

5 TEHNIKE VIŠESTRUKOG PRISTUPA U MOBILNIM CELULARNIM MREŽAMA

U Glavi 4 je pokazano kako se u celularnim sistemima geografska zona pokrivanja dijeli na ćelije u okviru kojih mobilni terminali ostvaruju komunikaciju sa pripadajućim baznim stanicama. Osnovni cilj pri projektovanju ovakvih mreža je omogućavanje što je moguće većeg kapaciteta, u smislu broja korisnika, u okviru datog opsega učestanosti i za specificirani nivo pouzdanosti komunikacije. S druge strane, zahvaljujući ponavljanju frekvencija, ostvaruje se i efikasnije korišćenje dodijeljenog frekvencijskog opsega, što imajući u vidu ograničenost tog resursa, predstavlja značajnu prednost celularnih radio sistema, koja je i omogućila njihovu ekspanziju.

U tom kontekstu, koncepti dupleks prenosa i višestrukog pristupa su suštinski za ostvarivanje dvosmjerne komunikacije između mobilnog korisnika i ukupne mreže, kao i za omogućavanje korišćenja raspoloživih mrežnih resursa od strane više korisnika. Tako se npr. simultane komunikacije između MS i BS realizuju zahvaljujući dupleks prenosu, dok su simultane komunikacije između više MS i jedne BS u određenom smjeru (downlink-DL ili uplink-UL) moguće primjenom tehnika višestrukog pristupa.

Tehnike višestrukog pristupa stvaraju uslove da više korisnika komunicira u okviru istog frekvencijskog opsega, što i jeste glavni cilj njihove implementacije. Promjenljivost mobilnog radio kanala predstavlja značajan izazov u projektovanju celularnih sistema, uključujući i izbor adekvatnog pristupa za višestruki prenos.

Postoje tri tradicionalna koncepta višestrukog pristupa u mobilnim radiokomunikacijama. To su:

- Frekvencijski multipleks (*Frequency Division Multiple Access* - FDMA),
- Vremenski multipleks (*Time Division Multiple Access* - TDMA),
- Kodni multipleks (*Code Division Multiple Access* - CDMA).

Kod FDMA tehnike korisnici se razdvajaju u frekvencijskom domenu, kod TDMA tehnike u vremenskom domenu, dok kod CDMA tehnike više korisnika pristupa raspoloživom spektru

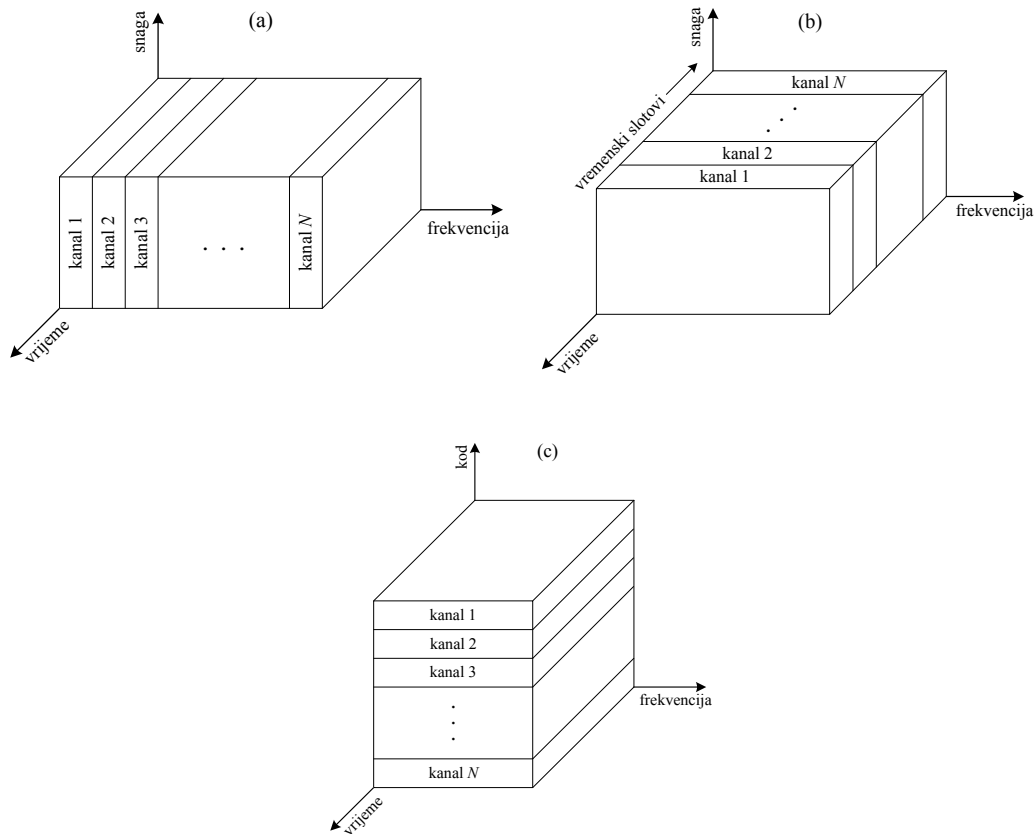
kontinualno tokom trajanja komunikacije, a korisnici su razdvojeni odgovarajućim kodovima. Princip razdvajanja korisnika za sve tri pomenute tehnike višestrukog pristupa prikazan je na slici 5.1.

Pored ove tri tehnike, u novijim generacijama celularnih mobilnih mreža implementirane su i tehnike prenosa posredstvom višestrukih nosilaca (*Multicarrier* – MC), koje služe kao osnova za realizaciju čitavog niza različitih tehnika višestrukog pristupa.

5.1 Principi dupleks prenosa

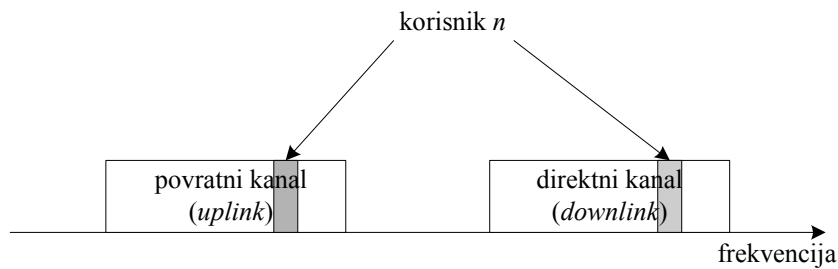
Pored višestrukog pristupa, potrebno je korisnicima omogućiti da razmjenjuju informacije međusobno, u oba smjera istovremeno. Kao što je poznato, ovakav tip veze naziva se dupleks. Dupleks se može postići razdvajanjem direktnog (DL) i povratnog (UL) kanala u frekvencijskom ili vremenskom domenu. Direktni kanal se koristi za prenos od bazne stanice prema mobilnoj jedinici (*downlink*), dok povratni kanal služi za prenos od mobilne jedinice prema baznoj stanici (*uplink*). Na taj način simultana komunikacija na DL i UL se postiže jednim od metoda multipleksiranja: *Frequency Division Duplexing* (FDD) i *Time Division Duplexing* (TDD).

Kod sistema koji rade na principu FDD-a, svaki korisnik za komunikaciju sa baznom stanicom koristi dva odvojena frekvencijska kanala, koji su dio direktnog, odnosno povratnog opsega. Ovi opsezi su odvojeni zaštitnim opsegom (*guard band*) (slika 5.2). Za sve korisnike, separacija između direktnog i povratnog kanala je ista. Kako se i za prijem i za predaju koristi ista antena, neophodno je koristiti duplekser za razdvajanje emitovanog i primljenog signala (slika 5.3).

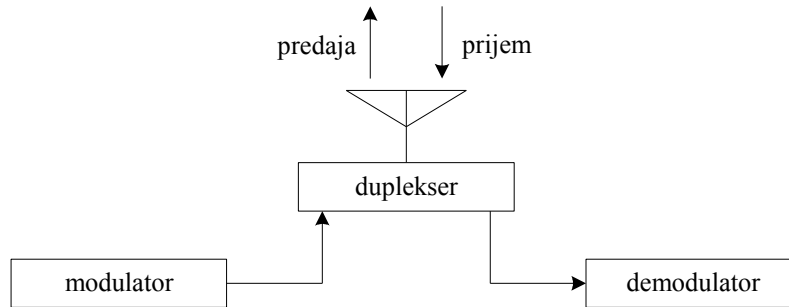


Slika 5.1 Koncept razdvajanja korisnika kod: (a) FDMA; (b) TDMA; (c) CDMA tehnike

Kod sistema koji rade na bazi TDD-a, direktni i povratni kanal su razdvojeni u vremenu (slika 5.4). Ako je vremenska separacija između vremenskog slotu u direktnoj, odnosno povratnoj vezi dovoljno mala (manja od 300 ms), može se smatrati da se slanje i prijem podataka odvija istovremeno (simultano). Dakle, TDD omogućava komunikaciju u oba smjera na istoj frekvenciji, tako da duplekser nije potreban.



Slika 5.2 Koncept Frequency Division Duplexing-a



Slika 5.3 Uloga dupleksera u radio sistemima sa FDD prenosom

Postoji nekoliko bitnih nedostataka jednog koncepta u odnosu na drugi koji određuju potencijalnu primjenu FDD ili TDD dupleksa. FDD je više orijentisan ka sistemima kod kojih se razdvajanje korisnika realizuje u frekvencijskom domenu. Kako svaki primo-predajnik (mobilna jedinica i bazna stanica) istovremeno i emituje i prima radio signale čija dinamika često dostiže i 100 dB, posebno se mora voditi računa o uticaju tih signala na sisteme koji rade u zaštitnom opsegu. Sa druge strane, kod TDD-a komunikacija u oba smjera se odvija na istoj nosećoj frekvenciji, te stoga nema potrebe za zaštitnim intervalom između direktnog i povratnog opsega. Međutim, suština TDD koncepta je da primo-predajnik u jednom trenutku radi ili u prijemnom ili u predajnom modu, unoseći na taj način određeno kašnjenje. To je posljedica činjenice da TDD ne omogućava dupleksni prenos u pravom smislu, zato što se komunikacija u jednom, odnosno drugom smjeru dešava naizmjenično, a ne istovremeno.



Slika 5.4 Koncept Time Division Duplexing-a

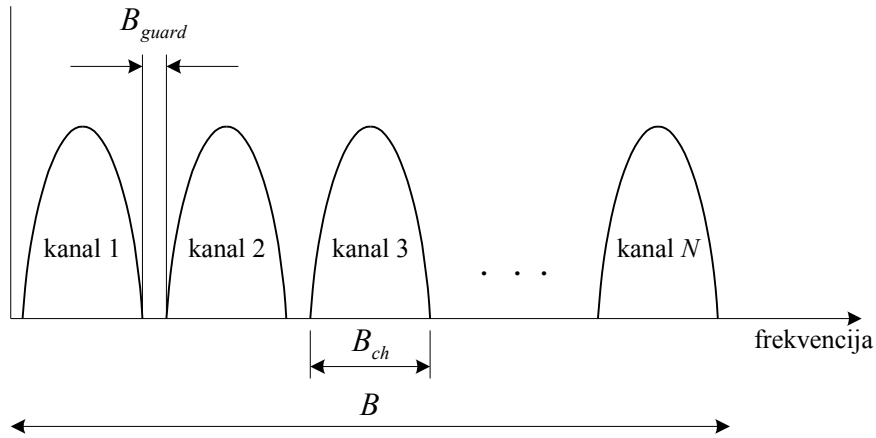
Tehnike višestrukog pristupa se koriste u kombinaciji sa nekom od varijanti dupleks prenosa. Tako se realizuju, FDMA/FDD, TDMA/FDD, TDMA/TDD, CDMA/FDD, CDMA/TDD i slično. Koja će konkretno dupleks šema biti implementirana zavisi od prirode prenosa, željenog kapaciteta, složenosti sistema, cijene itd.

5.2 FDMA

Višestruki pristup na bazi frekvencijske raspodjele kanala (FDMA) je najjednostavnija tehnika koja omogućava višestruko iskorišćenje raspoloživog spektra. Kod ove tehnike različiti korisnici su razdvojeni u frekvencijskom domenu, na način što svaki korisnik sa baznom stanicom komunicira na različitoj frekvenciji (kanalu). Pri tome, korisnici se jedan od drugog razdvajaju upotrebom filtara propusnika opega učestanosti čiji je propusni opseg jednak širini pojedinačnog kanala. FDMA tehnika je uglavnom korišćena kod analognih mobilnih radio sistema, a najpoznatiji celularni sistem koji se zasniva na ovoj tehnici je *Advanced Mobile Phone System* (AMPS).

Princip FDMA višestrukog pristupa prikazan je na slici 5.5. Raspoloživi opseg širine B , koji je opredjeljen za određeni radio sistem, dijeli se na N nepreklapajućih podopsega (kanala) širine B_{ch} . Da bi se redukovala interferencija iz susjednog kanala (susjedno-kanalna interferencija) u slučaju frekvencijske nestabilnosti nosećih frekvencija, između susjednih kanala se ostavlja mali zaštitni opseg (B_{guard}).

Kada korisnik generiše zahtjev za komunikaciju prema baznoj stanici, bazna stanica korisniku dodjeljuje jedan od slobodnih kanala koji taj korisnik koristi na "ekskluzivnoj osnovi". Taj kanal ne može biti dodijeljen ni jednom drugom korisniku u istoj ili susjednoj ćeliji, sve dok postojeći korisnik ne generiše zahtjev za raskidanje veze. Tek po raskidanju veze, kanal se može dodijeliti sljedećem korisniku. Kada korisnik u toku komunikacije pređe u susjednu ćeliju, njemu se automatski dodjeljuje jedan slobodni kanal u novoj ćeliji. Ako se uz FDMA koristi FDD (FDMA/FDD) tada je raspoloživi opseg podijeljen na dva jednaka podopsega. Svaki od njih se dalje dijeli na N kanala koji služe za UL, odnosno DL komunikaciju. Dakle, svakom korisniku se dodjeljuje par kanala (direktni i povratni).



Slika 5.5 Princip raspodjele kanala kod FDMA

Glavna pozitivna strana radio sistema sa FDMA višestrukim pristupom je njihova hardverska jednostavnost, što je posljedica koncepta razdvajanja korisnika posredstvom jednostavnih filtara propusnika opsega učestanosti. Kod ove tehnike nije potrebna nikakva sinhronizacija između bazne stanice i mobilnog terminala. Kada se korisniku dodijeli kanal, mobilni terminal i bazna stanica komuniciraju istovremeno i kontinualno u oba smjera. Kako je širina opsega koji se dodjeljuje nekom korisniku mala u poređenju sa koherentnim opsegom mobilnog radio kanala, sistemi koji koriste FDMA spadaju u uskopojasne radio sisteme. Fizički, to znači da se signal koji potiče od svakog korisnika prenosi radio kanalom sa ravnim fedingom. Iako je AMPS bio analogni celularni sistem, na kontrolnom kanalu komunikacija se odvijala digitalno. Kako je brzina signaliziranja na kontrolnom kanalu obično mala (10 kb/s), trajanje signalizacionog intervala je veliko u odnosu na *delay spread*, tako da je intersimbolska interferencija (ISI) malo izražena, pa nema potrebe za ekvilizacijom.

Međutim, FDMA ima i brojne nedostatke. Ako određeni kanal nije dodijeljen, on je u "praznom hodu" i ne može se iskoristiti za povećanje kapaciteta sistema. Ovo znači da kanal koji je trenutno slobodan ne može biti dodijeljen korisniku koji se nalazi u nekoj drugoj ćeliji u kojoj nema slobodnih kanala. Na taj način, dio raspoloživog spektra ostaje neiskorišćen, što FDMA čini neracionalnom tehnikom. Takođe, s obzirom da u celularnim sistemima sa FDMA višestrukim pristupom kvalitet veze bitno zavisi od upotrijebljenih filtara propusnika opsega učestanosti kojima se izdvajaju pojedini kanali, potrebno je da oni imaju odlične *cut-off* karakteristike.

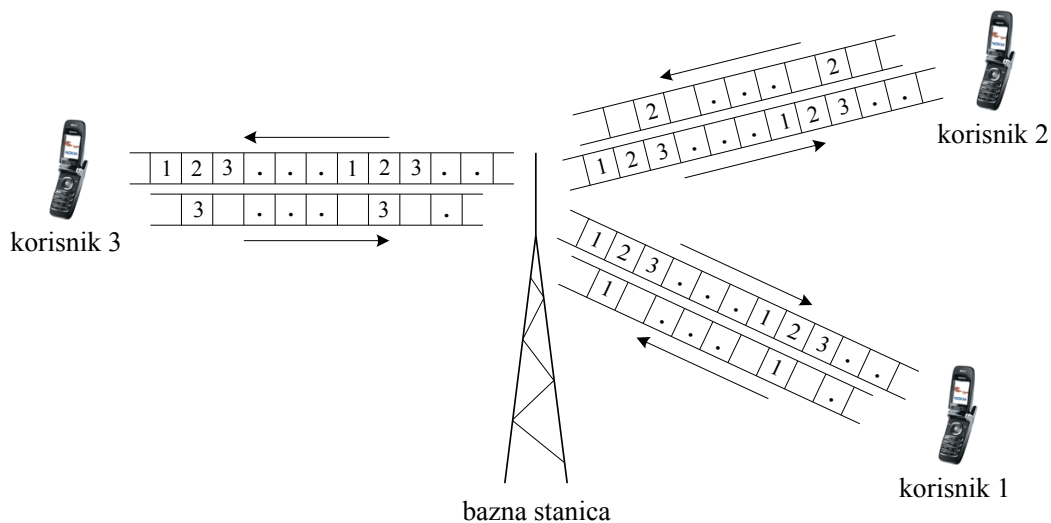
Značajan problem u radio sistemima koji koriste FDMA tehniku je preslušavanje, koje je posljedica susjedno-kanalne interferencije. Svi kanali koji čine FDMA sistem koriste istu antenu i, prema tome, isti izlazni pojačavač snage. Nelinearnost pojačavača snage uzrokuje širenje prenošenog signala u frekvencijskom domenu i generiše intermodulacione (IM) produkte. IM produkti predstavljaju neželjeno RF zračenje koje može da interferira sa signalima u ostalim kanalima u FDMA sistemu. Širenje spektra rezultira u susjedno-kanalnoj interferenciji.

Sljedeći bitan nedostatak FDMA tehnike je njena neupotrebljivost za prenos digitalnih signala sa različitom brzinom signaliziranja. Ovo je direktno eliminisalo FDMA kao rješenje za mobilne radio mreže zasnovane na digitalnim tehnologijama. Osim toga, svaki korisnik na ekskluzivnoj osnovi koristi konstantan kapacitet, bez obzira na njegove trenutne potrebe.

5.3 TDMA

Višestruki pristup na bazi vremenske raspodjele kanala (TDMA) omogućava korisnicima pristup cijelom opsegu, koji se dodjeljuje na vremenskoj bazi. Svaki korisnik koristi čitav opseg u toku kratkog vremenskog intervala koji se naziva slot. Ako korisnici pristupaju opsegu periodično, tj. na rotirajući način, moguće je ostvariti govornu komunikaciju, ili prenos podataka, na približno kontinualan način. Princip razmjene podataka u sistemima sa TDMA tehnikom prikazan je na slici 5.6. Komunikacija mobilni terminl - bazna stanica (UL) obuhvata digitalni prenos od svakog korisnika prema baznoj stanici u odgovarajućim intervalima vremena. Kao što se sa slike vidi, pri *uplink* komunikaciji bazna stanica prima podatke od određenog korisnika samo u toku vremenskog slota/slotova koji su tom korisniku dodijeljeni.

Kod *downlink* komunikacije, bazna stanica emituje signale kontinualno, a svaki mobilni terminal prima njemu namijenjeni signal u toku vremenskog slota/slotova koji su mu dodijeljeni. Ako u ćeliji ima N korisnika, formira se okvir (*frame*) od N slotova. Interferencija između korisnika se izbjegava striktnim pridržavanjem rasporeda vremeskkih slotova u DL smjeru, ostavljanjem zaštitnih intervala (*guard time*) između slotova, kao i procedurama za pravilno raspoređivanje primljenih slotova u UL smjeru.



Slika 5.6 Princip komunikacije mobilni terminal-bazna stanica kod TDMA sistema

UL i DL saobraćaj mogu biti razdvojeni u vremenskom (TDD) ili frekvencijskom (FDD) domenu. Ako se u TDMA sistemu koristi dupleks u vremenskom domenu (TDMA/TDD), onda je jedna polovina slotova u okviru opredijeljena za UL komunikaciju, a druga polovina za DL komunikaciju. Sa druge strane, ako se uz TDMA koristi dupleks u frekvencijskom domenu (TDMA/FDD), UL i DL okviri se prenose na različitim frekvencijama. Generalno, FDD zahtijeva manji propusni opseg i manje preciznu sinhronizaciju UL i DL prenosa u cilju minimizacije interferencije. Sa druge strane, TDD zahtijeva jednostavniju dupleks opremu.

TDMA se često koristi u kombinaciji sa FDMA konceptom. Raspoloživi opseg je podijeljen na više frekvencijskih kanala kojima, na 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. Na ovom principu rade najpoznatiji celularni radio sistemi druge generacije (2G) kao što su *General System for Mobile Communications (GSM)*, *Nord American Digital Cellular System (NADC)* i *Personal Digital Cellular System (PDC)*. Uporedne karakteristike ovih sistema date su u Tabeli 5.1.

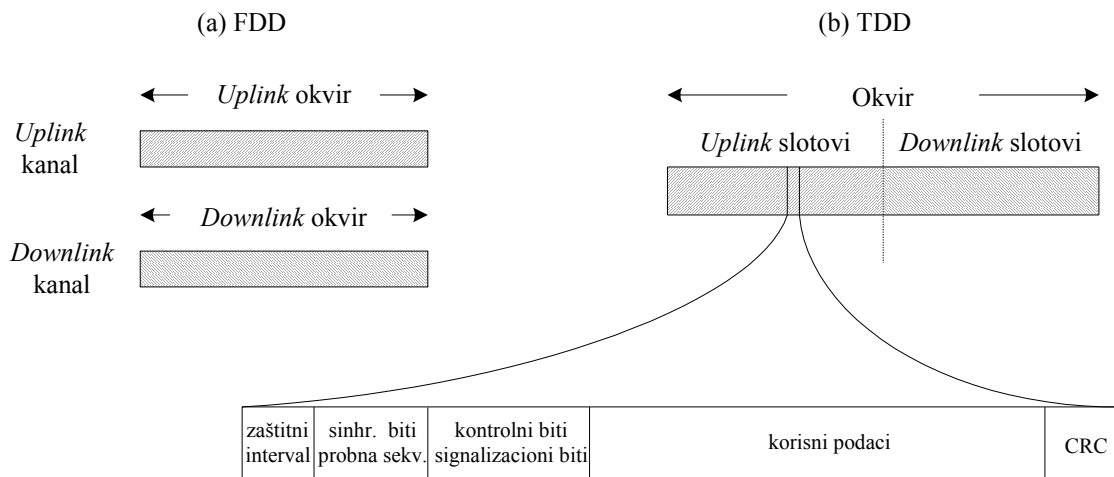
Tabela 5.1 Usporedne karakteristike celularnih sistema sa TDMA pristupom

	GSM	NADC	PDC
Višestruki pristup	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA
Tip dupleksa	FDD	FDD	FDD
Širina kanala	200 kHz	30 kHz	25 kHz
Broj korisnika po kanalu	8	3	3
Digitalni protok po korisniku	13 kb/s	.95 kb/s	6. kb/s
<i>Uplink</i> opseg	890 – 915 MHz	824 – 849 MHz	810 – 826 MHz 1429 – 1441 MHz 1453 – 1465 MHz
<i>Downlink</i> opseg	935 – 960 MHz	869 – 894 MHz	940 – 956 MHz 14 – 1489 MHz 1501 – 1513 MHz
Modulaciona tehnika (glas)	GMSK (BT=0.3)	$\pi/4$ -DQPSK	$\pi/4$ -DQPSK
Digitalni protok po kanalu (<i>uplink/downlink</i>)	20.833 kb/s	48.6 kb/s	42 kb/s
Udio zaglavlja u <i>frame</i> -u	2 %	16 %	20 %
Spektralna efikasnost	1.35 b/s/Hz	1.62 b/s/Hz	1.68 b/s/Hz
Tip ekvilajzera	Adaptivni	Adaptivni	Adaptivni

Svaki vremenski slot u okviru sastoji se od korisnih podataka (koji mogu uključiti i bite parnosti za kontrolu greške), kao i od zaštitnih bita i posebnih bita za sinhronizaciju, adresiranje, signalizaciju i kontrolu koje mobilni terminal i bazna stanica koriste za međusobnu identifikaciju (slika 5.7). Što je udio zaglavlja u strukturi TDMA okvira manji, to je njegova efikasnost veća. Na primjer, kod GSM-a taj udio je 2 %, kod PDC-a 20 %, a kod NADC-a svega 16 %. Najveći dio zaglavlja kod ovih sistema zauzima probna sekvenca na osnovu koje se vrši adaptivna ekvilizacija.

TDMA ima nekoliko prednosti u odnosu na alternativne tehnike višestrukog prisupa, kakve su FDMA i CDMA. Prva prednost je što istu radio i modemsku opremu u okviru bazne stanice na datoj frekvenciji nosioca mogu koristiti svi korisnici koji se nalaze u datoj ćeliji. Sljedeća prednost u odnosu na FDMA tehniku je to što je korisniku omogućeno da prema baznoj stanici šalje ili od nje prima digitalne signale različitog protoka u zavisnosti od njegovih trenutnih potreba. Ova mogućnost se jednostavno realizuje dodjeljivanjem manje ili više vremenskih slotova tom korisniku, primjenom procedure dinamičke alokacije slotova u kojoj se slobodni slotovi dodjeljuju korisnicima na njihov zahtjev.

Za razliku od CDMA tehnike, TDMA pruža mogućnost mnogo jednostavnije kontrole snage u cilju smanjenja interferencije između korisnika, tako da *near/far* (definisan i objašnjen u narednom paragrafu) efekat nije izražen. Sledeća važna prednost TDMA koncepta u odnosu na druga dva je jednostavan postupak prelaska iz jedne ćelije u drugu (*handover*). Naime, u toku vremena u kome mobilni terminal ne razmjenjuje informacije sa baznom stanicom (a to najveći dio), on može mjeriti nivo signala iz drugih baznih stanica i upoređivati ga sa aktuelnim nivom. Na taj način se realizuje *handover* postupak koji je kontrolisan od strane mobilnog terminala.



Slika 5.7 Struktura TDMA okvira

TDMA ima i nekoliko nadostataka u odnosu na FDMA i CDMA. Prije svega, TDMA zahtijeva preciznu sinhronizaciju slotova i okvira koje međusobno razmjenjuju bazna stanica i mobilna jedinica. U slučaju gubitka sinhronizacije može doći do kolizije između korisnika. Da bi se održala sinhronizacija, bazna stanica periodično šalje posebne signale koje mobilna jedinica koristi za sinhronizaciju. Kako je mobilni terminal periodično aktivan samo u toku trajanja slotova koji su dodijeljeni korisniku, anvelopa snage periodično fluktuirá, što predstavlja problem u dizajniranju RF dijela mobilnih terminala. Takođe, proces podešavanja frekvencijskog kanala i dodjeljivanja vremenskih slotova unosi dodatnu složenost i u baznoj stanici i u mobilnom terminalu. Kako je digitalni protok po frekvencijskom kanalu relativno veliki, u mnogim TDMA sistemima mora se primjenjivati ekvilizacija u cilju smanjenja uticaja intersimbolske interferencije.

Kapacitet celularnih komunikacionih sistema se izražava u Erlang/MHz/km² i zavisi od kapaciteta ćelije, na način što se povećava smanjivanjem veličine ćelija. Kapacitet ćelije zavisi od karakteristika radio interfejsa kojim se prenos ostvaruje i definiše se kao najmanji odnos snage nosioca i smetnje (C/I) (*carrier-to-interference*) pri kome sistem može da radi sa prihvatljivim kvalitetom. Kapacitet ćelije se izražava u Erlang/MHz/ćeliji i uobičajeno se koristi za analizu kapaciteta celularnih sistema, pri čemu se mora uzeti u obzir efikasnost modulacije (b/s/Hz) i faktor ponovnog korišćenja frekvencije (*frequency re-use factor*).

Radi poređenja kapaciteta različitih celularnih sistema, posmatra se broj korisnika koji je moguće podržati u fiksnom frekvencijskom opsegu i pri zahtijevanom C/I odnosu. Tako se na primjer, može pokazati da je kapacitet GSM sistema 2.8 puta veći u odnosu na AMPS.

Za povećanje kapaciteta celularnih sistema sa TDMA pristupom često se koristi i tehnika slučajnog frekvencijskog skakanja (*Frequency Hopping – FH*), o čemu će biti više riječi u narednom paragrafu.

5.4 CDMA

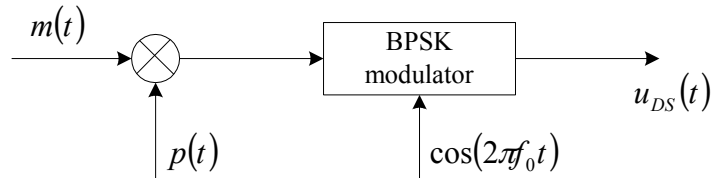
Kod FDMA i TDMA višestrukog pristupa korisniku se dodjeljuje ili dio raspoloživog spektra ili određeni broj vremenskih slotova. Za razliku od toga, kod višestrukog pristupa na bazi kodne raspodjele (CDMA) svi korisnici pristupaju cjelokupnom raspoloživom opsegu i koriste ga kontinualno u vremenu. Korisnici su međusobno razdvojeni jedinstvenim pseudo-slučajnim sekvencama ili kodovima. CDMA predstavlja tehniku prenosa proširenim opsegom (*spread spectrum*). Prenos u proširenom opsegu može se realizovati tehnikom direktne sekvence (*Direct Sequence – DS*) ili tehnikom frekvencijskog skakanja (*Frequency Hopping – FH*), tako da se razlikuju DS-CDMA i FH-CDMA.

DS-CDMA

Tehnika direktne sekvence realizuje se množenjem originalnog digitalnog signala pseudo-slučajnom (PN) sekvencom čije je trajanje signalizacionog intervala mnogo manje od trajanja signalizacionog intervala originalnog signala. Struktura DS modulatora prikazana je na slici 5.8. Signal na izlazu modulatora može se zapisati u obliku:

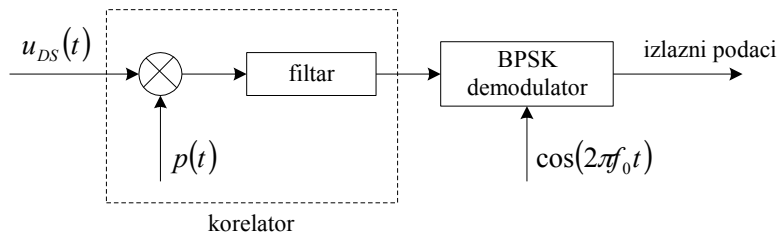
$$u_{DS}(t) = m(t)p(t)\cos(2\pi f_0 t), \quad (5-1)$$

gdje je $m(t)$ originalni modulišući signal, $p(t)$ *spreading* sekvenca i f_0 frekvencija nosioca. Modulišući signal čine simboli trajanja T , a kodnu (*spreading*) sekvencu simboli (*chips*) trajanja $T_C \ll T$. Pri tome važi $T = KT_C$, gdje je K kodni dobitak (*processing gain*). Spektar izlaznog signala je K puta širi od spektra modulišućeg signala.



Slika 5.8 Struktura DS modulatora

Odgovarajući DS demodulator prikazan je na slici 5.9. Primljeni signal se takođe množi *spreading* sekvencom i filtrira kako bi se izdvojio željeni opseg.



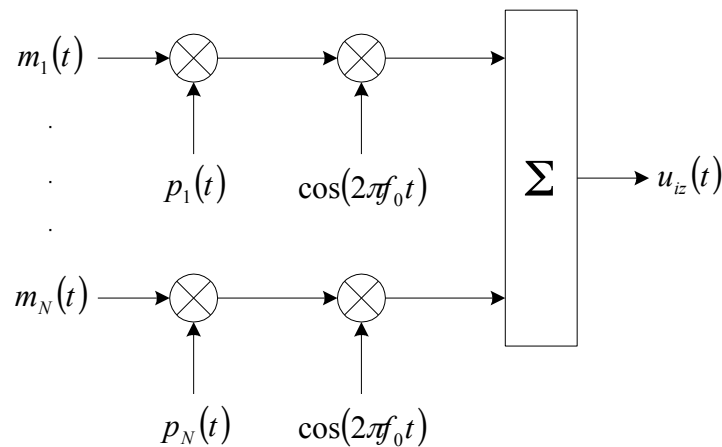
Slika 5.9 Struktura DS demodulatora

Tehniku direktne sekvence može poslužiti i kao rješenje za višestruki pristup. Struktura DS-CDMA predajnika za N korisnika prikazana je na slici 5.10. Multipleksni signal na njegovom izlazu ima oblik:

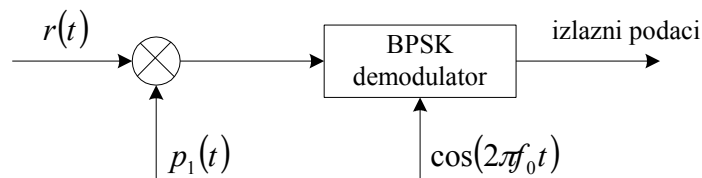
$$u_{iz}(t) = \sum_{i=1}^N m_i(t)p_i(t)\cos(2\pi f_0 t), \quad (5-2)$$

gdje je $m_i(t)$ signal i -tog korisnika, $p_i(t)$ kodna sekvenca dodijeljena i -tom korisniku, f_0 frekvencija nosioca. Kodna sekvenca je jedinstvena za svakog korisnika i generalno ortogonalna na sekvence drugih korisnika. Na taj način se izbjegava interferencija od drugih korisnika (*Multi-User Interference* - MUI). Signali ostalih korisnika u sistemu tretiraju se kao šum. Povećanjem broja korisnika linearno raste i nivo šuma. Generalno, ne postoji striktno ograničenje broja korisnika, ali se njegovim povećanjem degradiraju performanse sistema za sve korisnike. Za DS-

CDMA sisteme se kaže da imaju meko ograničenje kapaciteta (*soft capacity limit*) za razliku od sistema sa FDMA i TDMA pristupom koji imaju striktno ograničenje kapaciteta (*hard capacity limit*). Pored toga, frekvencijsko planiranje i dizajniranje ćelija je mnogo lakše zbog činjenice da svi korisnici koriste istu noseću frekvenciju. CDMA se takođe može koristiti u kombinaciji sa FDD ili TDD dupleksom. Princip izdvajanja signala željenog korisnika prikazan je na slici 5.11.



Slika 5.10 Struktura DS-SS predajnika

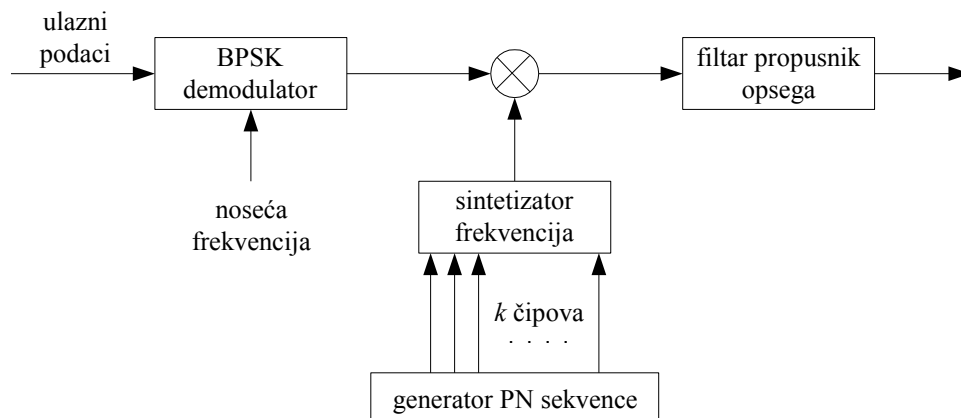


Slika 5.11 DS-SS demodulator

CDMA tehnika omogućava korišćenje iste noseće frekvencije u svim ćelijama (*re-use* faktor je jedan). Ova osobina, pored niza prednosti koje se prevashodno odnose na pojednostavljen proces frekvencijskog planiranja, predstavlja i značajan problem kada se korisnik nalazi u oblasti na granici između susjednih ćelija, u slučaju kada prima signal približno iste snage od dvije ili više baznih stanica. Da bi se prevazišao ovaj problem primjenjuje se *soft handover* postupak.

FH-CDMA

Koncept prenosa proširenim spektrom sa frekvencijskim skakanjem podrazumijeva promjenu frekvencije nosioca prema pseudo-slučajnoj šemi (*hopping* sekvenca). U zavisnosti od brzine promjene kanala (nosioca) u odnosu na brzinu signaliziranja originalnih simbola, razlikuje se brzo i sporo frekvencijsko skakanje. Kod brzog frekvencijskog skakanja (*Fast Frequency Hopping* – FFH) brzina promjene frekvencije nosioca veća je od brzine signaliziranja tako da se u toku trajanja jednog simbola promijeni više frekvencijskih kanala. Kod sporog frekvencijskog skakanja (*Slow Frequency Hopping* – SFH) brzina skakanja je manja od brzine signaliziranja tako da se nekoliko originalnih simbola prenosi istim nosiocem. Principna šema FH-CDMA predajnika dana je na slici 5.12.



Slika 5.12 Struktura FH-CDMA predajnika

Glavna razlika između karakteristika direktne sekvence i frekvencijskog skakanja vezana je za problem interferencije. Dok, je kod DS tehnike dominantni izvor smetnji unutarćelijska interferencija, kod FH tehnike se ovaj vid interferencije može značajno smanjiti primjenom ortogonalnih *hopping* sekvenci unutar iste ćelije. Dominantni izvor interferencije kod FH-CDMA sistema je međućelijska interferencija. U cilju smanjenja uticaja ovog tipa smetnji primjenjuje se kontrola snage koja je prilično jednostavnija nego kod DS-CDMA. Problem *near/far* efekta nije izražen kod FH-CDMA tehnike zato što se komunikacija obavlja na različitim nosećim frekvencijama. Osim toga, frekvencijsko skakanje dozvoljava da pojedini hopovi pripadaju odvojenim opsezima, što kod direktne sekvence nije slučaj.

Generalno, CDMA pruža najveće mogućnosti za dana multimedijalnih poruka u uslovima asinhronog saobraćaja sa velikim digitalnim protocima na *downlink*-u. Početak implementacije ove tehnike je vezan za mobilne radio sisteme treće generacije (3G). Tako je kao standard za 3G u Evropi usvojen UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) koji se zasniva na širokopojasnom CDMA (*Wideband CDMA – WCDMA*) pristupu.

U Tabeli 5.2 data je komparacija razmatranih tradicionalnih tehnika višestrukog pristupa. Uočava se da u odnosu na pojedine zahtjeve, različite tehnike imaju manja ili veća ograničenja. Pri tome, sa razvojem bežičnih komunikacija u pravcu širokopojasnih, *All IP* baziranih, mreža koje omogućavaju veoma velike protoke na *downlink*-u, pokazalo se nijedna od opisanih tehnika ne može odgovoriti sve strožijim zahtjevima. Zato su intenzivno razvijane nove transmisione šeme zasnovane na kombinaciji prenosa posredstvom višestrukih nosilaca (MC) i CDMA.

Tabela 5.2 Komparacija FDMA, TDMA i CDMA tehnika višestrukog pristupa

	FDMA	TDMA	CDMA
Stabilnost frekvencije nosioca	zahtijeva se	nije neophodno	nije neophodno
Sinhronizacija	ne zahtijeva se	zahtijeva se	zahtijeva se
Mjerenje snage (monitoring)	teško	lako	lako
<i>Near/far</i> problem	ne postoji	ne postoji	postoji, potrebna kontrola snage
Promjenljiv digitalni protok	teško	lako	lako
Uticaj <i>multipath</i> fedinga	neznatan, ekvilajzer nije potreban	značajan, potreban ekvilajzer	RAKE prijemnik
Veličina ćelije	makro/mikro/piko	makro/mikro/piko	mikro/piko

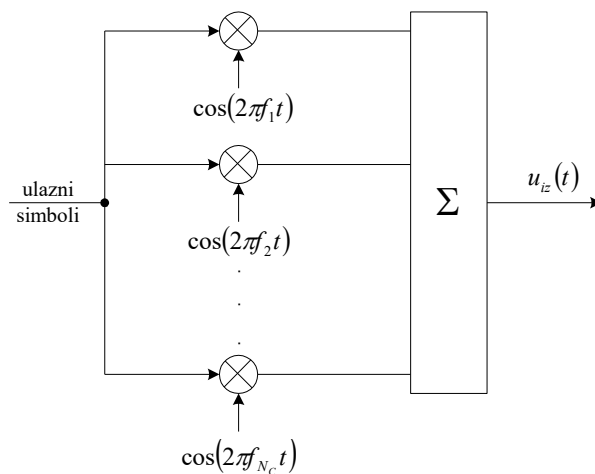
5.5 Tehnike prenosa sa višestrukim nosiocima

Prenos posredstvom višestrukih nosilaca (*Multicarrier - MC*) predstavlja prenos istog informacionog simbola posredstvom više različitih nosilaca. Cilj ovakvog prenosa i zauzimanja šireg opsega učestanosti u odnosu na slučaj kada se koristi jedan nosilac, jeste ostvarenje frekvencijskog *diversity* efekta u uslovima mobilnog radio kanala sa frekvencijski selektivnim fedingom.

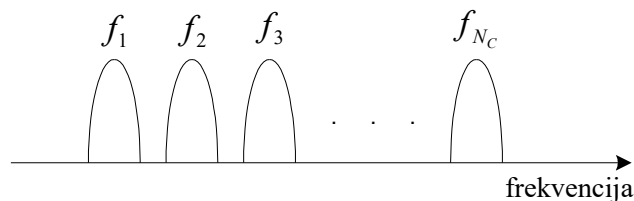
Osnovni koncept u ovakvom pristupu je ilustrovan na slici 5.13, gdje signal na izlazu predajnika ima oblik:

$$u_{iz}(t) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^{N_C} u_l \cos(2\pi f_k t) p(t - lT_s)$$

gdje je: u_l – l -ti ulazni simbol; f_k – frekvencija k -tog podnosioca, a T_s – trajanje simbola originalne sekvence. Razmak između pojedinih podnosilaca je konstantan i u opštem slučaju takav da se spektri oko pojedinih podnosilaca ne preklapaju (slika 5.14).



Slika 5.13



Slika 5.14

Kad su MC tehnike u pitanju, poseban značaj ima njihovo kombinovanje sa CDMA, čime se ostvaruje višestruki pristup, a što može biti realizovano kodiranjem u frekvencijskom (MC-CDMA šeme) i vremenskom domenu (MC-DS-CDMA šeme). Pri tome, MC-CDMA tehnike se uglavnom predviđaju za *downlink*, a MC-DS-CDMA tehnike za *uplink* komunikaciju, dok korišćeni podnosioci mogu biti ortogonalni ili ne. Kada se koriste ortogonalni podnosioci postiže

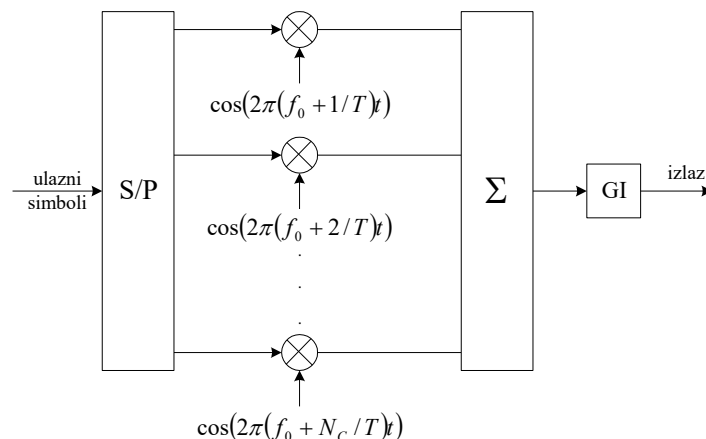
se bolja iskorišćenost frekvencijskog opsega, ali se i zahtijeva očuvanje ortogonalnosti podnosilaca na mjestu prijema.

U tom kontekstu, u savremenim celularnim radio sistemima poseban značaj ima OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), gdje su korišćeni podnosioci ortogonalni (slika 5.15). U pitanju je tehnika paralelnog prenosa gdje se originalni niz simbola dijeli u više podnizova (konverzija serije u paralelu), tako da se različitim podnosiocima prenose različiti simboli originalne poruke. Na ovaj način se smanjuje digitalni protok po podnosiocu, tako da svaki podopseg u OFDM sistemu ima malu širinu u poređenju sa koherentnim opsegom kanala, što je izuzetno korisno u okruženjima gde je izražen multipath fading. Dodatnu prednost OFDM-a, pored paralelnog prenosa i ortogonalnosti nosilaca, predstavlja zaštitni interval (*Guard Interval* – GI). Efektivni dio OFDM signala (bez GI) ima oblik:

$$u_{iz}(t) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^{N_C} u_l \cos\left(2\pi\left(f_0 + \frac{k}{T}\right)t\right) w(t - lT_s)$$

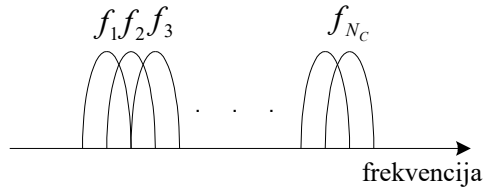
gdje su: u_l – l -ti ulazni simbol, T – trajanje simbola originalne sekvence i T_s – trajanje OFDM simbola. Razmak (separacija) između dva susjedna podnosioca je $1/T$, dok je frekvencija k -og podnosioca data jednačinom:

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T}$$



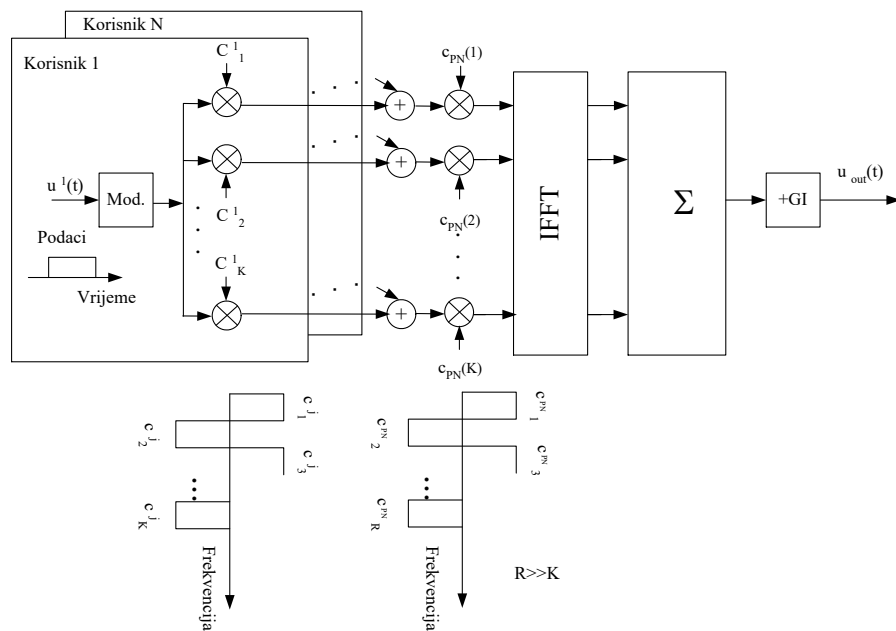
Slika 5.15

Ortogonalni podnosioci (slika 5.16) se jednostavno realizuju digitalnom obradom signala, primjenom inverzne *Fourier*-ove transformacije (IFFT), što predstavlja veliku prednost ovog postupka.



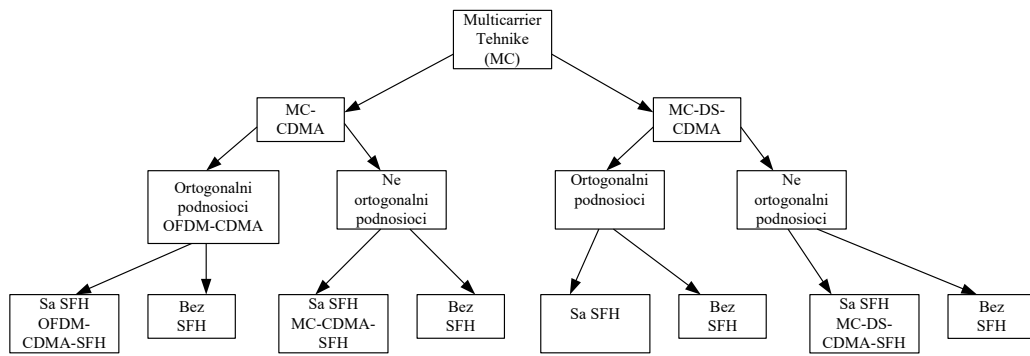
Slika 5.16

OFDM postupak sam za sebe ne predstavlja tehniku višestrukog pristupa, već modulacioni postupak u kome se svi podnosioci dodjeljuju jednom korisniku. Ipak njegova osnovna struktura predstavlja osnovu za realizaciju MC višestrukog pristupa, posebno u 5G celularnim mrežama. Tako je jedna od mogućnosti kombinacija OFDM postupka sa CDMA, gdje se za komunikaciju na *downlink*-u realizuje transmisiona šema data na slici 5.17.



Slika 5.17

Generalno, postoje brojne tehnike za realizaciju višestrukog pristupa na bazi korišćenja višestrukih nosilaca i njihova sistematizacija je data na slici 5.18.



Slika 5.18