

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Antonija Beuk**  
**TEHNIKE VIŠESTRUKOG PRISTUPA ZA BEŽIČNE KOMUNIKACIJE**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2015.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**TEHNIKE VIŠESTRUKOG PRISTUPA ZA BEŽIČNE KOMUNIKACIJE**  
**MULTIPLE ACCESS TECHNIQUES FOR WIRELESS COMMUNICATIONS**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mrvelj Štefica

Student: Antonija Beuk, 0135224583

Zagreb, rujan 2015.

## SAŽETAK:

Tehnika višestrukog pristupa znači mogućnost pristupa većem broju korisnika raspoloživom spektru omogućavajući veći kapacitet sustava te brzinu prijenosa podataka.

Kako bi bili u koraku sa sve većim zahtjevima mobilnih aplikacija u današnjem modernom dobu, potreban je neprekidan razvoj mobilnih tehnologija te tehnika višestrukog pristupa i zbog toga je cilj završnog rada pridonijeti boljem razumijevanju o tehnikama višestrukog pristupa.

U ovom radu prikazan je razvoj mobilnih tehnologija, od početne 1G generacije do moderne 4G generacije mobilnih tehnologija. Navedeni su principi rada pojedinih tehnika višestrukog pristupa, koliki su kapaciteti sustava te u konačnici, njihova usporedba performansi ovisno o pristupnoj tehnologiji.

**KLJUČNE RIJEČI:** tehnika višestrukog pristupa, mobilne tehnologije, kapacitet sustava, brzina prijenosa podataka

## SUMMARY:

The multiple access technique is the ability to access available spectrum to multiple users, allowing higher system capacity and data transfer rate.

In order to be in step with the growing demands of mobile applications in the modern age, it is required for constant development of mobile technologies and multiple access techniques and therefore the aim of this paper is to a better understanding of the multiple access techniques.

We will get acquainted with the development of mobile technology, from the initial 1G generation to the modern generation 4G mobile technology . We'll find out what are the principles of work of particular multiple access techniques, what are the capacities of the system and ultimately, their comparison of performance depending on the access technology.

**KEYWORDS:** multiple access techniques, mobile technology, system capacity, data transfer rate

## SADRŽAJ

1. Uvod .....	1
2. Tehničko - tehnološka specifikacija zahtjeva za pristupne mobilne mreže.....	2
2.1 Prva generacija - 1G.....	3
2.2 Druga generacija - 2G .....	5
2.3 2.5G.....	7
2.4 Treća generacija - 3G .....	8
2.5 Četvrta generacija - 4G .....	10
2.6 Usporedba generacija .....	12
3. Značajke tehnike pristupa FDMA .....	14
3.1 Princip rada .....	15
3.2 Prednosti i nedostaci.....	19
4. Značajke tehnike pristupa TDMA .....	20
4.1 Princip rada .....	21
4.2 Prednosti i nedostaci.....	24
5. Značajke tehnike pristupa CDMA.....	25
5.1 Princip rada .....	26
5.2 Prednosti i nedostaci.....	30
6. Komparacija performansi pristupnih mreža ovisno o pristupnoj tehnologiji.....	31
6.1 Fleksibilnost formata.....	33
6.2 Prekapčanje .....	33
6.3 Upravljanje snagom.....	34
6.4 Blizu/daleko problem .....	34
7. Zaključak .....	36
Popis literature .....	38
Popis ilustracija.....	40
Popis tablica.....	41

## 1. Uvod

Tehnike višestrukog pristupa se upotrebljavaju kako bi se omogućilo većem broju korisnika da dijele raspoloživi spektar na najefikasniji način. Kako je spektar ograničen, stoga je dijeljenje spektra neophodno kako bi se povećao kapacitet ćelije ili cijelog geografskog područja, omogućavanjem da raspoloživi spektar bude upotrebljen u isto vrijeme od različitih korisnika. Stoga je jedna od glavnih tema istraživanja u mobilnim komunikacijama na koji način se mogu što efikasnije koristiti raspoložive frekvencije, postići da one budu učinkovitije i pritom omogućiti što veći broj komunikacija koje će se podržati. Kao rezultat takvih istraživanja proizišle su različite tehnike višestrukog pristupa koje se koriste u pristupnoj mreži koje su analizirane i čije značajke su prikazane u ovom radu pod naslovom Tehnike višestrukog pristupa za bežične komunikacije.

Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod,
2. Tehničko tehnološka specifikacija zahtjeva za pristupne mobilne mreže,
3. Značajke tehnike pristupa FDMA,
4. Značajke tehnike pristupa TDMA,
5. Značajke tehnike pristupa CDMA,
6. Komparacija performansi pristupnih mreža ovisno o pristupnoj tehnologiji,
7. Zaključak.

U drugom poglavlju opisane su mobilne tehnologije. Navedeni su standardi mobilnih tehnologija te objašnjene tehničke specifikacije zahtjeva za pristupne mreže.

Treće poglavlje obuhvaća FDMA tehniku višestrukog pristupa kod koje se korisnici razdvajaju u frekvencijskom području. Podjeljenost raspoloživoga frekvencijskog spektra ista je na pojedinim frekvencijskim kanalima, te se svaki razgovor odvija na različitoj frekvenciji.

U četvrtom poglavlju objašnjena je TDMA tehnika višestrukog pristupa koja ima mogućnost dodjeljivanja vremenskih odsječaka korisnicima, te omogućuje prijenos digitalnih podataka.

Tehnika višestrukog pristupa CDMA opisana je u petom poglavlju. CDMA tehnika svakom korisniku dodjeljuje jedinstveni kod, koji se koristi za kodiranje podataka prije prijena.

U šestom poglavlju prikazana je komparacija performansi tehnika višestrukog pristupa po pitanju veličine frekvencijske ćelije, fleksibilnosti formata, prekapčanja, upravljanje snagom te blizu/daleko problema.

## 2. Tehničko - tehnološka specifikacija zahtjeva za pristupne mobilne mreže

Globalni svijet sadrži razne resurse koji se svakodnevno koriste, mnogi od njih su obnovljivi izvori, ali i postoje resursi koji nisu obnovljivi te ih je potrebno racionalno koristiti kao naprimjer radio-frekvencijski spektar koji se koristi za funkcioniranje mobilnih radio sustava dodjeljujući im određeni frekvencijski pojas.

Neprestani rast broja korisnika, koji koriste mobilni radio sustav, zahtjeva potrebu za što većim kapacitetom. U tablici 1 prikazan je razvoj kapaciteta mobilnih radio sustava. Kako bi bilo omogućeno da ograničenom frekvencijskom pojasu pristupi više korisnika istovremeno, koristi se višestruki pristup koji omogućuje veću dostupnost raspoloživog spektra za što više korisnika te se njime povećava raspoloživost i iskorištenost frekvencijskog spektra.

**Tablica 1** - Razvoj mobilnih komunikacija od 1. do 4. generacije

Oznaka generacije - Naziv	Pristupna radijska mreža
1G - analogna	FDMA
2G - GSM	TDMA-FDMA
2,5G - GPRS	TDMA-FDMA
3G - UMTS	W-CDMA
4G – LTE	OFDMA-FDMA

## 2.1 Prva generacija - 1G

Mobilne mreže prve generacije - 1G bazirane su na analognoj komunikaciji, stoga nije postojala mogućnost prijenosa podataka. Godine 1979. u Japanu tvrtka Nippon Telegraph and Telephone Corporation je razvila 1. generaciju mobilnih komunikacija. U 1G mreži upotrebljavale su se višestruke ćelije te je korisnik mogao razgovarati i nakon što je napustio područje ćelije jer se poziv nastavljao na drugu ćeliju u kojoj se korisnik nalazio.

Godine 1980. razvio se nordijski sustav mobilne telefonije (Nordic Mobile Telephone-NMT). NMT je analogni sustav javne pokretne telefonije. Namijenjen je isključivo govornoj komunikaciji. NMT standard razvijen je zajedničkim radom operatora Danske, Finske, Norveške i Švedske. Koristio se u frekvencijskom području od 453.5 do 457.5 MHz, te se u daljnjem razvijanju proširio i do 900 MHz [1].

Kako bi se omogućila korisniku dvosmjerna komunikacija, poboljšani mobilni telefonski sustav (Improved Mobile Telephone System-IMTS) je sustav razvijen 1960-ih godina. Koristio je dva kanala, (jedan za slanje, a drugi za primanje te na taj način nije bilo potrebe za push-to-talk sustavom). IMTS koristi 23 kanala od 150-450 Mhz [2].

Obilježja IMTS-a su:

- Odašiljač koristi dvije frekvencije, jednu za primanje, drugu za slanje poruke.
- Zbog malog kapaciteta od 23 kanala korisnici su morali dugo čekati slobodni kanal.
- Zbog jačine odašiljača, zahtjeva se veća udaljenost između susjednih sustava te se time izbjegla interferencija.
- Ograničen kapacitet, nepraktičan sustav.

Komunikacijski sustav potpunog pristupa (Total Access Communications system-TACS) je analogni mobilni komunikacijski sustav. Sustav je razvijen od strane AT&T za SAD. TACS analogni FM sustav djeluje u području od 890 do 915 MHz, te u području od 935-960 MHz u kojem je globalni sustav pokretnih komunikacija (Global System for Mobile Communication-GSM) kasnije uveden. Širina kanala iznosi 25 kHz [3].

U SAD-u 1980-ih koristio se poboljšani pokretni mobilni sustav AMPS (American Mobile Phone System). AMPS je frekvencijski modulirani analogni mobilni radio sustav sa 30 kHz kanalima unutar 824-894 MHz frekvencijskog područja. AMPS je karakterističan po tome što je prvi koristio tehnologiju s ćelijama na način da je zemljopisno područje podijelio na ćelije oko 10-20 km u promjeru i svaka od tih ćelija koristi neki skup frekvencija. Kapacitet sustava se povećavao smanjivanjem ćelija gdje je broj mogućih korisnika bio veći.

**Tablica 2** – Komparacija standarda 1G mobilne tehnologije

Standard	NMT 450	TACS	AMPS
Frekvencijsko područje [MHz]			
- Uzlazna veza	453-457,5	890-915	825-845
- Silazna veza	463-467,5	935-960	870-890
Način pristupa	FDMA	FDMA	FDMA
Širina radio kanala	25 kHz	25 kHz	30 kHz
Broj radio kanala	180	1000	666

Tablica 2 prikazuje bitne karakteristike svakog standarda prve generacije. Obuhvaća standarde koji su bili primjenjivani na različitim geografskim područjima. Njihov razvoj vidljiv je povećanjem frekvencijskog područja kod svakog sustava, širinom radio kanala i brojem radio kanala. Upravo zbog toga sve se više može odgovoriti na zahtjeve korisnika i poboljšanje telekomunikacijskih usluga.



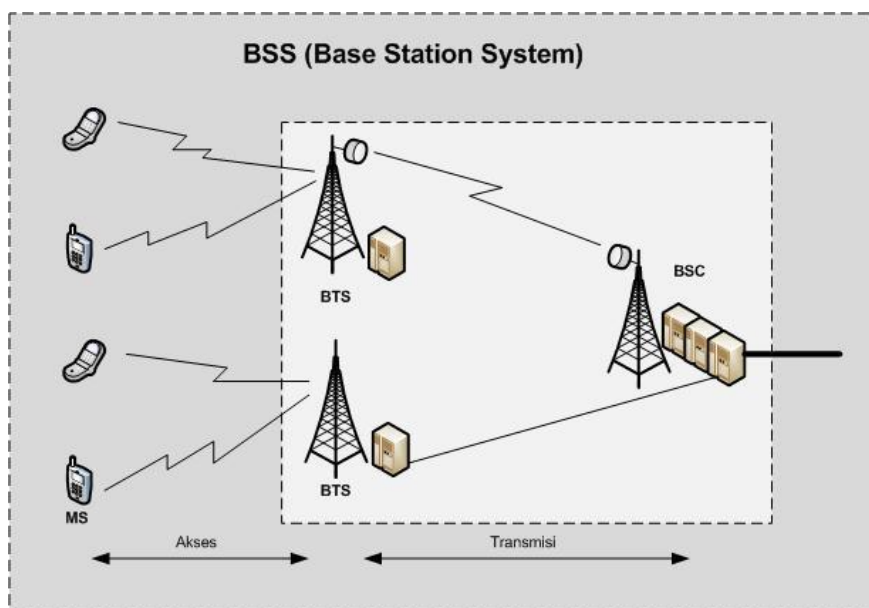
## 2.2 Druga generacija - 2G

Druga generacija bazira se na digitalnoj tehnologiji. Digitalna komunikacija omogućuje korištenje naprednih tehnika kodiranja signala. To omogućuje veću iskorištenost spektra te smanjuje količinu pojasne širine potrebne za prijenos zvuka i video podataka.

Najvažniji standardi druge generacije su: globalni sustav pokretnih komunikacija (Global System for Mobile Communication-GSM), digitalni ćelijski sustav (Digital AMPS, prije ADC – American Digital Cellular, odnosno standard IS-54) i osobni digitalni ćelijski sustav (Personal Digital Cellular- PDC).

Prvu mogućnost digitalnog prijenosa podataka te brzog i naprednog „phone to network“ signaliziranja omogućio je Europski institut za telekomunikacijske norme (European Telecommunication Standard Institute- ETSI) 1991. godine razvojem GSM sustava. GSM je karakterističan i po razvoju za povećanjem kapaciteta, pokrivanjem sustava te razvijenijom kvalitetom prijenosa informacija. GSM je u potpunosti dizajniran „od nule“, jer ne postoji kompatibilnost sa 1G sustavima poput AMPS.

GSM je dominantan sustav u Europi i pritom najrašireniji sustav druge generacije. GSM je ćelijska mreža, te se mobilni uređaji priključuju na mrežu preko najbliže ćelije.



Slika 1. Pristupna mreža GSM-a [4]

Na slici 1 prikazana je mreža GSM-a koja se sastoji od nekoliko funkcionalnih cjelina: mobilne stanice, podsustava bazne stanice i podsustava mobilne centrale. Mobilna stanica sastoji se od upravljačke jedinice, primopredajnika i sustava antene. Bazna stanica kontrolira radio vezu sa mobilnom stanicom. Podsustav bazne stanice sadrži kontrolnu jedinicu, radio kabinete i napajanje. Primarni element mreže je podsustav mobilne centrale. On omogućuje koordinaciju baznih stanica. Glavne zadaće podsustava mobilne centrale su: procesiranje, prosipanje poziva i upravljanje tarifiranjem. [5]

IS-54 i IS-136 su sustavi druge generacije mobilne tehnologije poznati kao digitalni AMPS (D-AMPS), koji predstavlja digitalnu verziju AMPS-a prve generacije mobilnih tehnologija. Tablica 3 sadrži komparaciju standarda 2G mobilne tehnologije, te je prikazano da D-AMPS koristi frekvencijsko područje od 800 MHz do 900 MHz. Poslužitelj usluga koristeći 2G mobilnu tehnologiju, koristi polovicu frekvencijskog spektra 824-894 MHz za zaprimanje signala te polovicu frekvencijskog spektra 869-894 MHz za odašiljanje signala.

**Tablica 3** – Komparacija standarda 2G mobilne tehnologije

Standard	GSM 900	D-AMPS	PDC
Frekvencijsko područje [MHz]			
- Uzlazna veza	890-915	824-849	940-956; 1429-1441; 1453-1465
- Silazna veza	935-960	869-894	810-826 ; 1477-1489 ; 1501-1513
Širina kanala (kHz)	200	30	25
Način pristupa	TDMA	TDMA	TDMA

PDC je tehnologija 2G generacije korištena u digitalnoj mobilnoj komunikaciji u Japanu. Tehnologija se temelji na TDMA tehnologiji. Predstavljen je od NTT DoCoMo 1991. godine kao zamjena za ranije korištene analogne mreže. Obuhvaća frekvencijsko područje od 800 do 1500 MHz, te pritom omogućava vrlo efikasno korištenje dostupne pojasne širine. Zbog velikih zahtjeva za pojasnom širinom u Japanu, sustav ima mogućnost rada na dva načina: kanal sa punom brzinom prijenosa podataka od 9.6 Kbps i kanala sa polovičnom brzinom prijenosa podataka od 5.6 Kbps. Kvaliteta razgovora preko kanala brzine 5.6 Kbps je znatno niža od kanala brzine 9.6 Kbps, ali omogućuje veći broj slobodnih kanala za korištenje [6].

## 2.3 2.5G

Mobilne mreže 2.5 generacije razvijene su kao prijelazni put do 3G mobilne tehnologije. Primjeri tih mreža su usluga paketnog prijenosa podataka u mrežama pokretnih komunikacija (General Packet Radio Service–GPRS) i standard koji omogućava veće brzine prijenosa podataka u GSM-u (Enhanced Data rates for GSM Evolution-EDGE).

GPRS omogućuje direktan pristup Internetu, GPRS korisnici će se moći prijaviti na pristupnu točku i imati pristup mnogim uslugama i ostati kontinuirano spojeni na Internet sve dok se ne odjave. Korisnici plaćaju Internet podatke samo one koji se preuzmu. Fizička “*end – to – end*” konekcija nije potrebna jer se mrežni reusursi i pojasna širina upotrebljavaju samo kada se podaci prenose. Navedeni način omogućuje efikasnu uporabu raspoložive pojasne širine. GPRS tehnologija temelji se na vrsti modulacije koja se naziva diskretna modulacija sinusnog signala (Gaussian minimum-shift keying - GMSK) koja omogućuje brzinu prijenosa podataka od 14,4 kbits do 115 kbits.

EDGE tehnologija je nadogradnja postojećih GSM / GPRS tehnologija. Omogućuje jasan i brz prijenos podataka i informacija. EDGE tehnologiju izumila je i predstavila tvrtka Cingular, koja je poznata i pod nazivom AT&T. EDGE tehnologija temelji se na faznoj promjeni ključa (Phase Shift Key – 8 PSK) modulaciji koja se automatski prilagođava lokalnim radio uvjetima. EDGE tehnologija nudi maksimalnu brzinu prijenosa podataka do 384 kbps. Veće brzine prijenosa podataka omogućuju korisnicima sudjelovanje u video konferencijama i interakciju na multimedijalnim web stranicama.

EDGE se primjenjuje u postojećim GSM mrežama u frekvencijskom području od 800,900, 1800 i 1900 MHz. EDGE tehnologija je kompatibilna sa tehnologijom širokopojasnog višestrukog pristupa s kodnom raspodjelom kanala (Wideband Code Division Multiple Access -WCDMA) te je zbog toga vrlo značajna za pružatelje usluga sa GSM i GPRS tehnologijom koji nastoje unaprijediti postojeću tehnologiju na sustav treće generacije mobilnih tehnologija [7].

## 2.4 Treća generacija - 3G

Prvu 3G mrežu pokrenula je tvrtka NTT DoCoMo 2001. godine u Japanu na području Tokia. Namjera treće generacije je integrirati žične i bežične sustave, uključujući satelitske mreže u univerzalni multimedijски širokopojasni pokretni sustav. Sa sve većom upotrebom 2G mobilnih uređaja te njihovim korištenjem u svakodnevnom životu, postalo je jasno da će usluge za većim prijenosom podataka biti traženije. Glavna tehnološka razlika s kojom se 3G ističe je upotreba preusmjerenja paketa za veći i brži prijenos podataka.

Standard za globalne pokretne komunikacije (International Mobile Telecommunications - IMT-2000) je naziv od strane međunarodne telekomunikacijske unije (International Telecommunications Union - ITU) za skup globalno usklađenih standarda za treću generaciju mobilnih mreža i usluga. Cilj IMT-2000 sustava je omogućiti simetričnu i asimetričnu podatkovnu transmisiju, pružiti usluge podataka prenesenih komutacijom paketa i usluge podataka prenesenih komutacijom kanala, kao što su IP promet i video, u stvarnom vremenu te osigurati veći kapacitet i bolju iskoristivost spektra [8].

Frekvencije za IMT-2000 dodijeljene su u dvije faze, prva faza iz 1992. godine kada započeo razvoj IMT-2000 tehnologije te druga faza nakon svjetske radiokomunikacijske konferencije iz Turske iz 2000. godine. Frekvencijska područja pridodana IMT-2000 u prvoj fazi su 1885-2025 MHz i 2110-2200 MHz. Frekvencijska područja pridodana IMT-2000 u drugoj fazi su 806-960 MHz, 1710-1885 MHz i 2500-2690 MHz [9].

Standard 3G tehnologije, svjetski sustav pokretnih telekomunikacija (Universal Mobile Telecommunication System - UMTS) definiran je od strane ETSI-a s time da UMTS nije zamjena za GSM tehnologiju već se više definira kao njegova ekstenzija. Ključna stavka UMTS-a je „air interface“ za asimetrični odnosno simetrični paketni promet sa fleksibilnom pojasnom širinom.

UMTS omogućuje konvergenciju sljedećih područja:

- Područje za audio/video/data usluge (TV sadržaj),
- Konvencionalno telekomunikacijsko područje (govor, ISDN),
- Područje računalnih usluga (igre, računalni sadržaji).

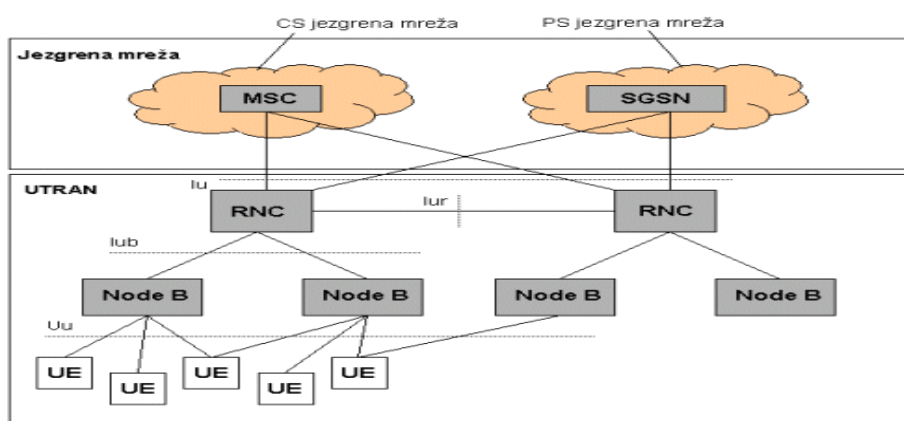
Kako bi ispunio sve specifične zahtjeve UMTS standard mora zadovoljiti sljedeće uvjete:

- Globalni pristup mreži bez ograničenja,
- Mogućnost prijenosa multimedije, govora, podataka,
- Mora osigurati visoku kvalitetu usluge,
- Prilagodljiv multimedijalnim uslugama,
- Dinamičko dodjeljivanje resursa,
- Brzina prijenosa podataka do 2mbit/s,
- Podrška za komutaciju kanala i paketa u ip u pristupnoj mreži [3].

UMTS zemaljska radio pristupna mreža prikazana na slici 2 (UMTS Terrestrial Radio Access Network-UTRAN ) sastoji se od sljedećih cjelina: radio-bazne stanice (Radio Base Station - RBS, na slici je označeno sa *Node B*), modula za upravljanje baznim stanicama (Radio Node Controller-RNC), korisničke opreme (User Equipment-UE), te centralnog elementa koji se nalazi između radio-bazne stanice i modula za upravljanje baznim stanicama, a naziva se koncentrator.

Postoje četiri vrste unutarnjih ili vanjskih sučelja koji spajaju UTRAN elemente:

- Uu - sučelje između korisničke opreme i radio bazne stanice,
- Iub - sučelje između korisničke opreme i radio-bazne stanice,
- Iur - sučelje između dva modula za upravljanje baznim stanicama,
- Iu - sučelje između modula za upravljanje baznim stanicama i jezgrene mreže [10].



Slika 2 Pristupna mreža 3G mobilne tehnologije UMTS standarda [11]

**Tablica 4** – UMTS standard treće generacije

Standard	UMTS
Brzina prijenosa	U indoor područjima, UMTS korištenjem TDD (Time Division Duplex) pristupa omogućuje brzine do 2Mb/s. U outdoor područjima korištenjem FDD (Frequency Division Duplex) pristupa može postići brzine do 480 kb/s.
Širina kanala (MHz)	5
Način pristupa	CDMA

## 2.5 Četvrta generacija - 4G

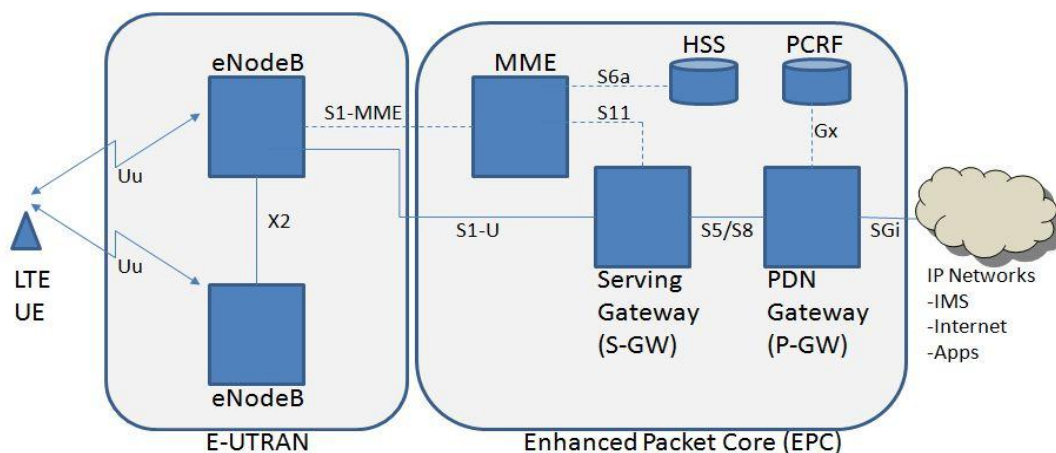
Po pitanju brzine prijenosa podataka, 4G tehnologija koja omogućuje vrlo velike brzine prijenosa podataka putem sustava pokretnih komunikacija 4. generacije (Long Term Evolution-LTE), pokrenula je revoluciju iz razloga što omogućuje skoro deseterostruko brži pristup mobilnom Internetu te istu kvalitetu korisnicima u urbanom tako i u ruralnom području. Standard LTE temelji se na paketski komutiranim mrežama koje omogućuju brzine prijenosa podataka od 100 Mbit/s do 1Gbit/s u otvorenim tako i u zatvorenim prostorima.

Karakteristike 4G tehnologije su veći kapaciteti od prijašnjih mobilnih tehnologija odnosno ćelija podržava više korisnika istovremeno te funkcioniranje sa već postojećim bežičnim standardima. Razvoj 4G tehnologije ide u smjeru da podržava kvalitetu usluge (Quality of Service-QoS) te da zadovolji sve zahtjeve brzine prijenosa podataka od strane aplikacija kao što su video *chat*, usluga slanja multimedijских poruka (Multimedia Messaging Service-MMS), mobilna televizija te aplikacija koje zahtjevaju „streaming“ uslugu.

Bitne značajke LTE standarda su:

- Primjena antena s više prijamnika i odašiljača tj. MIMO antena (*Multiple Input Multiple Output*) - Povećava brzinu prijenosa podataka između mobilnog uređaja i mreže na način korištenja više antena za primanje i slanje podataka.

- Metoda frekvencijskog multipleksa ortogonalnih podnositelja (*Orthogonal frequency division Multiplexing-OFDM*) - Omogućuje prijenos digitalnog signala između digitalne TV i LTE tehnologija na način podjele signala u više paralelnih podatkovnih kanala koji se prenose na različitim frekvencijama [12].



Slika 3 Pristupna mreža 4G mobilne tehnologije LTE standarda [13]

Kako je prikazano na slici 3, za razliku od UTRAN mreže, evoluirana UMTS zemaljska radio pristupna mreža (evolved UMTS Terrestrial Radio Access-E-UTRAN) je radio pristupna mreža LTE standarda koja sadrži samo radijske osnovne postaje tj. radio-bazne stanice, što je na slici označeno kao „eNodeB“. Čvor za upravljanje je izostavljen (Radio Network Controller- RNC ), a jedan dio njegovih funkcionalnosti prebačen je u (Serving Gateway-S-GW), no većina njih prebacuje se u eNB.

E-UTRAN izravno komunicira sa mrežom te time ubrzava vrijeme uspostave sučelja između korisnika i mreže. E-UTRAN sučelja povezana su sljedećim vezama:

- „s1“ sučelje koje povezuje čvorove sa glavnom mrežom,
- „x2“ sučelje koje povezuje čvorove međusobno,
- „kv“ sučelje koje povezuje čvorove sa korisničkom opremom.

## 2.6 Usporedba generacija

Prva generacija koristila je analogni telekomunikacijski standard. Analogan standard funkcionira po principu radio prijemnika. Omogućuje da se poziv prenosi iz jedne u drugu ćeliju te je korisnik mogao razgovarati u području koje je pokriveno s nekoliko ćelija. Mobilni uređaji koji omogućuju prijenos govornih podataka nastali su u prvoj digitalnoj 2G mobilnoj tehnologiji.

Kao što je prikazano u tablici 4, glavna razlika između 2G i 3G tehnologije vidi se kod korisnika koji koriste mobilni uređaj za preuzimanje podataka s Interneta. Omogućene su im puno veće brzine preuzimanja podataka i brži pristup podacima i aplikacijama u 3G tehnologiji nego u 2G tehnologiji koja je manje kompatibilna sa funkcijama pametnih mobilnih uređaja.

Unatoč tome što 3G tehnologija zadovoljava većinu današnjih potreba za Internetom, zbog ograničenja kapaciteta te limitirane mogućnosti unaprjeđivanja tehnologije za još veće performanse te potreba za manjim troškova održavanja, krenulo se u razvoj 4G tehnologije odnosno LTE standarda. Globalni zahtjevi za razvojem 4G tehnologije proizlaze iz potrebe za omogućavanjem naprednih usluga mobilnih tehnologija kao što su multimedijalne razgovori između korisnika, omogućavanjem prijenosa velikih količina podataka kroz društvene mreže, a sve uz mogućnost omogućavanja pristupa navedenih usluga velikom broju korisnika.

Jedan od bitnijih elemenata na koje treba obratiti pažnju je činjenica sve većih zahtjeva i očekivanja korisnika zbog zahtjevnijih aplikacija („*streaming*“, mobilna TV, online igranje) te iz navedenih razloga potrebno je neprestano ulagati u razvoj mobilnih tehnologija kako bi zadovoljili sve kompleksnije zahtjeve korisnika mobilnih uređaja.

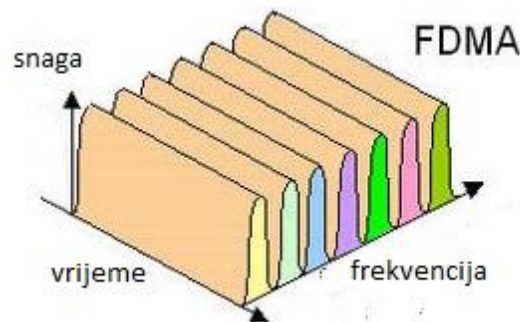


**Tablica 5** – Komparacija mobilnih tehnologija

Generacija	Način prijenosa	Propusnost/brzina	Tehnologija	Razdoblje	Karakteristike
1G	Analogna	14.4 Kbps	AMPS, NMT, ACS	1970-1980	Mobilni uređaji su korišteni samo za prijenos govora.
2G	Digitalna	9.6/14.4 Kbps	TDMA, CDMA	1990-2000	2G omogućuje više korisnika na jednom frekvencijskom kanalu pomoću multipleksiranja s vremenskom podjelom. Omogućava prijenos podataka.
2,5G	Paketni prijenos	171.2 Kbps 20-40 Kbps	GPRS	2001-2004	Sve veća upotreba Interneta. Mobilni uređaji podržavaju web pregledavanje, iako su rijetki mobilni uređaji to podržavali.
3G	Digitalni širok opojasni prijenos podataka.	3.1 Mbps 500-700 Kbps	IMT 2000, UMTS, EDGE	2004-2005	3G multimedijske usluge uz „streaming“ su sve više popularnije. Univerzalni pristup na različitim tipovima uređaja.
4 G	Digitalni širok opojasni prijenos podataka	100-300 Mbps 3-5 Mbps	WIMAX LTE Wi-Fi	Trenutno	Mobilna komunikacija ide preko baznih stanica koje koriste radio valove.

### 3. Značajke tehnike pristupa FDMA

Višestruki pristup s raspodjelom frekvencija FDMA govori da se radi o višestrukome pristupu s podjelom frekvencija. Metoda pomoću koje se prenose podaci te se frekvencije iz šireg pojasa frekvencija dijele na više užih pojaseva frekvencija koji se zovu kanali, kao što je prikazano na slici 4.



Slika 4 Princip rada FDMA [14]

Frekvencijski dijeljeni višestruki pristup FDMA je najjednostavnija tehnika koja omogućava višestruko iskorištenje raspoloživog spektra i jedna od najčešće korištenih metoda višestrukog pristupa. Kod spomenute tehnike jednaka je podjeljenost raspoloživoga frekvencijskog spektra na pojedine frekvencijske kanale, te se svaki razgovor odvija na različitoj frekvenciji.

Metoda FDMA je posebno pogodna za prijenos kod analognih komunikacijskih sustava; takvi su bili sustavi prve generacije mobilne telefonije (1G), tako da je FDMA bila glavna metoda zapisivanja i prijenosa sadržaja u mobilnoj telefoniji prve generacije. Ali FDMA se koristi i za prijenos digitalnih signala [15]

FDMA pristup koristi TACS u Engleskoj, C-Netz u Njemačkoj, AMPS u Sjedinjenim Američkim Državama, a korišten je i u Hrvatskoj od strane T-mobilea za svoju analognu mrežu (NMT-450). Vrlo je složeno realizirati FDMA u baznim stanicama zbog toga što svaki kanal zahtijeva svoj vlastiti TRU (enf. TRU- Transceiver Receiver Unit), iako su hardverske komponentne jednostavne. S obzirom na veliki broj kanala, zahtjevi koji su postavljeni u VF- mrežama za linearnošću i tolerancijom odašiljačkih pojačala su relativno visoki [3].

### 3.1 Princip rada

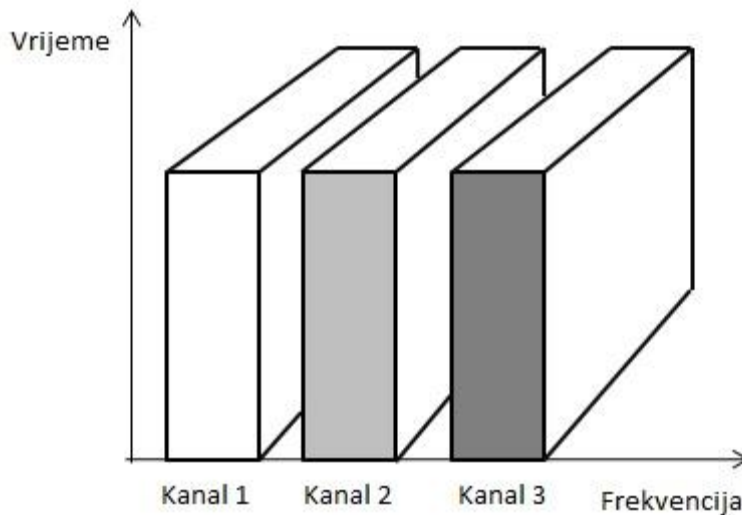
Svakoj komunikaciji se dodjeljuje jedan kanal iz danog šireg frekvencijskog pojasa. U svakom od tih kanala izvodi se jedan prijenos. Dakle, u jednom širem frekvencijskom pojasu odvija se više komunikacija istodobno, svaka u jednom dijelu toga frekvencijskog pojasa, odnosno u jednom kanalu. To znači da više komunikacija ima istodobno pristup istom frekvencijskom pojasu, pri čemu valovi iz toga pojasa imaju ulogu nosioca podataka. Pritom svaka od tih komunikacija koristi jedan dio tog frekventnog pojasa. Od tuda dolazi naziv "višestruki pristup".

Svaka pristupna točka zauzima po jedan frekvencijski kanal. Kada postoji više pristupnih točaka dolazi do složene situacije na centralnoj lokaciji koja dijeli komunikacijske kanale. Svaki smjer zahtijeva jedan zaseban modulator i primopredajnu jedinicu. Samim time povećava se složenost sustava i to rješenje umanjuje spektralnu efikasnost, zbog toga što se za svaku pristupnu točku rezervira jedan frekvencijski kanal. S druge strane, to je djelotvorno rješenje ako se uzima u obzir snaga zračenja i maksimalna brzina prijenosa podataka.

U mobilnim stanicama potreban je duplex-mod, uz pripadajuće odašiljačko-prijemne filtere koji omogućavaju punu dvosmjernu komunikaciju. Nemoguće je istodobno ostvariti mobilne stanice malih dimenzija zbog toga što filtere s takvim značajkama gotovo nemoguće ostvariti pomoću integriranih sklopova. Medijski kanal može prenijeti niz signala valne frekvencije od izvora do odredišta. Pojasna širina kanala podijeljena je na manje frekvencijske pojaseve. Svaki odašiljač omogućava mali frekvencijski pojas za prijenos podataka.

Ostvaruje da različiti korisnici budu razdvojeni u frekvencijskom području tako da svaki korisnik pritom komunicira na različitoj frekvenciji. Kako bi se korisnici mogli razdvojiti jedan od drugoga koriste se filteri propusnika opsega frekvencije, a propusni opseg jednak je širini pojedinačnog kanala. Širina pojasa u ovoj tehnici podijeljena je u nekoliko kanala te se distribuira između korisnika s konačnim djelom pojasne širine za trajno korištenje te se može zaključiti da FDMA dopušta samo jednog korisnika po kanalu jer omogućava tom istom korisniku maksimalno iskorištenje, odnosno dopušta korisniku da koristi kanal 100% vremena.

Za definiranje kanala koristi se frekvencijska “dimenzija”, a svaki blok predstavlja drugi korisnik. Na slici 5. prikazuje se način na koji tri korisnika zauzimaju vrijeme i pojasnu širinu korištenjem FDMA tehnike.



Slika 5 Zauzimanje resursa tri korisnika koji koriste FDMA tehniku  
Izvor: [16]

Frekvencijski zaštitni pojas nalazi se između susjednog signalnog spektra kako bi se moglo ostvariti smanjivanje smetnje između susjednih kanala.

Sve dok jedan korisnik razgovara, niti jedan drugi korisnik ne može pristupiti istom spektru. Dakle kada korisnik zatraži zahtjev, odnosno uputi poziv prema baznoj stanici, tada korisniku bazna stanica dodjeljuje slobodan kanal. Taj se kanal ne može dodijeliti niti jednom drugom korisniku u istoj ili susjednoj ćeliji, sve dok korisnik ne generira zahtjev za raskidanje veze. Kanal se može dodijeliti sljedećem korisniku kada se raskine veza. Korisniku se dodjeljuje slobodan kanal u novoj ćeliji, kada prilikom razgovora korisnik prijeđe u susjednu ćeliju.

Broj kanala koji su istovremeno podržani u FDMA tehnici može se prikazati formulom (1) i slikom 6.

Formula 1. Izračun broja kanala FDMA tehnike

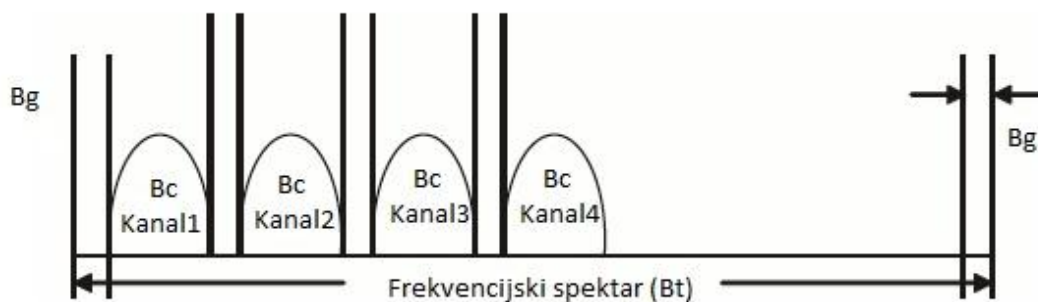
$$\text{Broj kanala } (N) = \frac{Bt - 2Bg}{Bc} \quad (1)$$

Uvedene oznake imaju značenje:

$Bt$  – frekvencijski spektar,

$Bg$  – zaštitno polje na rubu frekvencijskog spektra,

$Bc$  – širina pojasa kanala  $Bg$ .

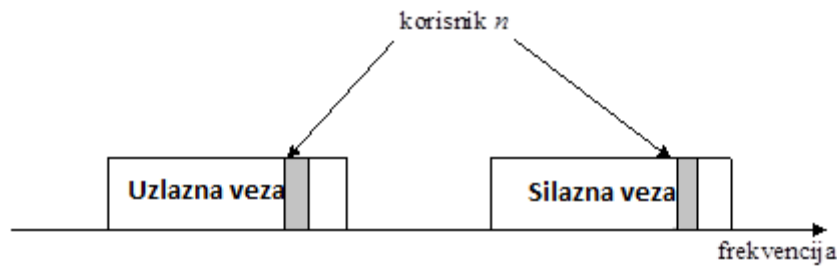


Slika 6 Broj kanala podržanih kod FDMA tehnike [16]

Uparivanje kanala omogućuje dvosmjernu komunikaciju, uzlaznu i silaznu vezu. Uz tehnike višestrukog pristupa, korisnicima je potrebno omogućiti djeljenje informacija između sebe, istovremeno u jednom i drugom smjeru. Takav princip veze naziva se dupleks. Bitno je napomenuti da veza može funkcionirati na način da se informacija istovremeno odašilje i prima u oba smjera (FDD), ili da se u jednom vremenskom intervalu odašilje, a u drugom prima signal (TDD). Da bi se dupleks mogao postići, potrebno je razdvojiti direktni i povratni kanal u frekvencijskom ili vremenaskom području, zaštitnim frekvencijskim pojaskom.

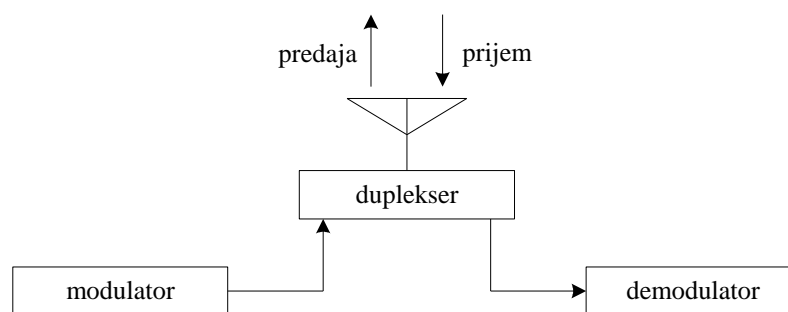
U sustavu koji funkcionira na principu FDD-a, tijekom procesa komunikacije sa baznom stanicom korisnik koristi dva različita frekvencijska kanala koja su odvojena zaštitnim opsegom (guard band) i čine dio direktnog frekvencijskog pojasa.

Jedan frekvencijski kanal se koristi za odašiljanje signala, dok se drugi koristi za primanje signala. Frekvencijski razmak između kanala je nepromjenjiv. FDD osigurava dva jednosmjerna kanala u isto vrijeme. Direktni i povratni kanali odvojeni su zaštitnim frekvencijskim pojasom, kao što je prikazano na slici 7.



Slika 7 Koncept rada FDD [16]

Prikazano na slici 8, silazni kanal se upotrebljava kod prijenosa od bazne stanice ka mobilnoj telefonskoj jedinici (silazna veza), a uzlazni kanal se koristi prilikom prijenosa od mobilne telefonske jedinice prema baznoj stanici (uzlazna veza). Za sve korisnike, razdvojenost između silaznog i uzlaznog kanala je ista. Prilikom prijema i predaje koristi se ista antena, nužno je upotrebljavati duplekser da bi se razdvojio emitirani signal od primljenog.



Slika 8 Uloga dupleksera u radio sustavima sa FDD prijenosom  
Izvor: [16]

### 3.2 Prednosti i nedostaci

Glavna prednost FDMA sustava je jednostavnost implementacije sa hardverskog stajališta, jer su višestruki korisnici izolirani korištenjem pojasnog propusnog filtera.

Prednosti tehnike FDMA su:

- Kada se korisniku dodijeli kanal, mobilni uređaj te bazna stanica komuniciraju istovremeno i kontinuirano te zbog toga nije potrebna sinkronizacija.
- Kod stalnog prometa, sasvim je učinkovit sa manjom brojem stanovnika
- Nema potrebe za izjednačavanjem kanala
- Hardverska jednostavnost (posljedica koncepta razdvajanja korisnika posredstvom jednostavnih filtera za propusnost opsega učestanosti).

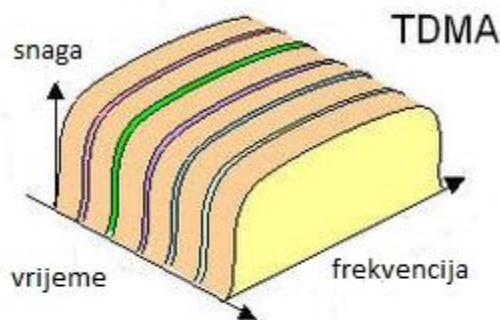
Nedostaci tehnike FDMA su:

- Ako FDMA kanal nije u uporabi znači da je neaktivan, te se ne može koristiti od strane drugih korisnika. Stoga implementacija FDMA postaje sve neučinkovitije rješenje za iskoristivost spektra.
- FDMA zahtijeva grubo filtriranje, odnosno izdvajanje željenog frekvencijskog područja kako bi se smanjile smetnje susjednog kanala.
- Zaštitni pojas (guard band) na rubovima frekvencijskog kanala zauzima dio frekvencijskog spektra.

Glavni problem u radio sustavima koji koriste FDMA tehniku je preslušavanje, koje je posljedica interferencije susjedinih kanala.

## 4. Značajke tehnike pristupa TDMA

Višestruki pristup s vremenskom podjelom TDMA je višestruki pristup s podjelom vremena. Metoda prijenosa podataka kod koje se jedan frekvencijski pojas (kanal) dijeli na vremenske intervale koji se obično nazivaju vremenskim odsječcima (*slots*), kao što je prikazano na slici 9.



Slika 9 Princip rada TDMA [14]

Kada frekvencijski spektar procesuirá veliku količinu prometa, tada učinkovitost samog spektra postaje sve važnija. 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 utjecaj isto-kanalne interferencije. TDMA sustav je programiran kada je efikasnost spektra FDMA postala nedovoljna. Kod digitalnih sustava nije potreban kontinuirani prijenos jer korisnici ne koriste dodjeljenu pojasnu širinu cijelo vrijeme. Omogućuje da nekoliko korisnika dijeli isti frekvencijski pojas u različitim vremenskim odsječcima, koji se povremeno dodjeljuju svakom mobilnom korisniku za vrijeme trajanja poziva [15].

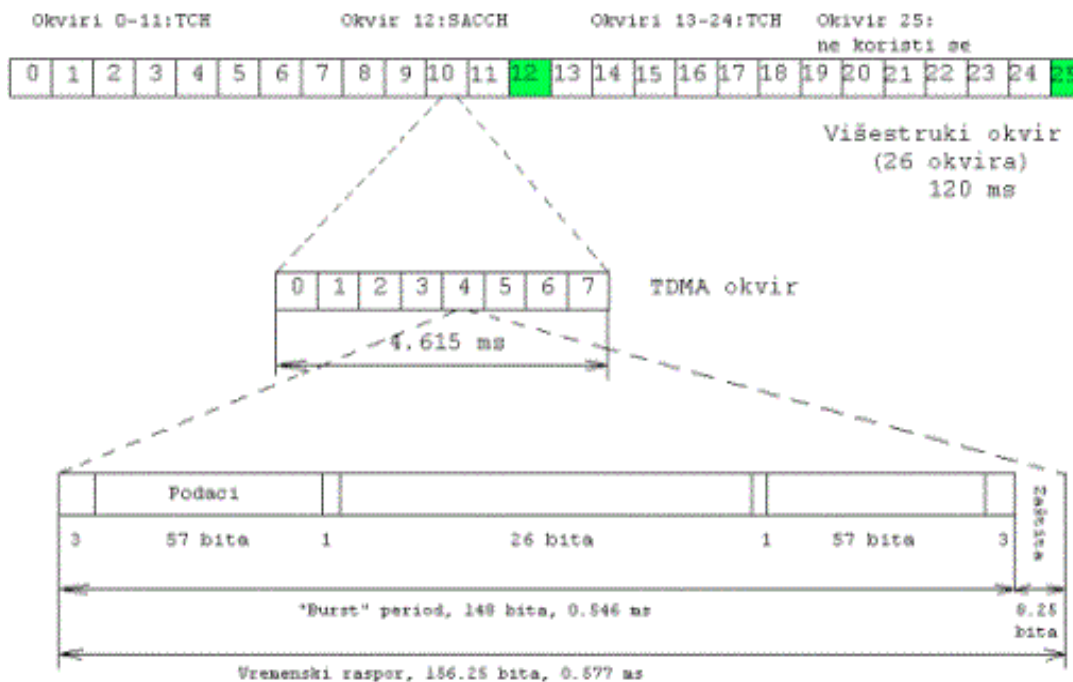
Prema tome, TDMA sustav ima mogućnost dodjeljivanja vremenskih odsječaka korisnika, te omogućuje prijenos digitalnih podataka, umjesto analognih podataka koji su korišteni u FDMA tehnologiji.



## 4.1 Princip rada

Različiti korisnici mogu upotrebljavati istu frekvenciju koja se nalazi u istoj ćeliji, ali u različito vrijeme. TDMA sustav multipleksira tri signala preko jednog kanala. TDMA je digitalna tehnika koja dijeli jedan kanal u vremenske odsječke. Svaki vremenski odsječak se koristi za prijenos jednog bajta ili drugog digitalnog segmenta svakog signala u sekvencijalnom podatkovnom formatu.

Radiokomunikacijsko sučelje GSM-a bazirano je na uskopojasnoj TDM-a tehnici gdje su dostupni frekvencijski pojasevi podijeljeni u vremenske odsječke. Čitav frekvencijski pojas omogućava podjelu u 124 frekvencijska kanala, a na svakom frekvencijskom kanalu moguće je ostvariti 8 vremenskih odsječaka. Pritom korisnik ima pristup prema jednom vremenskom odsječku u redovitim vremenskim intervalima. TDMA omogućuje 8 simultanih komunikacija na jednom radio multiplexer-u i dizajniran je da podržava 16 kanala.



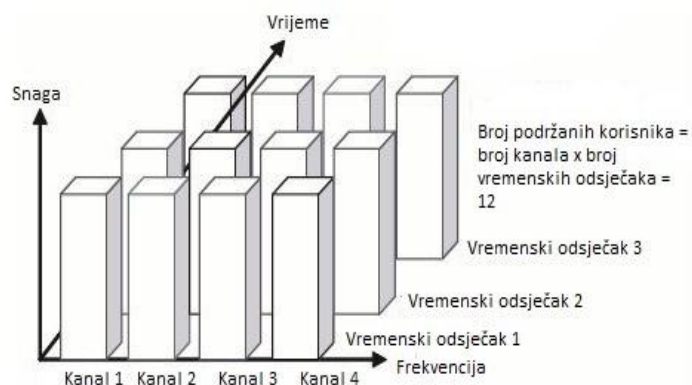
Slika 10 TDMA okvir [17]

Na slici 10. prikazuje se 8 vremenskih odsječaka koji su zastupljeni u GSM tehnici. Navedeni vremenski odsječak najmanji je individualni vremenski period koji je dostupan za svaki mobilni uređaj u GSM sustavu. Vremenski odsječak traje 0.577 ms. Osam vremenskih odsječaka grupirani su zajedno i čine jedan TDMA okvir. Njegovo trajanje je  $8 \times 0,577 = 4,615$  ms. Sam signal šalje se u nešto kraćem vremenskom periodu čije je trajanje

0,546 ms. Razlika treba postojati radi odvajanja okvira međusobno. Za vrijeme jednog burst perioda prenese se  $148 + 8,25 \text{ bita} = 156,25 \text{ bita}$ . Kako TDMA okvir sadrži 8 vremenskih odsječaka za vrijeme od 4,615 ms (koliko on traje) preneseno je  $8 \times 156,25 \text{ bita} = 1250 \text{ bita}$ . S druge strane u jednoj sekundi je  $1 / 4,615 \text{ ms} = 216,68 \text{ TDMA okvira}$ . Stoga je bitski protok (bit rate) =  $216,68 \text{ TDMA okvira/s} \times 1250 \text{ bita/okviru} = 271 \text{ kbit/s}$  [15]

Međutim, za razliku od registracije FDMA, registracija TDMA sustava dodjeljuje dostupan vremenski odsječak unutar kanala. Korisnici pritom mogu jedino primati i slati informacije u tom trenutku, bez obzira na dostupnost drugih vremenskih odsječaka.

Slika 11 prikazuje broj korisnika koji su podržani od TDMA tehnologije. Svaka kolona prikazana na slici predstavlja jedan kanal, a kolona je podjeljena u tri vremenska odsječka. Pozivi u TDMA tehnologiji zapičinju u analognom formatu te su zatim transformirani u digitalni format. Nakon što je poziv pretvoren u digitalni format, TDMA sustav pozicionira poziv u određeni vremenski odsječak. Broj korisnika koji podržavaju TDMA prikazuje poboljšanje uspješnosti samog TDMA sustava. Ako primjerice FDMA sustav podržava četiri korisnika onda TDMA podržava dvanaest korisnika unutar iste pojasne širine kako je prikazano na slici 11.



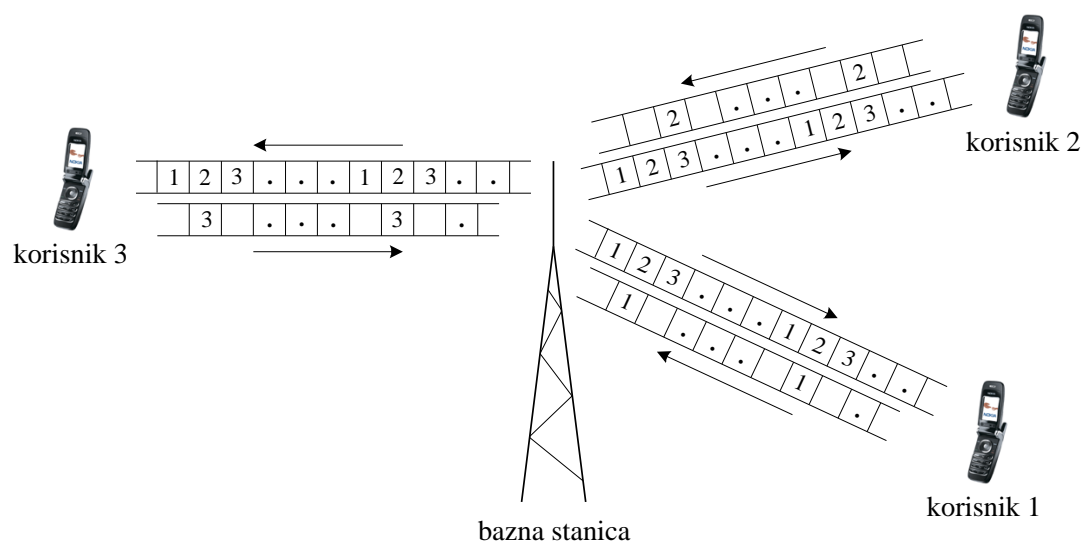
Slika 11 Broj korisnika podržani od TDMA tehnologije [15]

Komunikacija od mobilnog terminala do bazne stanice (uzlazna veza) uključuje digitalni prijenos od svakog korisnika prema baznoj stanici u odgovarajućim vremenskim intervalima. Bazna stanica kod silazne veze emitira signale kontinuirano. Pritom svaki

mobilni terminal prima signal koji je njemu namijenjen u toku vremenskog odsječka koji mu je dodjeljen.

Kod silazne i uzlazne veze međusobni utjecaj između dva ili više korisnika se izbjegava pridržavanjem rasporeda vremenskih odsječaka. Nadalje, izbjegava se na način da se između odsječaka „ostavljaju“ zaštitni intervali, te korištenjem procedura za pravilan raspored primljenih odsječaka. [16]

Na slici 12 je prikazano da prilikom uzlazne komunikacije bazna stanica prima podatke od određenog korisnika samo u toku vremenskog odsječka koji su tom korisniku dodijeljeni.

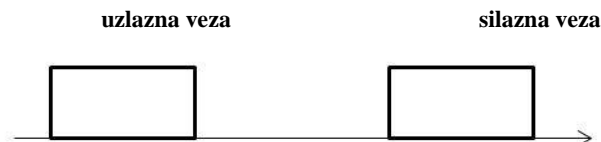


Slika 12 Princip komunikacije mobilni terminal - bazna stanica kod TDMA sustava [16]

Kao što je već rečeno jedan se frekvencijski kanal dijeli na vremenske intervale, odnosno vremenske odsječke. Svaki vremenski odsječak prenosi sadržaj jedne komunikacije. N-ti vremenski interval dodaje se svakoj od komunikacija koje dijele jedan kanal. Takvim se načinom ostvaruje "višestruki pristup" tom kanalu kao nosiocu podataka.

Kod vremenskog višestrukog pristupa na jednom kanalu „teče“ prijenos sadržaja većeg broja komunikacija. Pritom komunikacije međusobno dijele kapacitet tog kanala. Glavna metoda kod TDMA može se mijenjati i nadopunjavati. Varijanta te metode, koja se naziva dinamički TDMA, dodjeljuje različitim komunikacijama različit broj vremenskih intervala, u zavisnosti od njihovih prioriteta i zahtjeva. Metoda TDMA pokazala se dobrom kod prijenosa digitalnih sadržaja, tako da je TDMA bila glavna metoda zapisivanja i prijenosa sadržaja u mobilnoj telefoniji druge generacije (2G).

Kada korisnik u mobilnim komunikacijama prelazi iz jedne stanice u drugu, postoji mogućnost da korisnik izgubi poziv, ukoliko ne postoje slobodni vremenski odsječci. Ova tehnika koristi različite vremenske odsječke za prijenos i prijam podataka. Kod dupleksa s vremenskom podjelom (TDD), direktni i povratni kanal odvojeni su u vremenu. Komunikacija se odvija na istoj frekvenciji, a vrijeme je podijeljeno „na pola“, odnosno jedna polovica vremena je upotrebljena za odašiljanje, a druga za primanje signala, kao što je prikazano na slici 13.



Slika 13 Dva vremenska odsječka kod TDD tehnologije  
Izvor:[16]

### 4.2 Prednosti i nedostaci

Glavna prednost TDMA je da može smjestiti više korisnika u istom području spektra nego FDMA sustav, koji poboljšava kapacitet u situacijama većeg prometa, kao što su velike mreže gradskog područja.

Prednosti tehnike TDMA su:

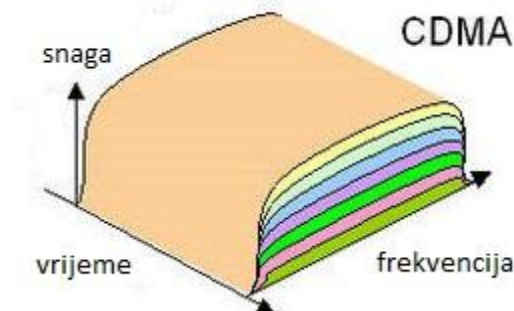
- Prijenos podataka odvija se u vremenskim odsječcima, što znači da se ne odvija kontinuirano.
- Proces prekapčanja je jednostavniji, jer je u mogućnosti slušati druge bazne stanice tijekom praznog hoda vremenskih odsječaka, kada nema komunikacije.
- Veća efikasnost korištenja spektra, u odnosu na FDMA.
- Efikasnost korištenja hijerarhijskih struktura ćelija- piko, mikro i makro ćelije
- Zbog toga što se različiti odsječci koriste za prijenos i primanje, dvosmjerna komunikacija (duplex) nije potrebna.

Nedostaci tehnike TDMA su:

- TDMA zahtjeva sinkronizaciju. Ako se sinkronizacija vremenskih odsječaka izgubi tada je moguć sudar između kanala.
- Visoki troškovi zbog sofisticacije opreme potrebne za funkcioniranje TDMA sustava.
- Potrebno je intenzivno planiranje mreže i spektra.

## 5. Značajke tehnike pristupa CDMA

Višestruki pristup s kodnom podjelom/raspodjelom CDMA je tehnika koja označava višestruki pristup sa podjelom koda. Način dobivanja se ostvaruje ukoliko svaka pristupna točka ima pristup čitavom spektru cijeli vrijeme, kao što je prikazano na slici 14.



Slika 14 Princip rada CDMA [14]

CDMA je treća tehnika višestrukog pristupa koja se koristi u mobilnim sustavima. Omogućuje prijenos zauzimajući cijelu širinu pojasa u isto vrijeme bez interferencije. Korisnici CDMA koriste tehniku proširenja spektra da povećaju efikasnost spektra od postojećih FDMA i TDMA tehnika. Signal proširenog spektra je signal koji ima dodatnu modulaciju koja proširuje signal pojasne širine izvan onoga što zahtijeva temeljna modulacija. Smatra se najpraktičnijom i najdominantijom metodom komunikacije raspršenog spektra. Funkcionira na način promjene frekvencije vala nositelja.

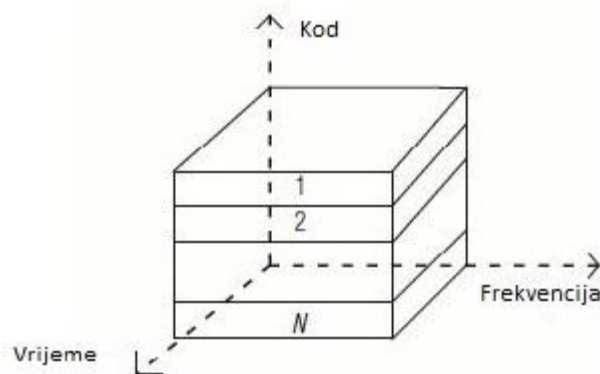
CDMA mobilna tehnologija je izvorno poznata kao IS-95, koja se natječe za prevlast u mobilnom svijetu sa GSM tehnologijom. CDMA mobilni sustavii rade u 800 MHz i 1.9 GHz PCS frekvencijskom području. QUALCOMM je razvio i komercijalizirao CDMA radiokomunikacijsko sučelje koje se koristi u mobilnim sustavima. Uspoređujući sa GSM mobilnim sustavom, CDMA zahtijeva manje baznih stanica i osigurava pet puta veći kapacitet poziva. Također, osigurava više od deset puta glasovnog prometa nego što to omogućava analogni sustav (AMPS).

## 5.1 Princip rada

Digitalna tehnika koja se koristi za prijenos u proširenom spektru. Smetnje koje nastaju zbog dva odašiljača koja se nalaze u istom prostoru i koji koriste isti frekvencijski pojas u isto vrijeme, mogu biti odvojeni pomoću kodne raspodjele višestrukog pristupa. Odašiljači prenose podatke u isto vrijeme, pomoću istog frekvencijskog pojasa, ali pritom rabe različite kodove.

Temelji se na paketnom prijenosu, te se upotrebljava u radio sustavima (Radio Frequency - RF). Koristi se kod određenih sustava mobilne telefonije i kod nekih lokalnih bežičnih mreža WLAN-ova (Wireless Local Area Networks). Podaci se prenose u paketima koji su različite veličine. Prije nego se paket formira, podaci se mogu pretvoriti iz analognog u digitalni format pomoću kodnog uređaja. Kao primjer može se navesti prijenos glasa preko mobilne mreže. Nakon pretvorbe podataka u digitalni oblik, podaci se mogu kompresirati kako bi se smanjio ukupni broj bitova koje je potrebno prenijeti i kako bi se efikasnije iskoristio ograničeni RF spektar [15]. Prikazano slikom 15, CDMA funkcionira na način da se svakom korisniku dodjeljuje jedinstveni kod, koji se koristi za kodiranje podataka prije prijenosa. Ukoliko korisnik poznaje redoslijed koda, on je u mogućnosti dekodirati primljene podatke.

Kodovi su nazvani „Pseudo-random code sequences“, te se dijele između terminalnog uređaja i bazne stanice. Svi korisnici mogu pristupiti cijelom spektru u bilo kojem trenutku.



Slika 15 Pristup korisnika cijelom spektru [15]

Jedinstveni korisnički kod razdvaja poziv od svih ostalih poziva. Prijenos signala odvija se kanalom. Prijamnik tada koristi uređaj za povezivanje kako bi prihvatio željeni signal, koji je prošao kroz filter. Nepoželjni signali neće biti prihvaćeni, te stoga neće ni proći kroz filter. Kodovi izgledaju na način dizajniranih nula i jedinica.

CDMA kanali mogu učinkovito rukovati sa neodređenim brojem korisnika. Razne vrste buke nastaju povećanjem kapaciteta komunikacijskih sustava. Kapacitet sustava ovisi o kvaliteti poziva koji se trenutno ostvaruju. Sa sve većim brojem korisnika u kanalu, buka je glasnija tijekom razgovora te smanjuje kvalitetu trenutnih poziva. Kako bi se mogao ukloniti „noise floor“, CDMA terminalni uređaj i bazna stanica koriste minimalnu količinu snage koja je potrebna za međusobnu komunikaciju te time smanjuju potrošnju baterija na mobilnim uređajima.

Primjer uporabe CDMA u mobilnim mrežama je prijenos glasovnih podataka. Svaki prijenos sadrži niz paketa sa podacima. Nizu se dodjeljuje PN (eng. Pseudo Noise), jedinstvena 10-bitna kodna sekvenca. Nakon što se PN kod doda ispred svakog paketa u nizu, prijatelj može razlikovati određeni prijenos, od pozadinskog šuma, te od ostalih prijenosa koji se odvijaju preko RF kanala. Prema tome, omogućeno je preklapanje više paketa pridruženih raznim komunikacijama u istom spektru, s tim da se preklapanje izvodi i po frekvencijama i vremenu, bez međusobnog ometanja prijenosa.

FDMA i TDMA su uskopojasni sustavi i ne mogu razlikovati dolaske sa signala po više putova, pa pribjegavaju izjednačavanju ublažavanja negativnih posljedica dolazaka signala po više putova. Zahvaljujući svojoj pojasnoj širini i prijavnicima, CDMA koristi dolazak signala sa više puteva i povezuje ih kako bi dobili jači signal na prijateljima. Jedan od prijatelja stalno zahtjeva različite „multipath“-e i daje informacije ostalim prijateljima. Tada svaki prijatelj demodulira signal prema odgovarajućem jakom „multipath“-u.

Pristupna tehnika koja se koristi u trećoj generaciji je WCDMA. WCDMA je širokopojasni višestruki pristup s kodnom raspodjelom kanala i doprinosi povećanju brzina prijenosa podataka do 2 Mbit/s uz vrlo efikasno korištenje radio-spektra. WCDMA pomoću dvosmjerne veze korištenjem frekvencijske podjele (Frequency Division Duplex-FDD) omogućava da uzlazna i silazna veza koriste različite frekvencijske pojaseve za prijenos podataka. Signal WCDMA tehnologije je podijeljen pomoću različitih kodova za različite korisnike. Ovaj način višestrukog poziva/ veza može se postići uporabom iste frekvencije. WCDMA koristi dva frekvencijska kanala pojasne širine 5 Mhz, koji se nalazi na području 1920-1980 MHz i 2110-2170 MHz. Frekvencijsko područje od 1920-1980 MHz koristi se za uzlaznu vezu, a područje od 2110-2170 MHz koristi se za silaznu vezu [18].

Kada je 3G mobilna tehnologija u Kini tek bila omogućena, Kina je odlučila razviti svoju verziju 3G mobilne tehnologije kako bi izbjegli plaćanje skupe patentne naknade. (Time Division Synchronous Code Domain Multiple Access- TD-SCDMA) tehnologija sa TDD tehnikom dupleksiranja, pokrenuta je u Kini 07.07.2009. godine.

Kina je izdvojila tri frekvencijska područja za TD-SCDMA, 1880-1920 MHz, 2010-2025 MHz i 2300-2400 MHz. TD-SCDMA koristi frekvencijske kanale širine od 1,6 MHz omogućavajući brzinu prijenosa podataka od 1,2 kbps do 2 mbps. Uzlazna i silazna veza koriste isti radio kanal., kao što je prikazano u tablici 5.

**Tablica 6** – Komparacija standarda 3G mobilne tehnologije

Standard	TD-SCDMA	WCDMA
Frekvencijsko područje [MHz] - Uzlazna veza - Silazna veza	1880 – 1920, 2010-2025, 2300-2400	1920-1980  2110-2170
Pojasna širina kanala	1,6 MHz	2 x 5 MHz
Tehnika dupleksa	TDD	FDD
Način pristupa	CDMA	CDMA

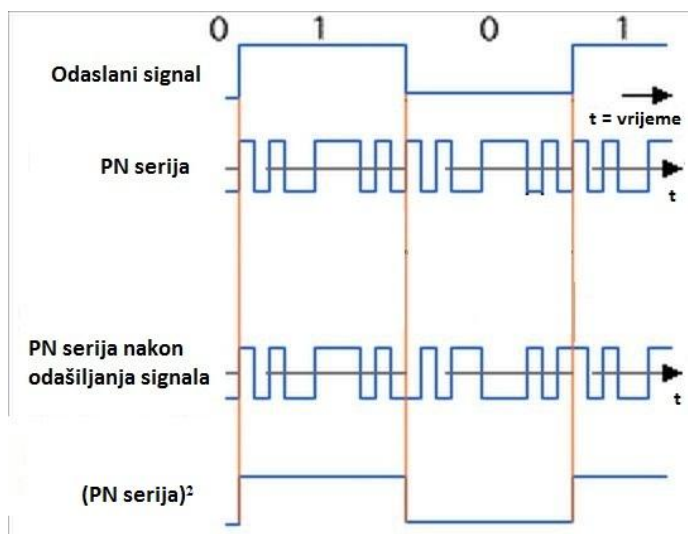
Postoji nekoliko inačica CDMA tehnike, a to su: DS (direct sequence) – direktni niz, FH (frequency hopping) – promjena frekvencije signala nosioca, TH (time hopping) – promjena frekvencije signala nosioca u vremenu i hibridna. Prijenos u proširenom opsegu može se postići tehnikom direktne sekvence ili tehnikom promjene frekvencije.

U DS-CDMA sustavu, modulacija i demodulacija su logički određeni za odašiljanje i prijam signala. Prvo, odašiljačka strana provodi modulaciju originalnog signala te odašilje specijalne valove signala, koji se nazivaju PN serije, koji se potom prenose putem širokopojasnog spektra širenja. Prijamnik prihvaća poslani signale te izvršava demodulaciju, samo na moduliranim signalima, koristeći iste kodove kao na strani odašiljača [19].

PN serija signala, koja se često koristi za odašiljanje moduliranog signala na odašiljaču, sastoji se od pseudo-slučajnih nizova od (1) i (-1). Uvijek je moguće povratiti stanje izvornog signala iz stanja odašlanog signala u odnosu na njegovo obrnuto stanje, zato



što rezultat množenja navedena dva stanja daje stanje izvornog signala, kao što je prikazano na slici 16.



Slika 16 Modulacija i demodulacija signala DS-SS sustava [20]

Tehnika promjene frekvencije proširenog spektra (Frequency hopping spread spectrum – FHSS) je metoda prijenosa radio signala brzim promjenama frekvencijskih kanala. Kada je brzina promjene frekvencijskih kanala brža od brzine prijenosa signala (višestruka promjena frekvencijskih kanala po signalu), sustav se zove brza promjena frekvencijskih kanala. Kada se frekvencijski kanal mijenja nakon jednog ili više poslanih signala, tada se radi o sustavu spore promjene frekvencijskih kanala.

Za uspješnu komunikaciju između odašiljača i prijamnika, prijamnik mora posjedovati isti kod promjene frekvencijskih kanala kao i kod odašiljača. Jednaki kod prijamniku omogućuje da prati promjene frekvencijskih kanala i ispravno otkriva poslani signal od odašiljača. Prijamnik tijekom otkrivanja signala, koji ne prate promjene frekvencijskih kanala, čuje samo šumove [20]

## 5.2 Prednosti i nedostaci

Jedna od glavnih prednosti CDMA sustava je mogućnost korištenja signala koji pristužu u prijamnik, s različitim vremenskim odsječcima. Ovaj se fenomen naziva „multipath“.

Prednosti CDMA tehnike su:

- Najveći spektar učinkovitosti: kapacitet je povećan oko osam ili deset puta za razliku od analognog sustava, te četiri do pet puta od ostalih digitalnih sustava, zbog čega je najkorisniji kada je u pitanju veliki promet sa velikim brojem korisnika i ograničenim spektrom.
- CDMA poboljšava kvalitetu poziva filtiranjem pozadinske buke, te otežava preslušavanje i interferenciju.
- Pojednostavljeno je planiranje frekvencija zbog toga što svi korisnici CDMA sustava koriste isti frekvencijski spektar.
- Nisu potrebni inženjerski detaljni planovi frekvencije.
- Za kvalitetnu pokrivenost dovoljan je manji broj ćelija.
- Uporabom slučajnih Walsh kodova poboljšala se privatnost korisnika; prednost metode raspršenog spektra.
- Precizna kontrola snage povećava trajanje baterija mobilnih uređaja te moguće vrijeme razgovora.

Nedostaci TDMA tehnike su :

- Oprema za funkcioniranje CDMA sustava je skupa.
- Visoki troškovi za omogućavanje kompatibilnosti s drugim tehnologijama.
- KomPLICIRANOST optimiziranja CDMA sustava za maksimalne performanse.
- Nedovoljna pokrivenost područja CDMA signalom vodi do nepotrebne uporabe resursa.

## 6. Komparacija performansi pristupnih mreža ovisno o pristupnoj tehnologiji

Svaka generacija mobilnih komunikacija bazira se na određenoj pristupnoj tehnologiji. Prema tablici 6, 1. generacija mobilnih komunikacija, sa standardima pristupnih mreža AMPS, NMT i TACS, se temelji na FDMA tehnologiji. GSM, D-AMPS i PDC standardi, pristupnih mreža 2. generacije mobilnih komunikacija, se temelje na TDMA tehnologiji. Standardi pristupnih mreža, 3. generacije mobilnih komunikacija, UMT, CDMA2000, WCDMA i TD-SCDMA, se temelje na CDMA tehnologiji. 4. generacija mobilnih komunikacija, sa standardima LTE, UMB i WiMAX, temelji se na OFDMA tehnologiji.

**Tablica 7.** Komparacija standarda mobilnih tehnologija sa tehnikama višestrukog pristupa

Mobilna generacija	Standard	FDMA	TDMA	CDMA	OFDMA
1G	AMPS	x			
	NMT	x			
	TACS	x			
2G	GSM		x		
	D-AMPS		x		
	PDC		x		
3G	UMTS			x	
	IMT 2000			x	
	WCDMA			x	
	TD-SCDMA			x	
4G	LTE				x
	UMB				x
	WiMAX				x

Svaka tehnika višestrukog pristupa primjenjiva je za određene veličine ćelija. Kako je prikazano u tablici 7, FDMA i TDMA tehnike pristupa pogodne su i primjenjive za sve navedene vrste ćelija (makro, mikro i piko), dok je CDMA tehnika više je primjenjiva za manje ćelije (mikro i piko).

**Tablica 8 .** Komparacija tehnika višestrukog pristupa sa veličinom ćelija

	Makro	Mikro	Piko
FDMA	X	x	x
TDMA	X	x	x
CDMA		x	x

Makro ćelije su veličine radijusa od 1,6 km do 24 km. U makro ćelijama bazne stanice koriste puno energije kako bi pružale radio pokrivenost. Antene u makro ćelijama, su montirane na krovovima kuća i drugim postojećim strukturama. Snaga odašiljanja signala bazne stanice je nekoliko desetaka W.

Mikro ćelije pokrivaju ograničeno područje kao što su hotel ili trgovački centar. Pokrivenost pruža bazna stanica koja koristi malo energije. Raspon mikro ćelije manji od 2 km. Snaga odašiljanja signala bazne stanice je do 5 W.

Raspon piko ćelija je do 200m. Snaga odašiljanja signala bazne stanice je do 200 mW. Piko ćelija pokriva mali prostor, kao što su zgrade, uredi, željezničke stanice, ili u novije vrijeme u zrakoplovu. [21]

Za razliku od FDMA, CDMA za svaku pristupnu točku koristi ukupnu širinu spektra, ali ne cijelo vrijeme, već određeni dio vremena. Zahvaljujući tome potrebna je samo jedna prijenosna frekvencija za sve pristupne točke, a to znači da je na distribucijskoj lokaciji dovoljna jedna primopredajna jedinica. Time se smanjuje složenost sustava i povećava spektralna efikasnost. Jedna od dodatnih mogućnosti u ovom slučaju je i dinamičko dodjeljivanje kapaciteta pojedinoj pristupnoj točki. Zatraženi kapacitet ili ukupan raspoloživi kapacitet može se na taj način preusmjeriti na željenu lokaciju. Potreba za dodatnim zaštitnim i kontrolnim bitovima uvodi određeno pristupno kašnjenje i smanjuje raspoloživi dio za prijenos podataka. FDMA i TDMA striktno ograničavaju kapacitet (hard capacity limit), dok CDMA ima meko ograničenje kapaciteta (soft capacity limit) [22].

Višestruki pristup na bazi vremenske podjele kanala (TDMA) razbija više konverzacija u fragmente, koji se odašilju jednim kanalom u točno određenim vremenskim intervalima. Povećava kapacitet u odnosu na analogne sustave za barem tri puta.

Kod CDMA tehnike poznato je da fragmentira konverzacije te se ne obazire na vremenski raspored radi određivanja kako sastaviti dijelove na prijamnom kraju. Svakom djelu pridjeljuje jedinstven identifikator. TDMA tehnologija je dokazana kao pouzdana tehnologija i koristi se za GSM standard (Global System for Mobile Communications) kojeg je Europska unija usvojila, te je obavezan za zemlje članice. GSM sustav pokazuje svoju fleksibilnost na način da sustav može raditi pružajući svakom korisniku SIM karticu (Subscriber Identification Module). Korisnik aktivira svoj mobilni uređaj prilikom uključivanja SIM kartice, potvrđuje svoj identitet i ovlaštenje za uporabu mreže operatora.

### 6.1 Fleksibilnost formata

Govorni podaci su bili dominantni izvor prihoda za telekomunikacijsku industriju do kraja prošlog stoljeća. Pojavom Interneta i kableske TV industije stvorila se mogućnost za buduće multimedijske aplikacije. Mobilni uređaji koji su dizajnirani za telefonske mogućnosti sada se koriste za druge programe i zahtijevaju podršku za multimedijske aplikacije. Da bi se mogle podržati različite brzine prijenosa podataka s različitim zahtjevima, mreža treba imati fleksibilan format. Jedan od razloga pretvorbe iz analognog FDMA u digitalni TDMA je zbog toga što TDMA osigurava fleksibilnije okruženje za prijenos podataka. Vremenski odsječci kod TDMA mreže dizajnirani su za prijenos govora koji mogu biti korišteni individualno ili u grupnom formatu za prijenos podataka od korisnika i kako bi podržavao različite brzine podataka. Međutim, svi korisnici moraju biti vremenski sinkronizirani i kvaliteta prijenosnim kanalom mora biti jednaka za sve korisnike. Glavna prednost CDMA nasuprot TDMA jest fleksibilnost u vremenu, te u kvaliteti prijenosa. Kod CDMA, korisnici su razdvojeni pomoću koda te ostaju nepromijenjeni zbog transmisije podataka drugih korisnika.

### 6.2 Prekapčanje

Prekapčanje se javlja kada primljeni signal u mobilnoj stanici postane slab, a drugi u baznoj stanici može pružiti jači signal mobilnoj stanici. 1G FDMA ćelijski sustavi često koriste takozvani „hard decision“ prekapčanje pri kojem kontrolor bazne stanice nadzire primljeni signal bazne stanice te u prikladno vrijeme prebacuje vezu s jedne bazne stanice u drugu baznu stanicu.

TDMA sustavi koriste takozvani „mobile assisted“ prekapčanje pri kojem mobilna stanica nadzire primljeni signal dostupne bazne stanice i prijavljuje to kontroloru bazne stanice koji tada donosi odluku o prekapčanju. Zato jer susjedne ćelije u FDMA i TDMA koriste različite frekvencije, mobilna stanica se mora isključiti i ponovno spojiti na mrežu koja se korisniku prikazuje u obliku jednog klika. Prekapčanja se pojavljuju na rubu ćelija kada su primljeni signali obje baznih stanica slabi. Signali variraju jer dolaze putem radio signala. Rezultat toga je vrlo komplicirano odlučivanje o primjeni prekapčanja, obzirom da korisnik doživi period loše kvalitete signala i vjerojatno nekoliko klikova tijekom završetka procesa prekapčanja. Zato jer susjedne ćelije CDMA mreže koriste istu frekvenciju, mobilni uređaj koji se kreće od jedne ćelije do druge može napraviti (neprimjetno) prekapčanje koristeći kombiniranje signala. Kada se mobilna stanica približi granici između ćelija, komunicira sa obje ćelije. Kontrolor objedinjuje signale obje veze kako bi stvorio bolji komunikacijsku vezu. Kada je uspostavljena pouzdana veza sa novom baznom stanicom, mobilni uređaj prestaje komunicirati s prethodnom baznom stanicom i u potpunosti se uspostavlja komunikacija s novom baznom stanicom. Ova je tehnika poznata i kao meko prekapčanje. Meko prekapčanje osigurava dvostruku raznolikost primljenog signala s dvije veze, što poboljšava kvalitetu prijama.

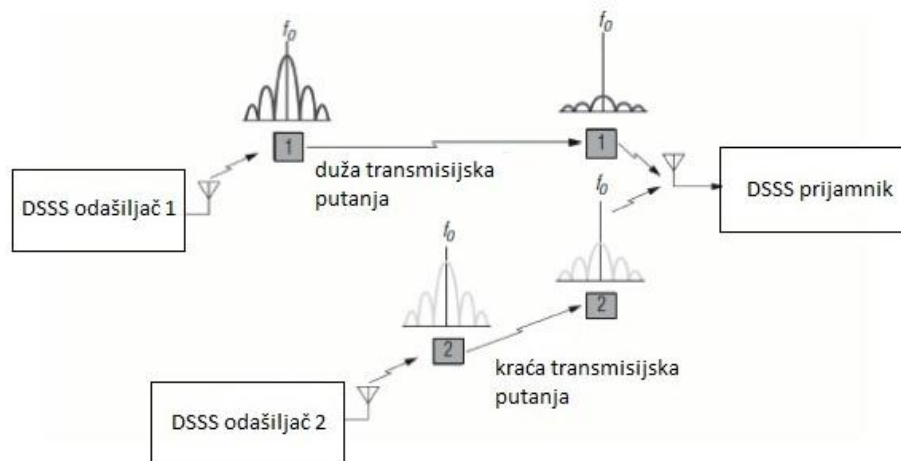
### 6.3 Upravljanje snagom

U FDMA i TDMA sustavima upravljanje snagom potrebno je kako bi poboljšali kvalitetu govora dospjelog do korisnika. U CDMA, kapacitet sustava ovisi direktno o upravljanju snagom i za funkcioniranje mreže potreban je precizni mehanizam upravljanja snagom. U CDMA upravljanje snagom je ključni čimbenik u maksimiziranju broja korisnika koji mogu funkcionirati simultano u sustavu. Kao rezultat, CDMA usklađuje snagu odašiljanja kako bi podržao ugađeno upravljanje snagom. Kvalitetno upravljanje snagom također smanjuje snagu odašiljanja snage na mobilnim stanicama te time povećava vijek trajanja baterije mobilnog uređaja.

### 6.4 Blizu/daleko problem

Jedan od najčešćih problema u CDMA bezmrežnoj komunikaciji pojavljuje se koristeći tehnologiju raspršenog spektra s izravnim nizom (Direct Sequence Spread Spectrum- DSSS) te se problem zove blizu/daleko (engl. near/far). Blizu/daleko problem pojavljuje se kada dva ili više DSSS odašiljača odašilju signal prema jednom DSSS prijammniku, te su odašiljači različite udaljenosti do DSSS prijammnika.

Kao što je prikazano na slici 17, jedan DSSS odašiljač je bliži prijamniku nego drugi DSSS odašiljač. Snaga odašiljanja signala kod oba DSSS odašiljatelja je ista ali je snaga prijama signala kod DSSS prijamnika različita zbog različite udaljenosti DSSS odašiljača do DSSS prijamnika. Problem je kada se pokreće demodulacija primljenog signala od DSSS odašiljača broj jedan kod DSSS prijamnika zbog nedovoljne snage primljenog signala te može dovesti do nedovoljno kvalitetne demodulacije primljenog signala.



Slika 17 Prikaz daleko/blizu problema [15]

Komparacija tehnika višestrukog pristupa sa stabilnošću frekvencije nosioca, sinkronizacije, upravljanjem snagom, blizu/daleko problemom i promjenjivim digitalnim protokom, prikazana je u tablici 8.

**Tablica 9** – Komparacija tehnika višestrukog pristupa

	<b>FDMA</b>	<b>TDMA</b>	<b>CDMA</b>
Stabilnost frekvencije nosioca	zahtijeva se	nije neophodno	nije neophodno
Sinkronizacija	ne zahtijeva se	zahtijeva se	zahtijeva se
Upravljanje snagom	Teško	lako	lako
blizu/daleko problem	ne postoji	ne postoji	postoji, potrebno upravljanje snagom
Promjenljiv digitalni protok	Teško	lako	lako

## 7. Zaključak

Radiofrekvencijski spektar ograničen je prirodan resurs, te se mora koristiti na najučinkovitiji način. Razvojem tehnika višestrukog pristupa, povećan je kapacitet sustava omogućujući većem broju korisnika pristup raspoloživom spektru. 1960-ih godina razvijen je IMTS sustav 1G mobilnih tehnologija koji je omogućio korisniku dvosmjernu komunikaciju. IMTS je nepraktičan sustav sa ograničenim kapacitetom od 23 kanala te su korisnici morali dugo čekati slobodni kanal. 1980-ih godina razvijen je poboljšani mobilni sustav AMPS koji je prvi koristio tehnologiju s ćelijama na način da je zamljopisno područje podijelio na 10-20 km u promjeru. Postigao se veći kapacitet smanjivanjem ćelija gdje je broj korisnika bio veći. Godine 1991. razvijen je GSM sustav 2G mobilne tehnologije koji se bazira na digitalnoj tehnologiji. Veća je iskorištenost spektra, povećan je kapacitet, razvijena je brzina prijenosa podataka do 9,6 kbits te omogućena usluga kratkih poruka (SMS). GPRS i EDGE tehnologije, 2.5G mobilne generacije, su nadogradnja postojećoj GSM tehnologiji. Omogućuju efikasnu uporabu raspoložive pojasne širine te brzinu prijenosa podataka do 115 kbits za GPRS, odnosno do 384 kbps za EDGE tehnologiju.

Godine 2001. razvijena je prva 3G mreža kojoj je cilj integrirati žičani i bežični sustav u jedan multimedijски univerzalni sustav koji će povećati kapacitet te omogućiti brži prijenos podataka. WCDMA i TD-SCDMA standardi 3G mobilne tehnologije omogućili su prijenos podataka do 2 Mbits.

Razvojem 4G mobilne tehnologije omogućeno je korisnicima skoro deseterostruko brži pristup Internetu nego što nudi 3G mobilna tehnologija, od 100 Mbits do 1Gbits. 4G mobilna tehnologija izazvala je revoluciju među korisnicima jer im omogućuje neometan rad sa multimedijским uslugama kao što su video chat, mobilna televizija itd.

Kako bi korisnicima bio omogućen višestruki pristup mobilnim mrežama, razvijene su tehnike koji to omogućuju. Frekvencijski dijeljeni višestruki pristup FDMA tehnika je višestrukog pristupa kod koje je jednaka podijeljenost raspoloživost frekvencijskog spektra na pojedine frekvencijske kanale. Metoda FDMA pogodna je za prijenos kod analognih komunikacijskih sustava te je bila glavna metoda prijenosa sadržaja u 1G mobilnih tehnologija.



Višestruki pristup s vremenskom podjelom TDMA razvijen je kada je efikasnost spektra FDMA postala nedovoljna. TDMA je metoda prijenosa podataka kod koje se frekvencijski pojas dijeli na vremenske odsječke te na taj način omogućuje prijenos digitalnih podataka, umjesto analognih podataka koji su korišteni u FDMA tehnologiji. TDMA tehnika višestrukog pristupa koristi se u 2G mobilnoj tehnologiji.

CDMA tehnika omogućuje veću iskoristivost spektra od postojećih FDMA i TDMA tehnika. CDMA tehnika je glavna metoda prijenosa informacija u 3G mobilnoj tehnologiji.

Mobilne tehnologije se jako brzo razvijaju, svakodnevno pružajući nove mogućnosti korisnicima. Prema tome, uspjeh mobilnih mreža ovisi o raspoloživosti radiofrekvencijskog spektra, kvaliteti usluge koje pružaju korisnicima te zadovoljavanju sve zahtjevnijih korisničkih potreba.

## Popis literature

- [1] Zubak, N.: Razvoj mobilne telefonije u svijetu i kod nas, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999.
- [2] <http://www.slideshare.net/noorec786/generations-of-network-1-g-2g-3g-4g-> (lipanj, 2015)
- [3] Teković, Bežične računalne mreže, priručnik, Algebra, Zagreb, 2010
- [4] <https://www.google.hr/search?q=2g+architecture&newwindow=1&client=opera&hs=bv1&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0CA> (lipanj, 2015)
- [5] Doc. dr. sc. Štefica Mrvelj, Separati i predavanja iz kolegija „ Tehnologija telekomunikacijskog prometa “, Zagreb, 2012.
- [6] <http://www.mobilecomms-technology.com/projects/pdc/> (lipanj,2015)
- [7] [https://www.fer.hr/download/repository/trendovi\\_u\\_telekomunikacijama](https://www.fer.hr/download/repository/trendovi_u_telekomunikacijama) (lipanj,2015)
- [8] B. Županić, M. Gadže, A. Janković; Od analognih do digitalnih sustava pokretne telefonije; Časopis: Ericsson Nikola Tesla REVIJA 17(2004)
- [9] <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr01/imt.htmn> (lipanj,2015)
- [10] Malić N.: Revija; Časopis Dioničkog društva,  
[http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br\\_2\\_2003/univerzalni\\_sustav.htm#top](http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_2_2003/univerzalni_sustav.htm#top)
- [11] [http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br\\_2\\_2003/univerzalni/sl\\_03.gif](http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_2_2003/univerzalni/sl_03.gif) (srpanj,2015)
- [12] Ivošević I., Nikolić A., Pejić A., Zmaić A., Bežične i mobilne mreže, Seminarski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, svibanj 2011.  
<http://www.mathos.unios.hr/~apejic/mobilne.pdf>
- [13] <http://www.rcrwireless.com/20140509/wireless/lte-network-diagram> (srpanj, 2015)
- [14] <https://careershapers.files.wordpress.com/2014/03/600px-cdma12.jpg> (srpanj, 2015)
- [15] Gottapu Sasibhushana Rao, Mobile Cellular Communication, Pearson Education India, travanj, 2012.
- [16] I.Drakić, Tehnike višestrukog pristupa u mobilnim radiokomunikacijama,  
[https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCIQFjABa\\_hUKEwjtns6mpuzHAhXE6xQKHS17BO8&url=https%3A%2F%2Fdrakic.files.wordpress.com%2F2012%2F02%2Fglava-5.doc&usg=AFQjCNG3KhVeU--JhJsR29AtUL34nk2Z\\_Q&sig2=zcqRQI55kuRUdN8hyWot-Q](https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCIQFjABa_hUKEwjtns6mpuzHAhXE6xQKHS17BO8&url=https%3A%2F%2Fdrakic.files.wordpress.com%2F2012%2F02%2Fglava-5.doc&usg=AFQjCNG3KhVeU--JhJsR29AtUL34nk2Z_Q&sig2=zcqRQI55kuRUdN8hyWot-Q)
- [17] [http://mirza-sa.tripod.com/telekom/struktura\\_gsm\\_signala.htm](http://mirza-sa.tripod.com/telekom/struktura_gsm_signala.htm) (srpanj,2015)
- [18] <http://www.inet.hr/~vklapac/INIK9.pdf> (srpanj, 2015)

[19] [http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public\\_html/cd\\_cell/chapters/a\\_mitra\\_mobile\\_communication/chapter8.pdf](http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public_html/cd_cell/chapters/a_mitra_mobile_communication/chapter8.pdf) (srpanj, 2015)

[20] <https://www.nttdocomo.co.jp/english/corporate/technology/rd/tech/bn> (srpanj, 2015)

[21] <http://www.irjes.com/Papers/vol2-issue7/Version-2/A02070108.pdf> (srpanj, 2015)

[22] [http://www.nada.kth.se/~mikeh/WCDMA\\_vs\\_TD-SCDMA-v2.0.pdf](http://www.nada.kth.se/~mikeh/WCDMA_vs_TD-SCDMA-v2.0.pdf) (srpanj, 2015)

## Popis ilustracija

Slika 1 Pristupna mreža GSM-a.....	5
Slika 2 Pristupna mreža 3G mobilne tehnologije UMTS standarda.....	9
Slika 3 Pristupna mreža 4G mobilne tehnologije LTE standarda.....	11
Slika 4 Princip rada FDMA .....	14
Slika 5 Zauzimanje resursa tri korisnika koji koriste FDMA tehniku.....	16
Slika 6 Broj kanala podržanih kod FDMA tehnike .....	17
Slika 7 Koncept rada FDD.....	18
Slika 8 Uloga dupleksera u radio sustavima sa FDD prijenosom.....	18
Slika 9 Princip rada TDMA .....	20
Slika 10 TDMA ovir .....	21
Slika 11 Broj korisnika podržani od TDMA tehnologije .....	22
Slika 12 Princip komunikacije mobilni terminal - bazna stanica kod TDMA sustava .....	23
Slika 13 Dva vremenska odsječka kod TDD tehnologije .....	24
Slika 14 Princip rada CDMA.....	25
Slika 15 Pristup korisnika cijelom spektru .....	26
Slika 16 Modulacija i demodulacija signala DS-CDMA sustava .....	29
Slika 17 Prikaz daleko/blizu problema .....	35

## **Popis tablica**

Tablica 1 - Razvoj mobilnih komunikacija od 1. do 4. generacije

Tablica 2 – Komparacija standarda 1G mobilne tehnologije

Tablica 3 – Komparacija standarda 2G mobilne tehnologije

Tablica 4 – UMTS standard treće generacije

Tablica 5 – Komparacija mobilnih tehnologija

Tablica 6 – Komparacija standarda 3G mobilne tehnologije

Tablica 7. Komparacija standarda mobilnih tehnologija sa tehnikama višestrukog pristupa

Tablica 8 . Komparacija tehnika višestrukog pristupa sa veličinom ćelija

Tablica 9 – Komparacija tehnika višestrukog pristupa