima.
 - Nedostatak je smanjena spektralna efikasnost kod komunikacija sa *vremenski promenljivim asimetričnim kapacitetima* u različitim smerovima prenosa.



TDD (*Time Division Duplexing*)

- * Dupleksiranje na bazi vremenske raspodele (TDD) – za svaki od smerova komunikacije naizmenično se dodeljuju nepreklapajući vremenski intervali.
- * Intervali se smenjuju dovoljno brzo i iz perspektive korisnika komunikacija je neprekidna. Primena TDD moguća isključivo u slučaju prenosa digitalnih signala.
- * Prednost TDD je što se emitovanje i prijem informacija vrši u istom opsegu učestanosti, ali su povećani zahtevi po pitanju sinhronizacije u sistemu.
- * Između intervala za komunikaciju postoji zaštitni vremenski interval.
 - Zaštitni interval između intervala dodeljenih različitim smerovima prenosa trebalo bi da bude veći od propagacionog kašnjenja signala pri njegovom prenosu u oba smera, pa se TDD princip najčešće primenjuje u sistemima u kojima je rastojanje korisnika malo.
 - *Bluetooth* uređaji, bežične lokalne mreže.
- * Postoje sistemi koji kombinuju FDD i TDD tehnike dupleksiranja.



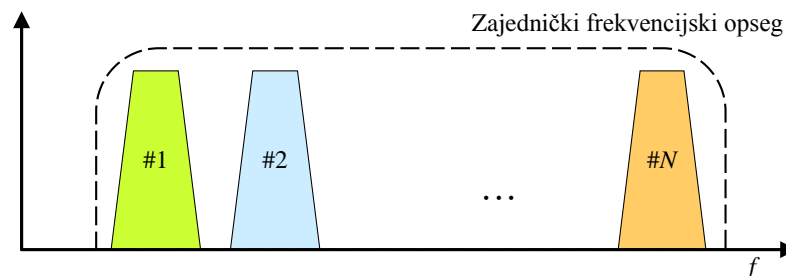
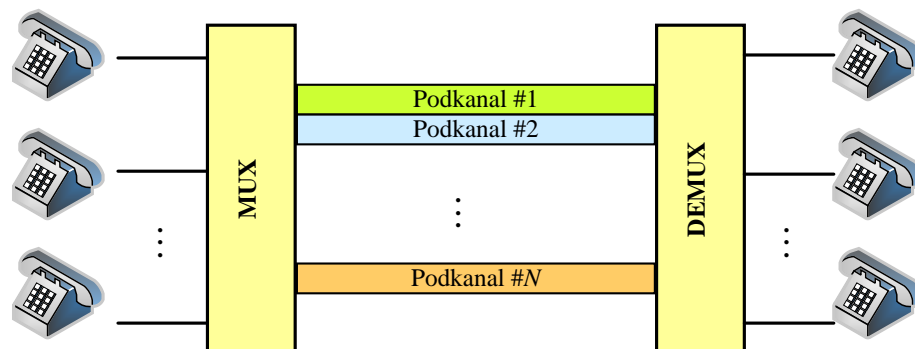
Tehnike multipleksiranja

- * ***Multipleksiranje*** signala je način kombinovanja signala iz više nezavisnih izvora u cilju njihovog zajedničkog neometanog prenosa.
- * Predstavlja pogodan način prenosa kada su raspoloživi frekvencijski resursi u kanalu *dovoljni za prenos signala više korisnika sistema*.
 - Primenjuje se u cilju poboljšanja iskorišćenosti resursa.
- * Na strani predaje vrši se *multipleksiranje* više nezavisnih signala, tako da se omogući njihov zajednički, istovremeni prenos bez međusobnog ometanja.
- * Na prijemnoj strani vrši se *demultipleksiranje*, odnosno razdvajanje individualnih signala iz zajedničkog, multipleksnog signala.
- * Raspodela i kontrola korišćenja resursa vrši se *sa centralne lokacije*, gde se svakom od korisnika *apriori* dodeljuje raspored i način korišćenja kanala.
- * Tipovi multipleksiranja:
 - Na bazi frekvencijske raspodele, FDM (*Frequency Division Multiplexing*),
 - Multipleksiranje po talasnim dužinama, WDM (*Wavelength Division Multiplexing*),
 - Multipleksiranje na bazi vremenske raspodele, TDM (*Time Division Multiplexing*).

Frekvencijski multipleks, FDM

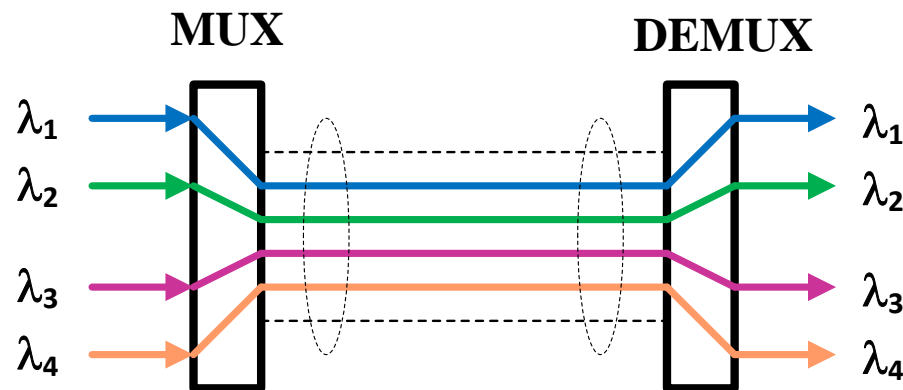
- * Više signala se kombinuje u jedan zajednički signal, a signali svakog od korisnika multipleksa se *istovremeno* prenose u unapred definisanim *nepreklapajućim opsezima učestanosti* (kanalima multipleksa).
- * FDM sisteme prenosa moguće je primeniti i u slučaju *analognih i digitalnih signala*.
- * Međusobni štetni uticaj signala u multipleksu, smanjuje se primenom zaštitnih opsega učestanosti između kanala multipleksa.

- Zaštitni opsezi se ne koriste za prenos informacija,
- Povećanjem širine zaštitnog opsega se smanjuje međusobni uticaj kanala, ali se smanjuje i efikasnost korišćenja resursa.
- Neophodna modulacija signala na predaji, kojom se svaki od individualnih signala smešta u željeni opseg učestanosti.
- Na prijemnoj strani vrši se filtriranje FDM multipleksnog signala radi izdvajanja zasebnih kanala, nakon čega se demodulacijom izdvaja koristan signal.
- Primena kablovska televizija, prvi analogni telefonski sistemi.



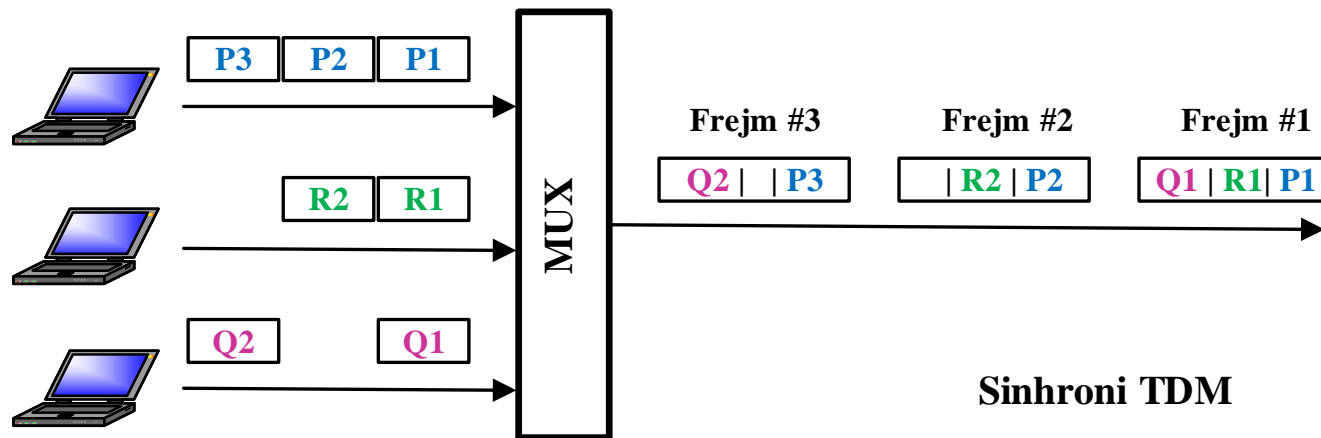
Multipleks talasnih dužina - WDM

- * Multipleks talasnih dužina (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*) je srodan FDM principu multipleksiranja na bazi frekvencijske raspodele.
 - Koristi se u optičkim sistemima prenosa, omogućava bolje iskorišćenje kapaciteta optičkog vlakna.
 - Optičko vlakno karakteriše veoma širok opseg učestanosti, koji se može koristiti za prenos signala izuzetno velikih protoka ili prenos velikog broja signala optičkim sistemom prenosa.
- * Svakom od optičkih signala se pridružuje talas različite talasne dužine (različite frekvencije), pa se prenos većeg broja optičkih signala može izvršiti na različitim talasnim dužinama, odnosno njihovim multipleksiranjem u zajednički snop koji se prenosi istim optičkim vlaknom.



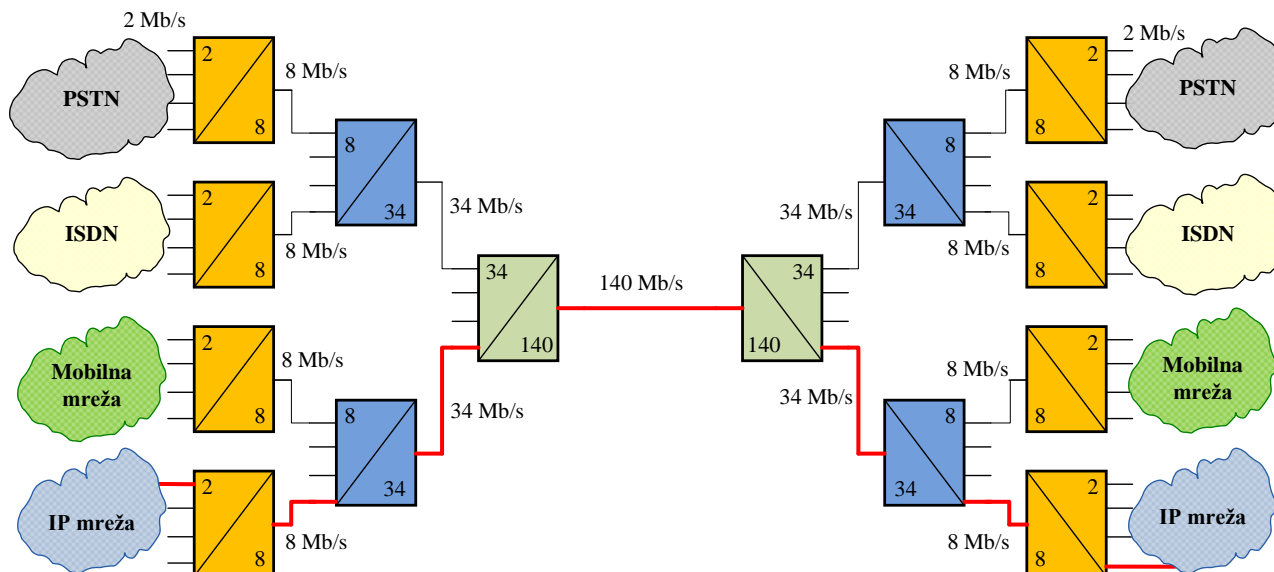
Vremenski multipleks - TDM

- * Korisnicima u sistemu na bazi vremenskog multipleksa (TDM) dodeljuju se unapred definisani *nepreklapajući vremenski intervali*, čime se formira zajednički tok podataka velikog kapaciteta koji se prenosi u *istom opsegu učestanosti*.
- * Mogu se razlikovati sinhroni i statistički TDM multipleks.
 - Kod sinhronog TDM prenosa korisnicima multipleksa se *unapred* dodeljuje fiksni vremenski interval u okviru okvira (frejma) fiksne dužine u kojem svaki od korisnika na raspolaganju ima svoj slot za prenos signala (bez obzira da li kod korisnika postoji potreba za prenosom ili ne).



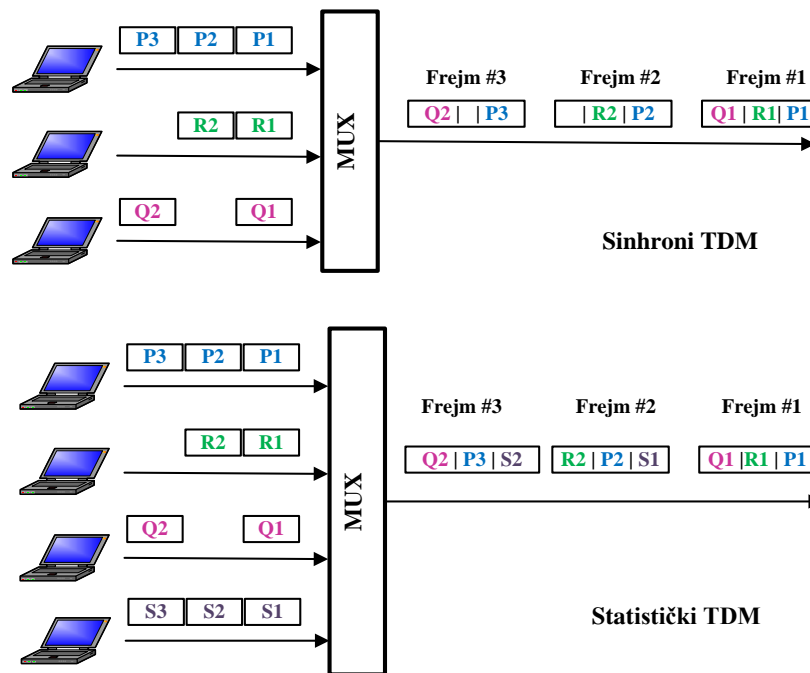
Vremenski multipleks – primena PDH

- * Začetnik savremenih sistema kod kojih se koristi TDM je hijerarhijski prenos multipleksnog digitalnog telefonskog signala između lokalnih digitalnih centrala telefonske mreže. Poznat je pod nazivom E1 u Evropi i T1 u SAD.
 - Signal se prenosi u analognom obliku do telefonske centrale, gde se digitalizuje i dobija se digitalni signal protoka 64kb/s. U Evropi se multipleksiranjem 30 govornih telefonskih kanala i dva dodatna kanala za sinhronizaciju i signalizaciju, dobija E1 nivo digitalne hijerarhije protoka 2048 kb/s; u SAD i Japanu multipleksiranjem 24 telefonska kanala dobija se T1 grupa.
 - Multipleksiranje se dalje obavlja tako da svakom višem nivou odgovaraju digitalni signali većeg protoka, da bi se preneo veći broj telefonskih kanala između telefonskih centrala višeg nivoa.
 - Kroz PDH sistem moguć je i prenos različitih vrsta podataka, ali se kanali dodeljeni korisniku smatraju zauzetim bez obzira da li se podaci emituju ili ne.



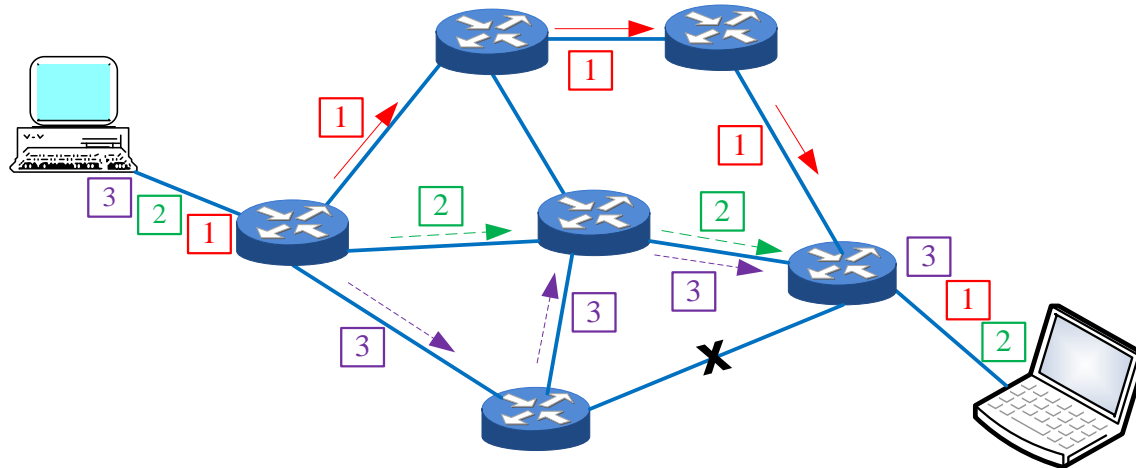
Sinhroni i statistički TDM

- * U slučaju *statističkog TDM multipleksa* resursi se stavljaju na raspolaganje korisnicima *samo u slučaju potrebe za prenosom informacija*, čime se poboljšava efikasnost korišćenja resursa. Podaci svakog od korisnika multipleksa se u dolaznom redosledu segmentiraju u okvire (frejmove) određene dužine, koji se formiraju samo u slučaju kada postoje podaci koje je potrebno preneti.
- * Multipleksiranje se izvršava na nivou paketa, pa se pri ovakvom prenosu radi o jednoj vrsti *paketske komutacije (packet switching)*, dok sinhroni TDM i FDM predstavljaju način prenosa koji se zasniva na *komutaciji kola (circuit switching)*.



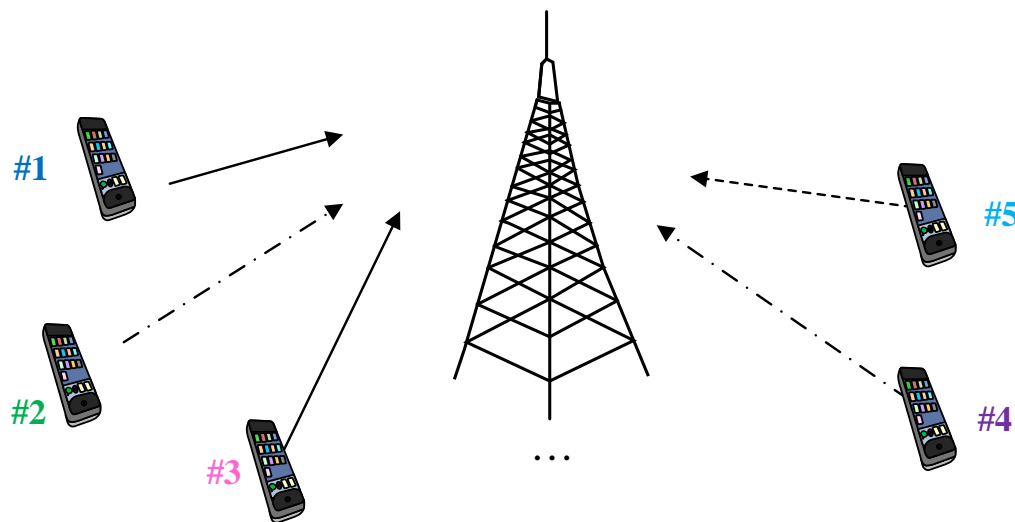
Komutacija kola i komutacija paketa

- * Kada se prilikom uspostavljanja veze između korisnika svakom kanalu dodeljuje jedna putanja kroz mrežu, kojom se podaci prenose onim redosledom kojim su poslani prenos se vrši na bazi *komutacije kola* (*circuit switching*).
- * U savremenim telekomunikacionim mrežama najčešće se obavlja *komutacija paketa* (*packet switching*) – princip prenosa u IP (*Internet Protocol*) mrežama.
 - Podaci koji se prenose segmentiraju se u pakete. Paket sadrži zaglavlje u kome je naveden izvor, odredište, redni broj paketa iz niza paketa upućenih od nekog izvora ka odredištu, itd.
 - Za svaki paket može se odrediti optimalna putanja, kojim se smanjuje opterećenje mreže, povećava brzina i pouzdanost prenosa poruka do odredišta.
 - Na odredištu se vrši preuređivanje redosleda primljenih paketa i kompletiranje poruke.



Vrste višestrukog pristupa

- * *Na koji način urediti pristup svih korisnika spektra zajedničkim resursima?*
- * **Višestruki pristup - skup tehnika kojima se omogućava da više nezavisnih korisnika istovremeno koriste isti medijum za prenos informacija.**
- * **Kontrolu pristupa resursima vrši centralni kontrolor sistema koji dinamički *na zahtev korisnika* određuje *koji korisnik* će imati na raspolaganju resurse.**
- * **Dodeljivanje resursa raznim korisnicima sistema *se menja u toku vremena*, u zavisnosti od ostalih zahteva u sistemu i raspoloživosti resursa.**



Vrste višestrukog pristupa

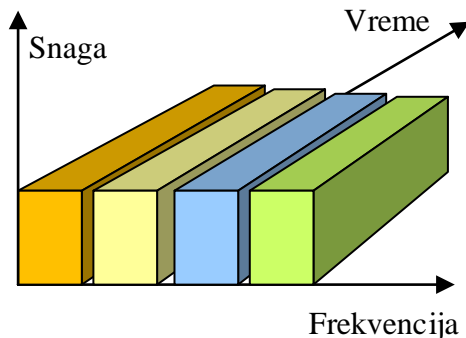
Primenom tehnika višestrukog pristupa omogućava se da veliki broj korisnika sistema može nezavisno pristupati spektralnim resursima, uz njihovu dobru iskorišćenost i visok kvalitet servisa krajnjih korisnika.

Tehnike višestrukog pristupa mogu se podeliti na nekoliko osnovnih vrsta:

- FDMA (*Frequency Division Multiple Access*),
- TDMA (*Time Division Multiple Access*),
- CDMA (*Code Division Multiple Access*),
- OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*),
- SDMA (*Space Division Multiple Access*),
- Slučajni pristup resursima (*Random Access, RA*).

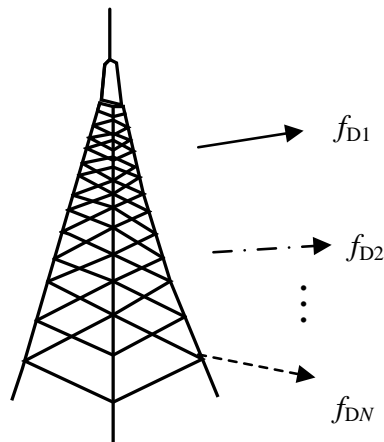
FDMA (*Frequency Division Multiple Access*)

- * Tehnika višestrukog pristupa na bazi frekvencijske raspodele kanala.
- * Celokupan opseg učestanosti koji je na raspolaganju za prenos signala svih korisnika deli se na veći broj nepreklapajućih podopsega (definišu se centralnom učestanošću i širinom opsega).
- * Prenos signala svakog od korisnika u njemu dodeljenom opsegu frekvencija obavlja se putem neke od tehnika modulacija.
- * U svakom od opsega signali se emituju kontinualno i bez međusobnog ometanja, korišćenjem zaštitnih opsega između kanala.
- * Raspodela korisnika u odgovarajuće kanale najčešće se obavlja *u postupku uspostave poziva*, pa se nakon ove faze taj opseg dodeljuje na neprekidno trajno korišćenje korisniku u toku celokupnog trajanja poziva.

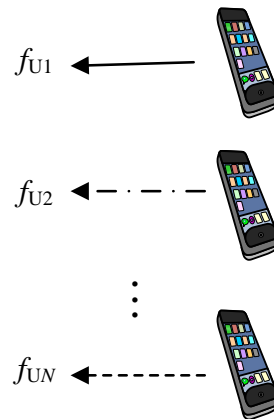


FDMA (*Frequency Division Multiple Access*)

- * FDMA predstavlja najjednostavniji i najstariji način pristupa zajedničkim resursima. Čelijski sistemi prve generacije (1G) mobilne telefonije su raspodelu resursa među korisnicima zasnivali na ovom principu.
- * Nedostatak ovog pristupa je u smanjenom nivou fleksibilnosti i ograničenjima u hardveru (potreban veliki broj filtara za realizaciju). Spektralna efikasnost je značajno ograničena primenom zaštitnih opsega između frekvencijskih kanala. Za prenos signala u punom dupleks režimu rada, za svaki od smerova prenosa potrebno je obezbediti zaseban opseg frekvencija.

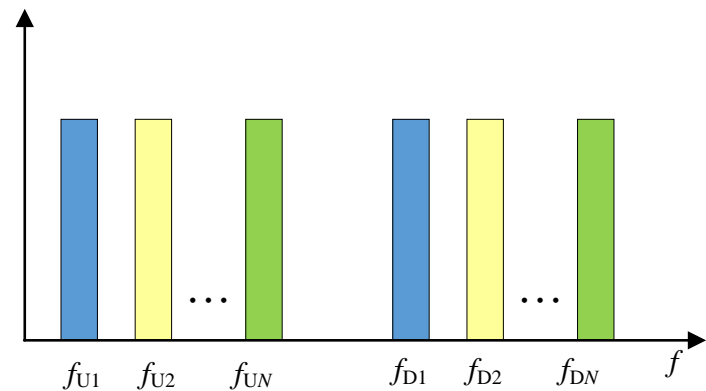


Od bazne stanice ka mobilnim korisnicima (*downlink*)



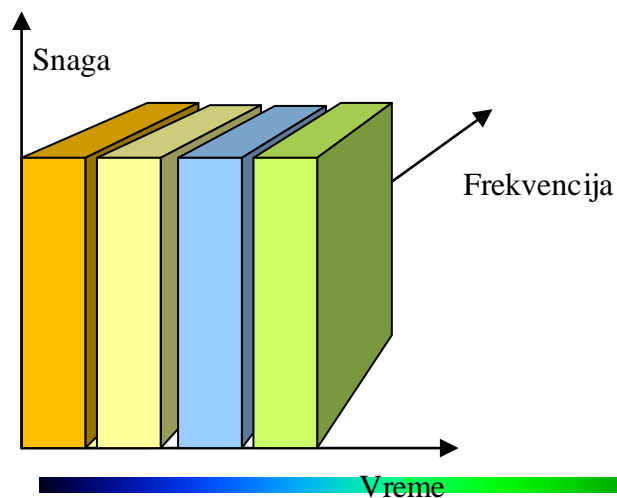
Od mobilnih korisnika ka baznoj stanici (*uplink*)

Veza u punom dupleks režimu rada između bazne stanice i mobilnih korisnika ostvaruje se kroz FDD pristup.



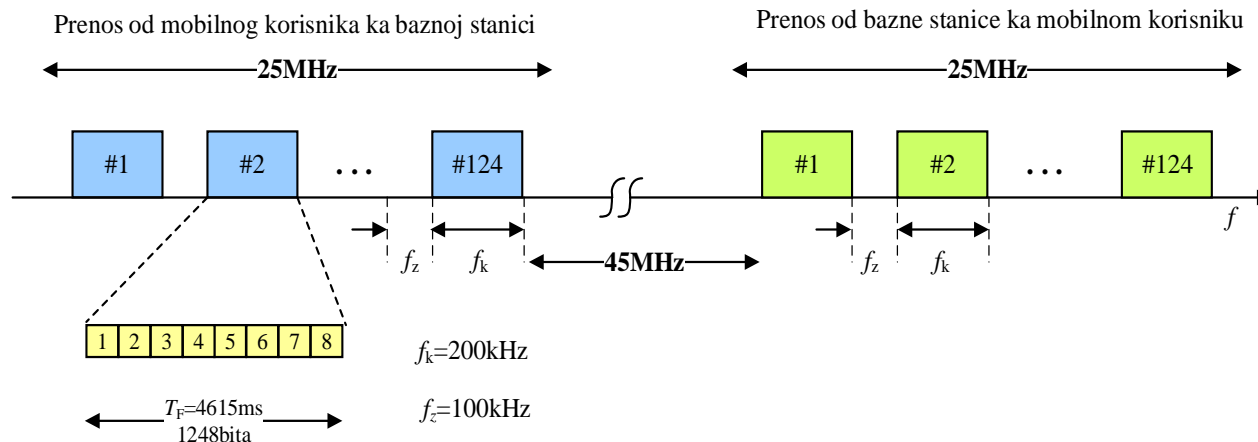
TDMA (*Time Division Multiple Access*)

- * TDMA - tehnika višestrukog pristupa na bazi vremenske raspodele kanala.
- * Primena TDMA moguća je isključivo u slučaju prenosa digitalnih signala.
- * Korisnici koji pristupaju resursima sistema imaju na raspolaganju celokupan opseg učestanosti *u tačno određenim nepreklapajućim vremenskim intervalima*.
 - Za pravilan rad sistema ključna je sinhronizacija među korisnicima.
 - *Sinhronizacija se obezbeđuje pomoću centralnog kontrolera koji šalje signal sa kojim svi predajnici sinhronizuju svoje taktove.*
 - Da bi se osigurao prenos signala u nepreklapajućim intervalima između emitovanja signala postoji zaštitni interval kojim se kompenzuje dozvoljena greška u sinhronizaciji, nastala usled fizičkih rastojanja korisnika u mreži (tj. usled različitih propagacionih kašnjenja u zavisnosti od lokacije korisnika).



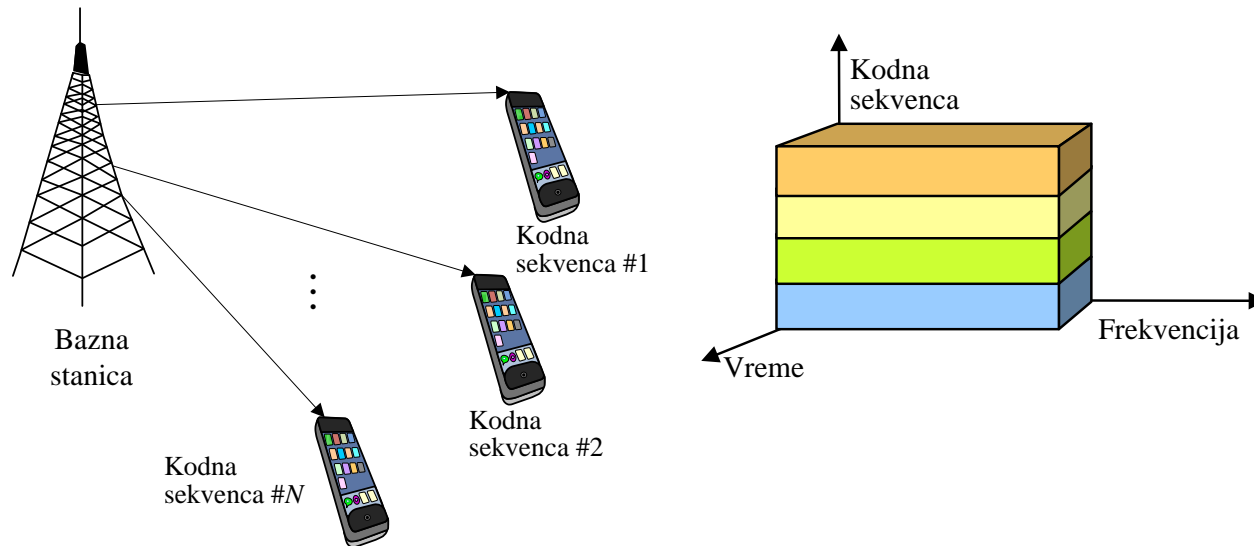
TDMA/FDMA

- * TDMA ima veoma široku primenu, često i u hibridnim verzijama.
- * Hibridni TDMA/FDMA pristup primenjen je u GSM (*Global System for Mobile Communication*) sistemu druge generacije mobilne telefonije (2G).
 - Prenos signala svih aktivnih korisnika vrši se korišćenjem 124 frekvencijska kanala, pri čemu se svakim od njih mogu preneti podaci 8 korisnika (oni mogu pristupiti resursima primenom TDMA na jednoj frekvenciji).
 - Primenom FDD frekvencijskog dupleksa svaki od 124 frekvencijska kanala ima dodeljena dva opsega za ostvarivanje dvosmerne komunikacije u *punom dupleks* režimu rada.
 - U Evropi je za prenos signala na uzlaznoj vezi (*uplink*) od mobilnog korisnika ka baznoj stanici dodeljen opseg širine 25MHz (od 890 – 915 MHz), dok su za prenos signala na silaznoj vezi (*downlink*) od bazne stanice do mobilnog korisnika dodeljeni opsezi od 935 – 960 MHz. Svih 124 kanala u svakom od smerova prenosa su širine 200kHz i između njih se nalazi zaštitni opseg širine 100kHz.



CDMA

- * **CDMA** (*Code Division Multiple Access*) predstavlja tehniku višestrukog pristupa na bazi *kodne raspodele kanala*.
- * Kod CDMA ne postoji jasna razdvojenost dodeljivanja resursa u spektralnom ili vremenskom domenu, kao što je to slučaj kod FDMA i TDMA pristupa.
- * CDMA pristup moguće primeniti isključivo u slučaju prenosa digitalnih signala.
- * Signali svakog od korisnika prenose se u opsegu čija je širina znatno veća od minimalne širine potrebne za njegov prenos, pa je ovakav način prenosa poznat i kao prenos signala *u proširenom spektru* (*spread spectrum*).

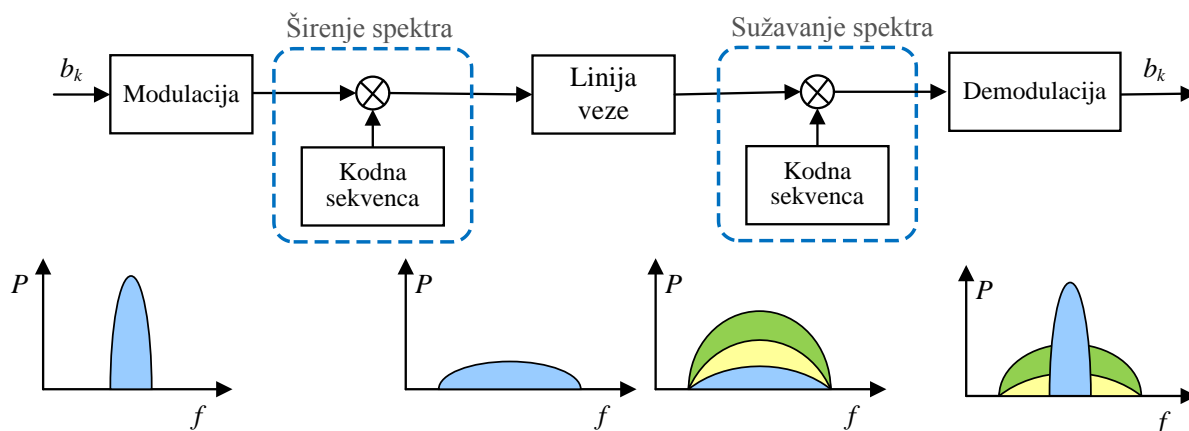


DSSS/CDMA

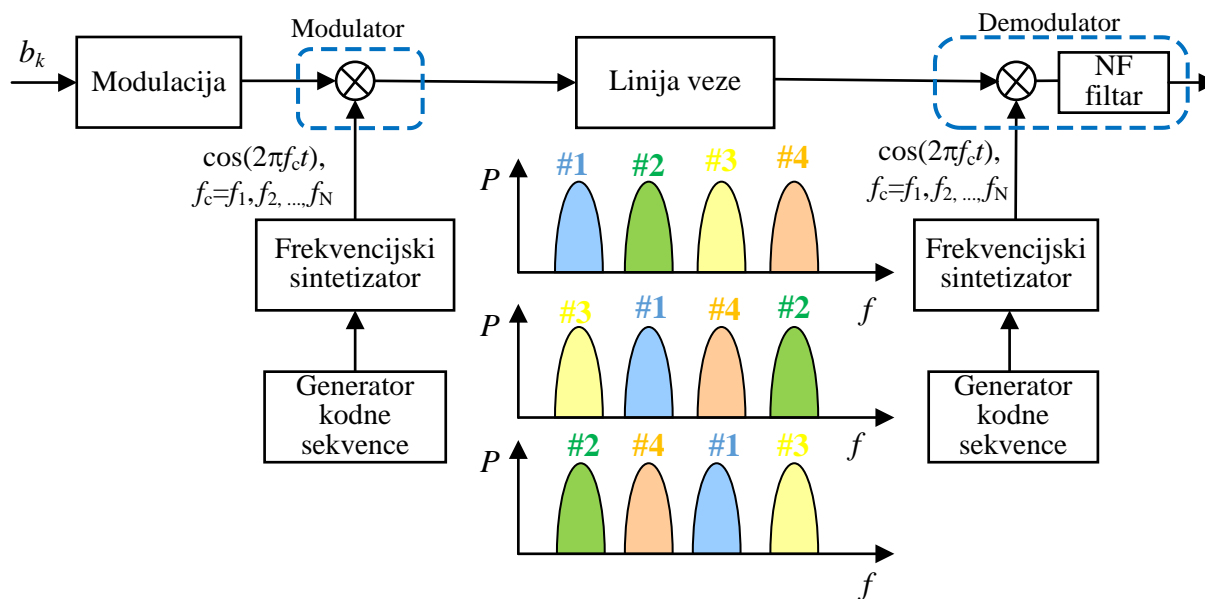
* Tehnika višestrukog pristupa na bazi kodne raspodele kanala sa primenom širenja spektra direktnom sekvencom (DSSS, *direct sequence spread spectrum*).

DSSS/CDMA sistema primenjena u trećoj generaciji mobilne telefonije (3G) i GPS.

- Svakom od korisnika koji pristupa resursima dodeljuje se jedinstvena *pseudoslučajna kodna sekvenca* (PSS). PSS se predstavlja digitalnim signalom znatno većeg protoka od informacionog signala.
- Ukoliko se koristi N ortogonalnih kodnih sekvenci, svaka od njih se može pridružiti jednom od signala korisnika i istovremeno se mogu u istom opsegu učestanosti prenositi signali N korisnika.
- Predajni signal se formira množenjem informacionog digitalnog signala PSS sekvencom koja se periodično ponavlja. Na taj način se dobija signal znatno šireg spektra, tj. SGSS dobijenog signala je znatno manja u odnosu na signal pre „širenja spektra“ (nalik šumu).
- Na prijemu se signal koji se prenosi *rekonstruiše*. Prijemni signal se množi dodeljenom kodnom sekvencom u posmatranom kanalu, čime se istovremeno izdvaja signal željenog korisnika i potiskuju druge postojeće smetnje i interferencije u sistemu.



FHSS/CDMA

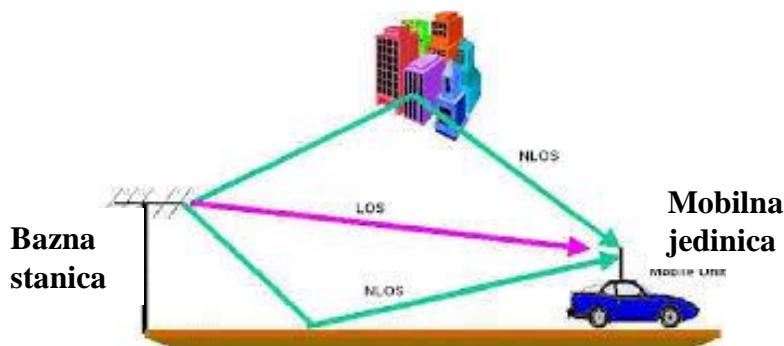


*Patent 1942
Hedy Lamarr
George Antheil*

- * Višestruki pristupa na bazi kodne raspodele kanala sa primenom širenja spektra frekvencijskim skakanjem (FHSS, *frequency hopping spread spectrum*).
- * FHSS/CDMA način pristupa koristi se u *Bluetooth* sistemima prenosa.
- * Signal se prenosi u opsegu koji je znatno širi od minimalne učestanosti potrebne za prenos. Spektar se „širi“ stalnom promenom („skakanjem“) frekvencije nosioca unutar širokog opsega učestanosti u skladu sa datom pseudoslučajnom kodnom sekvencom. Prijemnik je sinhronizovan sa predajnikom (podešen na istu centralnu učestanost).

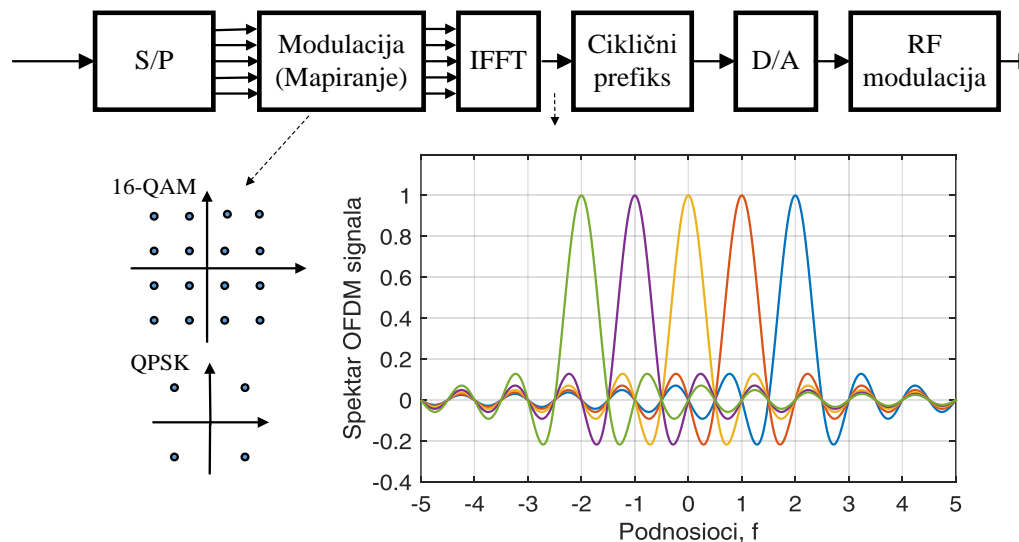
OFDMA

- * **OFDMA** (*Orthogonal frequency-division multiple access*) je tehnika višestrukog pristupa koja se koristi u velikom broju savremenih telekomunikacionih sistema.
- * Signali se prenose primenom velikog broja međusobno *ortogonalnih* podnosioca u paralelnim frekvencijskim podkanalima.
 - Kod FDMA učestanosti podnosioca su proizvoljno izabrane, između susednih podkanala postoji zaštitni opseg. Učestanosti podnosilaca kod OFDMA zadovoljavaju uslov ortogonalnosti, pa je rastojanje susednih nosilaca manje i OFDMA karakteriše znatno veća spektralna efikasnost.
- * Zahvaljujući ortogonalnosti nosilaca postiže se otpornost na uticaj neidealnih karakteristika kanala.
 - U bežičnim telekomunikacionim sistemima dolazi do reflektovanja signala o brojne prepreke u okruženju, dolazi do efekta višestruke propagacije koji rezultuje neidealnim kanalom (frekvencijski selektivnim), pa pojačanje u okviru frekvencijskog opsega od interesa može imati velike varijacije.



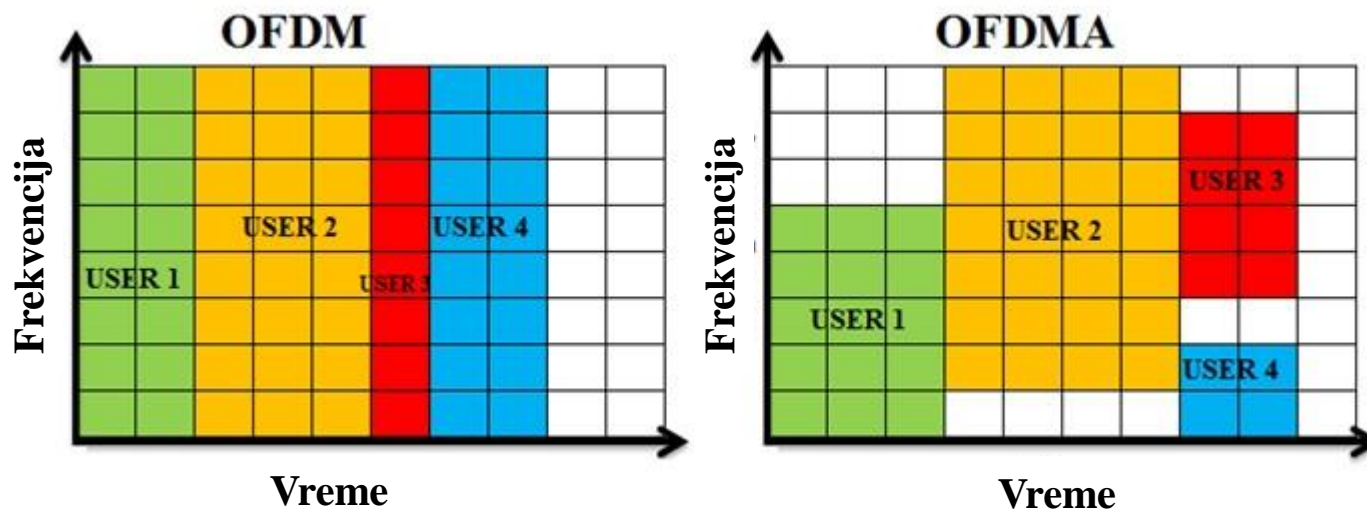
OFDMA

- * Ideja OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) tehnike je da se prenos signala u opsegu širine B prenosi u velikom broju *ortogonalnih* podkanala N , pa su amplitudske karakteristike unutar podkanala približno konstantne.
- * Dolazni tok podataka prenosi u *paraleli* preko N nosilaca čime se *manjuje* brzina prenosa u svakom od podopsega.
- * Ortogonalni podnosioci f_k ($k = 1, 2, \dots, N$) su odabrani tako da se prenos vrši u minimalnom opsegu, a bez interferencije između podkanala, čime se maksimizira spektralna efikasnost.



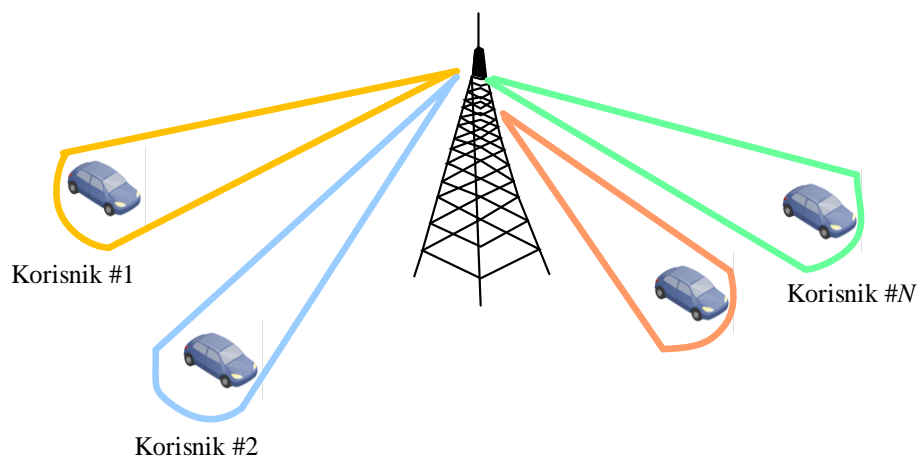
OFDMA

- * OFDMA je tehnika višestrukog pristupa, omogućava istovremeni prenos podataka više korisnika na različitim nosiocima.
- * Primenjena u većem broju sistema, 802.11ax (poznat kao *Wi-Fi 6*) i LTE (*Long-Term Evolution*) sistemu četvrte generacije mobilne telefonije (4G).
 - OFDM predstavlja tehniku modulacije, pa se na svim nosiocima prenose podaci istog korisnika.
 - Signali različitih korisnika prenose se na većem broju *ortogonalnih podnosioca*, ali su nosioci u OFDMA podeljeni u odgovarajuće podgrupe. Podgrupe definišu podkanale koji mogu biti dodeljeni jednom korisniku i raspodela se može menjati samo u okviru celobrojnog umnoška trajanja OFDM simbola. Na ovaj način omogućava se dodela veće snage onim podnosiocima (podkanalima) koji imaju lošije uslove propagacije, da bi se ostvario zahtevani odnos snage signala i šuma na prijemu. Prenos se dinamički prilagođava i izbegavaju se podkanali na velikim slabljenjima.



SDMA (*Space Division Multiple Access*)

- * U SDMA se koristi princip razdvajanja signala u prostoru, koje se postiže usmerenim zračenjem antena i primenom dodatnih tehnika obrade signala.
 - Emitovanje signala kojim se prenosi informacija može se izvršavati u svim pravcima (omnidirekciona antena), a može biti i usmereno u željenom pravcu (usmerena antena).
- * Primenom usmerenog zračenja korisnici koji su dovoljno razdvojeni u prostoru mogu istovremeno koristiti isti opseg učestanosti bez uzajamnog ometanja.
 - U ćelijskim mobilnim sistemima, korisnici koji se nalaze u ćelijama na dovoljnoj prostornoj udaljenosti mogu da vrše prenos signala na istim učestanostima. Uobičajeno se koriste tri usmerene antene, koje stvaraju sektore širine 120° i omogućavaju ponovno korišćenje frekvencija u dovoljno razdvojenim ćelijama, čime se povećava spektralna efikasnost.
 - U naprednim SDMA pristupima korišćenjem pametnih antena i adaptivnih antenskih nizova se *uobličava snop zračenja* tako da se pojačava signal u pravcu željenog korisnika i smanjuje interferencija preostalim korisnicima.

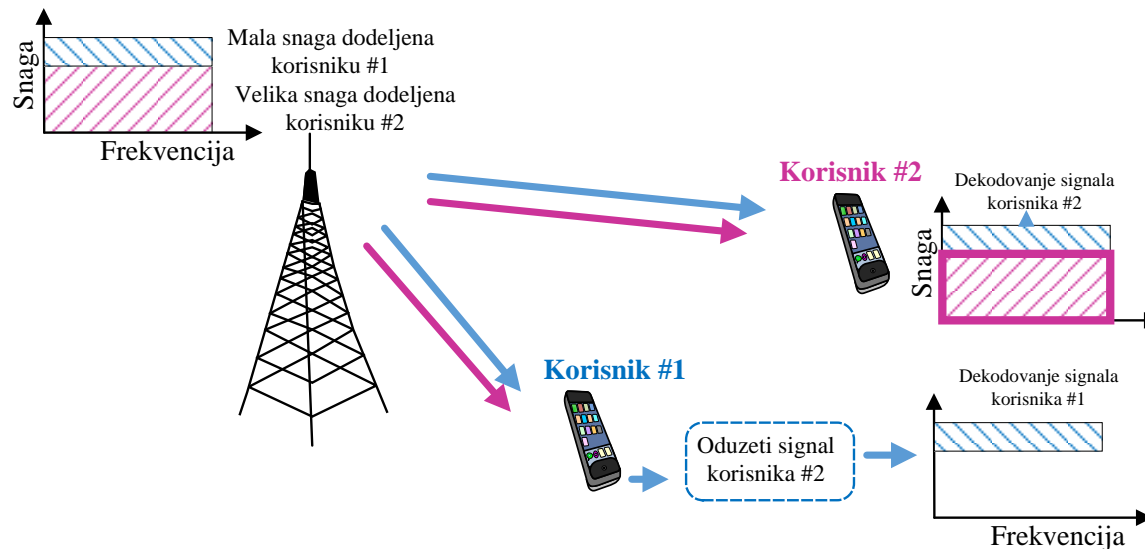


OMA i NOMA

- * U petoj generaciji mobilne telefonije (5G sistemi), izazovi za optimalno korišćenje resursa su veoma kompleksni zbog zahteva za ostvarivanjem komunikacije sa znatno većim brojem korisnika sistema raznolikih zahteva.
 - Visoka spektralna i energetska efikasnost,
 - Veoma mala kašnjenja ($\sim 1\text{ms}$),
 - Masovna povezanost uređaja ($\sim 10^6$ „ pametnih“ uređaja na km^2),
 - Izuzetno visoka pouzdanost sistema (99.999%),
 - Različiti nivoi kvaliteta servisa za različite klase korisnika.
- * Primenjuje se koncept masovnih višeantenskih sistema (*Multiple Input Multiple Output*, MIMO) za povećanje spektralne efikasnosti i ultra-guste mreže kod kojih se kroz veliki broj malih ćelija ostvaruje visok nivo uštede energije.
- * Za istovremeni pristup većeg broja *različitih vrsta* korisnika istom opsegu učestanosti promenjen je i princip pristupa resursima.
 - U prethodnim generacijama sistema korišćen je ortogonalan pristup (*Orthogonal Multiple Access*, OMA), gde svaki od korisnika *ima zaseban frekvencijski opseg, vremenski slot ili kodnu sekvencu*, čime se *izbegava interferencija između korisnika sistema koji pristupaju resursima*.

NOMA

- * Neortogonalni koncept pristupa (*NonOrthogonal Multiple Access, NOMA*) ima veliki potencijal za primenu u 5G.
- * Korisnici mogu da istovremeno pristupaju resursima u istom opsegu učestanosti i da stvaraju određeni nivo uzajamne interferencije.
 - U prijemnicima se vrši iterativno poništavanje interferencije primenom SIC (*Successive Interference Cancelization*) algoritma.
 - Za realizaciju sistema sa visokom spektralnom efikasnošću potreban je visok nivo kompleksnosti prijemnika i sposobnost obrade velike količine podataka.



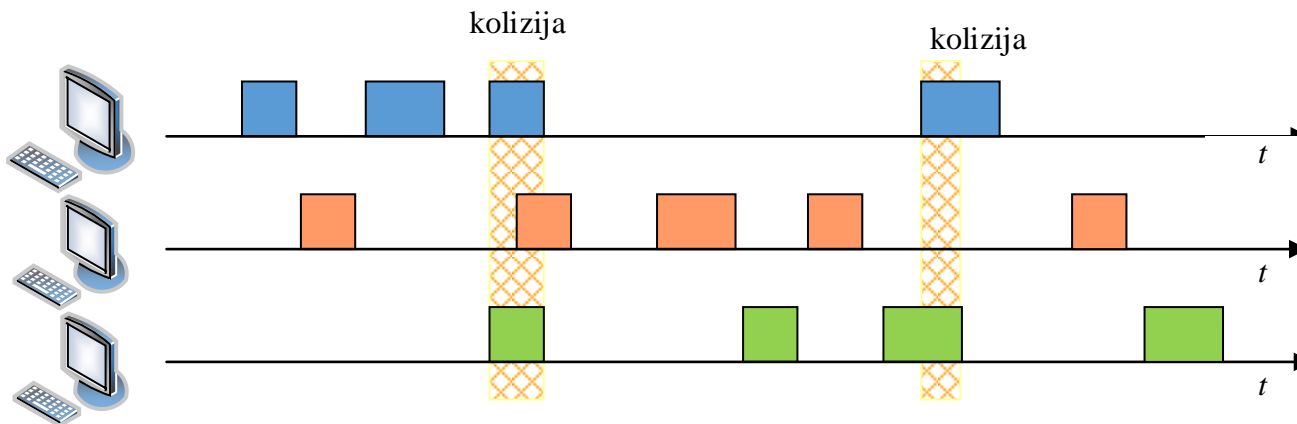
Ilustracija koncepta NOMA pristupa sa dva korisnika

Slučajan pristup

- * Tehnike slučajnog pristupa medijumu za prenos signala prilagođene su potrebama korisnika sa *velikim varijacijama u količini saobraćaja*.
- * Postoje različite varijante protokola slučajnog pristupa. U zavisnosti od količine saobraćaja i protokola prenosa razlikuju se i performanse sistema, koje se dominantno ogledaju kroz ostvarivi protok i kašnjenje paketa.
- * Primenom tehnika slučajnog pristupa, zajednički resursi se *ne dodeljuju na bazi unapred definisanog rasporeda*, već se resursima pristupa u *slučajnom trenutku*, kada korisnik želi da prenese jedan ili više paketa podataka.
- * Kao posledica *slučajnosti* u trenutku pristupa, postoji mogućnost da dva ili više korisnika *istovremeno* žele da pristupe resursima, pa dolazi do tzv. *sudara* ili *kolizije* paketa. U tom slučaju potrebno je primeniti retransmisiju paketa, primenom definisanog protokola.
 - ALOHA
 - CSMA
 - CSMA/CD
 - CSMA/CA

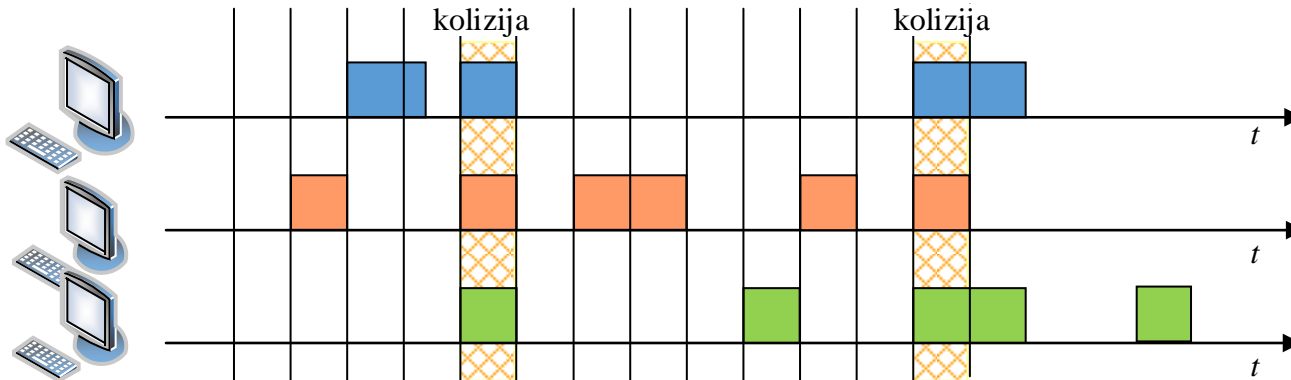
Pure ALOHA

- * ALOHA - grupa protokola za retransmisiju (University of Hawaii, 1968).
- * Najjednostavniji protokol iz ove grupe je originalni ALOHA (*pure ALOHA*).
 - Prva bežična paketska mreža za prenos podataka (Hawaii, 1971).
- * Korisnik pristupa medijumu za prenos *kada god* ima paket namenjen transmisiji, paket se emituje u proizvoljnom vremenskom trenutku
- * Do kolizije paketa dolazi ukoliko dva korisnika *istovremeno* žele da emituju paket.
- * Pouzdanost u prenosu paketa obezbeđuje se potvrdom o primljenom paketu.
 - Nakon emitovanja paketa, pošiljalac čeka unapred definisani interval potvrdu o ispravnom prijemu od strane prijemnika. Ako potvrda o prijemu ne stigne u okviru datog intervala, korisnik smatra da je došlo do greške pri prenosu. Retransmisija paketa se vrši nakon slučajnog vremenskog intervala (sprečava se ponovna potencijalna kolizija paketa dva ili više korisnika).



Sinhroni ALOHA

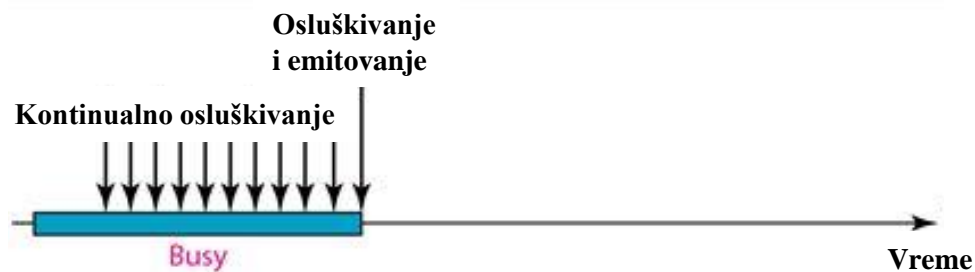
- * **Sinhronizovani ALOHA protokol (*slotted* ALOHA, S-ALOHA) osmišljen sa ciljem smanjenja verovatnoće kolizije paketa.**
 - Verovatnoća je mala u slučajevima kada je intenzitet saobraćaja mali, dok raste sa povećanjem intenziteta saobraćaja i porastom broja korisnika.
- * **Početak emitovanja paketa moguć *samo* u ekvidistantnim vremenskim trenucima, jednakim intervalu vremena potrebnom za prenos paketa.**
 - U ovom konceptu u celom sistemu je potrebna sinhronizacija emitovanja paketa.
 - Sinhronizacijom se ne eliminiše u potpunosti verovatnoća da dva ili više korisnika istovremeno emituju paket, ali se verovatnoća kolizije se smanjuje.
 - Veoma značajan koncept, ali je veliki nedostatak relativno mali maksimalan protok koji se može ostvariti ovim pristupom.



CSMA

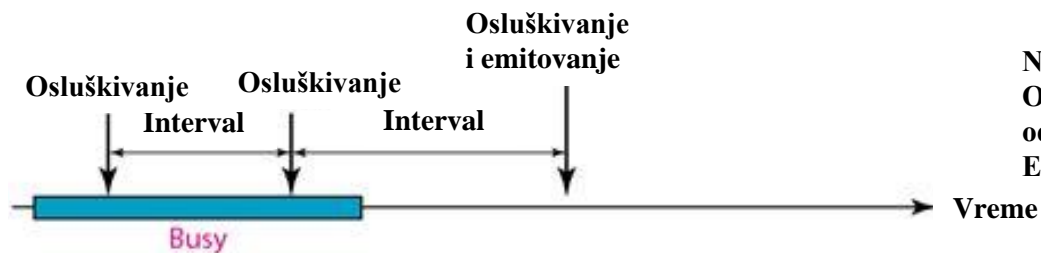
- * CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*) metoda slučajnog pristupa.
- * Da bi se smanjula verovatnoća kolizije svaki korisnik pre početka emitovanja paketa vrši „osluškivanje“ (*sensing*) medijuma za prenos.
 - Verovatnoća kolizije je primenom CSMA je smanjena, ali nije eliminisana.
 - Potrebno je određeno vreme od trenutka početka emitovanja paketa jednog korisnika do trenutka kada signal nakon propagacije na korišćenom medijumu stigne do svih potencijalnih korisnika, koji tek tada mogu da detektuju njegovo prisustvo.
 - Interval vremena u okviru kojeg može doći do kolizije jednak je propagacionom kašnjenju signala pri prenosu kroz celokupan medijum.
- * CSMA protokoli se razlikuju u zavisnosti od „upornosti“ predajnika (*nonpersistent/persistent*), tj. načina osluškivanja spektra pre emitovanja paketa.
 - U verziji CSMA protokola sa „upornim“ predajnikom, on ne čeka slučajan vremenski interval nakon neuspešnog pokušaja emitovanja, već sve vreme osluškuje medijum i vrši transmisiju paketa čim ustanovi da je medijum slobodan za prenos. Problem se može javiti ukoliko više od jednog predajnika čeka na emitovanje paketa.
 - Kada predajnik nije „uporan“ on osluškuje medijum kada god ima paket koji bi trebalo da pošalje. Ukoliko je medijum zauzet za prenos signala, predajnik čeka neki slučajan vremenski interval, nakon čega se ponovo vrši osluškivanje i u slučaju da je medijum slobodan vrši emitovanje paketa.

CSMA



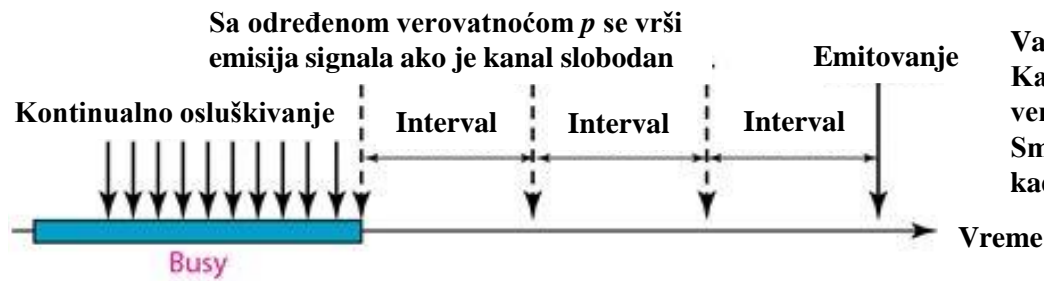
1-persistent

„Uporan“
Problem ukoliko više korisnika istovremeno želi da započne emitovanje



Nonpersistent

Nije „uporan“
Osluškivanje nije kontinualno, već se vrši sa određenim slučajnim međuintervalima.
Emitovanje se vrši kada je medijum slobodan.

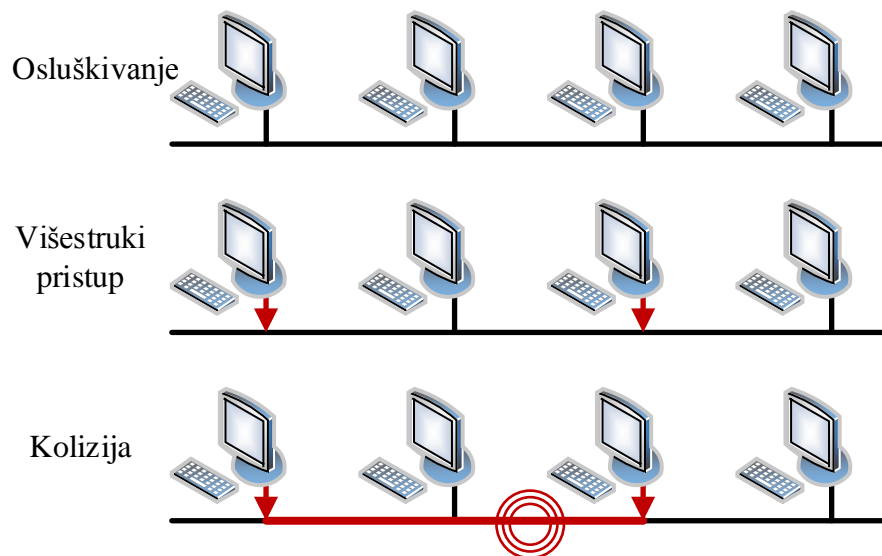


p-persistent

Varijanta sa prednostima prethodna dva tipa.
Kada je medijum slobodan emisija se vrši sa verovatnoćom p , tj. ne vrši se sa verovatnoćom $(1-p)$.
Smanjuje verovatnoću kolizije paketa više korisnika, kada se medijum oslobodi.

CSMA/CD

- * CSMA/CD (*collision detection*) predstavlja varijantu CSMA protokola sa detekcijom kolizije. Nasuprot standardnom CSMA protokolu kod kojeg u slučaju kada dođe do kolizije, svaki od predajnika emituje ceo paket, kod CSMA/CD varijante protokola *prenos paketa se odmah prekida*.
- * Predajnici šalju obaveštenje na mreži da je došlo do kolizije.
- * Ponovno emitovanje paketa se pokušavaju nakon slučajnog vremenskog intervala (da bi se sprečila ponovna kolizija u prenosu).
- * Ovakav način pristupa koristi se najčešće u *Ethernet* lokalnim mrežama.



CSMA/CA

- * U bežičnim sistemima princip prenosa CSMA/CD nije praktičan jer detekcija kolizije nije pouzdana usled efekta skrivenog čvora, koji nastaje kada je čvor mreže vidljiv pristupnoj stanici, ali ne i ostalim čvorovima u mreži.
- * U CSMA/CA (*collision avoidance*) varijanti protokola sa izbegavanjem kolizije, predajnik pre emitovanja signala emituje širokodifuzni (*broadcast*) signal, čime proverava da li je došlo do kolizije i najavljuje emitovanje svog paketa drugim čvorovima.

Ilustracija problema skrivenog čvora

