Analiza performanci UMTS mreže bazirana na kapacitetu i pokrivenosti

Rajič, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:912658

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivan Rajič

ANALIZA PERFORMANCI UMTS MREŽE BAZIRANA NA KAPACITETU I POKRIVENOSTI

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

ANALIZA PERFORMANCI UMTS MREŽE BAZIRANA NA KAPACITETU I POKRIVENOSTI

PERFORMANCE ANALYSIS OF UMTS NETWORK BASED ON CAPACITY AND COVERAGE

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

Student: Ivan Rajič
JMBAG: 0135218932

Zagreb, rujan 2016.

ANALIZA PERFORMANCI UMTS MREŽE BAZIRANA NA KAPACITETU I POKRIVENOSTI

SAŽETAK

UMTS je treća generacija mobilnih mreža koja omogućuje bolje performance mreže u odnosu na predhodne s obzirom na zračno sučelje između pristupne mreže i jezgrene mreže, kvalitetu usluge, pokrivenost, kapacitet, itd. S UMTS-om je uvedeno mnogo novih multimedijskih usluga. Sa većom propusnošću UMTS omogućuje nove usluge kao što su video konferencija ili IPTV. Konekcije u domeni komutacije paketa koriste internet protokol, što znači da je virtualna veza uvijek na raspolaganju u bilo kojoj točki u mreži. U mreži treće generacije potrebne su funkcije kontrole pristupa i kontrola zagušenja kako bi se osigurala kvaliteta usluge i povećala propusnost sustava. Cilj ovog rada je prikazi analize kapaciteta i pokrivenosti. Analiza pokrivenosti prikazuje broj korisnika u UMTS ćeliji sa sektorizacijom i bez sektorizacije. Analiza kapaciteta prikazuje koliko korisnika može biti posluženo u UMTS ćeliji u scenarijima s određenim kombinacijma prometa i karakteristikama mobilnosti.

KLJUČNE RIJEČI: UMTS, pokrivenost, kapacitet, kvaliteta usluge

SUMMARY

UMTS is the third generation mobile networks that enables better network performance than its predecessor in the form of air interface between access network and the core network, quality of service, coverage, capacity, etc. With UMTS, many new multimedia services are introduced. The higher bandwidth of UMTS also enables other new services like video conferencing or IPTV. A packet-switched connection uses the internet protocol, meaning that a virtual connection is always available to any other end point in the network. In third generation networks admission control and congestion control are required to guarantee the quality of service and to maximise the system throughput. The aim of this study was to review analysis of capacity and coverage. Coverage analysis review number of users in UMTS cell with sectorisation and without sectorisation. Capacity analysis shows how many users can be safely supported in the UMTS cell in scenarios with certain traffic mix and mobility characteristics.

KEYWORDS: UMTS, coverage, capacity, quality of service

Sadržaj:

1. Uvod 1
2. Arhitektura UMTS sustava 2
2.2. Jezgrena mreža 4
2.2.1. Domena s komutacijom kanala 5
2.2.2. Domena s komutacijom paketa 6
2.2.3. Sučelja u jezgrenoj mreži 8
2.3. Pristupna mreža 9
2.3.1. Entiteti pristupne mreže 10
2.3.2. Sučelja u pristupnoj mreži 11
2.4. Zajednički elementi za komutaciju kanala i komutaciju paketa 12
2.5. Zračna sučelja 14
2.5.1. UTRA FDD (WCDMA) 15
2.5.2. UTRA TDD 18
2.5.3. Razlika između FDD i TDD 19
3. Zahtjevi za kvalitetom usluge za različite aplikacije 20
4. Funkcije upravljanja kapacitetom 24
4.1. Kontrola opterećenja 25
4.2. Kontrola pristupa 26
5. Prikaz razvijenih rješenja za upravljanje kapacitetom 27
5.1. Multimedijske usluge neusmjerenog i grupnog odašiljanja 27
5.2. MIMO antene 31
6. Analiza područja pokrivanja i kapaciteta 34
6.1. Područje pokrivanja i brzine prijenosa 35
6.2. Simulacija 1 i rezultati simulacije 1 37
6.3. Simulacija 2 i rezultati simulacije 2 43

6.3.1. Makro okruženje 44
6.3.2. Mikro okruženje 45
6.3.3. Kombinacija mikro i makro okruženja 48
7. Zaključak 49
LITERATURA 50
POPIS KRATICA 52
POPIS SLIKA 54
POPIS TABLICA 55
POPIS GRAFIKONA 56

1. Uvod

Mreža treće generacije, odnosno opći pokretni telekomunikacijski sustav (eng. *Universal Mobile Telecommunication System,* UMTS) razvijen je u svrhu osobne pokretljivosti uz prijenos govora, podataka i korištenje višemedijskih usluga. Uz određene promjene u arhitekturi s obzirom na prijašnji sustav uvodi se novi radijski pristup koji se zasniva na širokopojasnom višestrukom pristupu u kodnoj podjeli (eng. *Wideband Code Division Multiple Access,* WCDMA). Uvođenje novog zračnog sučelja podrazumijeva velike izmjene u pristupnom dijelu mreže, dok se u jezgrenom dijelu mreže nastoji što manje utjecati na infrastrukturne izmjene što je i postignuto.

Svrha ovog istraživanja je opisati logičku i fizičku funkciju pojedinih entiteta mobilnog sustave treće generacije i njihovih međusobnih veza u svrhu analize kapaciteta i pokrivenosti mobilnih mreža treće generacije.

Cilj je prikazati entitete, funkcije i rješenja u svrhu povećanja kapaciteta i pokrivenosti mobilnog sustava treće generacije te na kraju računski i grafički prikazati rezultate analize performansi sustava s obzirom na kapacitet i pokrivenost.

Diplomski rad se sastoji od 7 poglavlja:

1. Uvod
2. Arhitektura za upravljanje kapacitetom (kontrola pristupa i kontrola zagušenja)
3. Zahtjevi za kvalitetom usluge za različite aplikacije
4. Funkcije upravljanja kapacitetom
5. Prikaz razvijenih rješenja za upravljanje kapacitetom
6. Analiza kapaciteta ćelije
7. Zaključak.

Diplomski rad sadržava opis arhitekture sustava mreže treće generacije u svom drugom poglavlju. Arhitektura je podijeljena na područje korisničke opreme, jezgrenu mrežu, pristupnu mrežu i zračna sučelja između jezgrene i pristupne mreže.

Treće poglavlje opisuje zahtjeve za kvalitetom usluge za različite aplikacije podijeljene u četiri klase prometa s obzirom na zauzimanje resursa u mreži. Četvrto poglavlje opisuje funkcije upravljanja kapacitetom u mreži: kontrolu pristupa i kontrolu zagušenja.

Peto poglavlje sadrži dva rješenja za upravljanje kapacitetom: višemedijeke usluge neusmjerenog i grupnog odašiljanja i antenski sustav s više prijamnih i odašiljačkih antena.

U šestom poglavlju nalazi se simulacija kapaciteta ćelija te analiza istih. Posljednje sedmo poglavlje sadrži zaključak i osvrt na diplomski rad.

2. Arhitektura UMTS sustava

Univerzalni mobilni pokretni sustav odnosi se na povezanost novog tipa univerzalne teritorijalne pristupne mreže (eng. *UMTS Terrestrial Radio Access Network*, UTRAN) s jezgrenom mrežnom infrastrukturom prethodne generacije. Uvođenjem UTRAN-a dolazi do velikih izmjena u pristupnom dijelu mreže za razliku od jezgrenog dijela gdje se nastoji što manje utjecati na infrastrukturne izmjene. Najveći utjecaj uvođenja UTRAN-a odnosi se na kreiranje novog sučelja između pristupne i jezgrene mreže i evolucije dijela jezgrene mreže za signalizaciju što zahtjeva uvođenje novih kapaciteta, [1].

Globalno gledano mreža je logički podijeljena u dva dijela, na arhitekturu i protokole. U ovom poglavlju rad sadržava opis arhitekture sustava. Dio s gledišta arhitekture dijeli se na dvije domene (područja) koja se sastoje od grupe entiteta, dok se protokolarni dio dijeli na slojeve od kojih svaki sloj sadrži više protokola.

Prema [1] dva područja s gledišta arhitekture su:

1. Područje korisničke opreme koja sadrži elemente za krajnjeg korisnika sastoji se od:
   a) Domene mobilne opreme (uređaji) sastoje se od primopredajnog dijela uređaja (eng. *Mobile Termination*, MT) i aplikacijskog dijela u mobilnoj opremi (eng. *Terminal equipment*, TE) razvijenog od 3GPP organizacije za standardizaciju tehničkih specifikacija za 3. generaciju pokretnih mreža (eng. *Third Generation Partnership Project*, 3GPP).
   b) Domena univerzalnog pretplatničkog identifikacijskog modula (eng. *Universal Subscriber Identity Module*, USIM) predočena pametnom karticom koja se umeće u uređaj.
2. Područje infrastrukture koje sadrži sve mrežne entitete sastavljeno je od:
   a) Pristupne mreže koja sadrži sve entitete usko vezane s radio tehnologijom definirane od 3GPP grupe.
   b) Jezgrene mreže definirane od 3GPP koja sadrži:
      - poslužiteljsko mrežno područje podijeljeno na:
        - komutacija paketa (eng. *Packet Switched*, PS)
        - komutacija kanala (eng. *Circuit Swithed*, CS).
      - domena mrežnog prelaska (potencijalno sastavljena od CS i PS)
      - glavna mrežna domena, koja trajno sadrži sve podatke o korisniku i odgovorna je za upravljanje pretplatničkim informacijama.

2.1. Područje korisničke opreme

Mobilna stanica *(eng. Mobile Station, MS)* odnosno mobilni terminal sastoji se od komunikacijske pokretne opreme *(eng. Mobile Equipement,* ME*)* i kartice na kojoj su spremljeni korisnički podaci (*eng. Subscriber Identity Module*, SIM*).* Svaka mobilna stanica ima jedinstveni identifikacijski broj (*eng. International Mobile Equipment Identity*, IMEI) koji se sastoji od 15 znamenaka i dodijeljen je svakom mobitelu za identifikaciju mobilne stanice unutar mreže.

Mobilna stanica često šalje razinu signala baznoj stanici koja se očituje omjerom primljenog signala i interferencije (eng. *Signal-to-Interference Ratio*, SIR) gdje ga bazna stanica (eng. *Base Transciever Station,* BTS) uspoređuje s nominalnim SIR-om. Ako je izmjerena razina SIR-a veća od ciljnog SIR-a, bazna stanica će narediti mobilnoj stanici da smanji snagu. Ako je preniska razina snage narediti će mobilnoj stanici da poveća svoju snagu. Ovaj ciklus provodi se 1500 puta u sekundi (1,5 kHz) za svaku mobilnu stanicu toliko brzo da se ne može dogoditi gubitak puta (eng. *Path loss*). Takva kontrola snage sprječava neravnotežu snage između svih dolaznih signala u baznu stanicu.

Mobilna stanica mjeri signal koji odašilje bazna stanica u kojoj se nalazi kao i signale od okolnih ćelija. Takva mjerenja koja izvodi mobilna stanica odnose se na kvalitetu i jačinu signala te na osnovu tih podataka MS odlučuje o prelasku u BTS druge ćelije tj. prekapčanju (eng. *Handover*).

Univerzalni pretplatnički identifikacijski modul (eng. *Universal Subscriber Identity Module*, USIM) je zajednički naziv pametnih kartica za UMTS. USIM sadrži identitet pretplatnika, a njegova primarna funkcija je osigurati autentičnost mobilne stanice u odnosu na mrežu i obrnuto. Sadrži podatke koji se odnose na pretplatu korisnika.

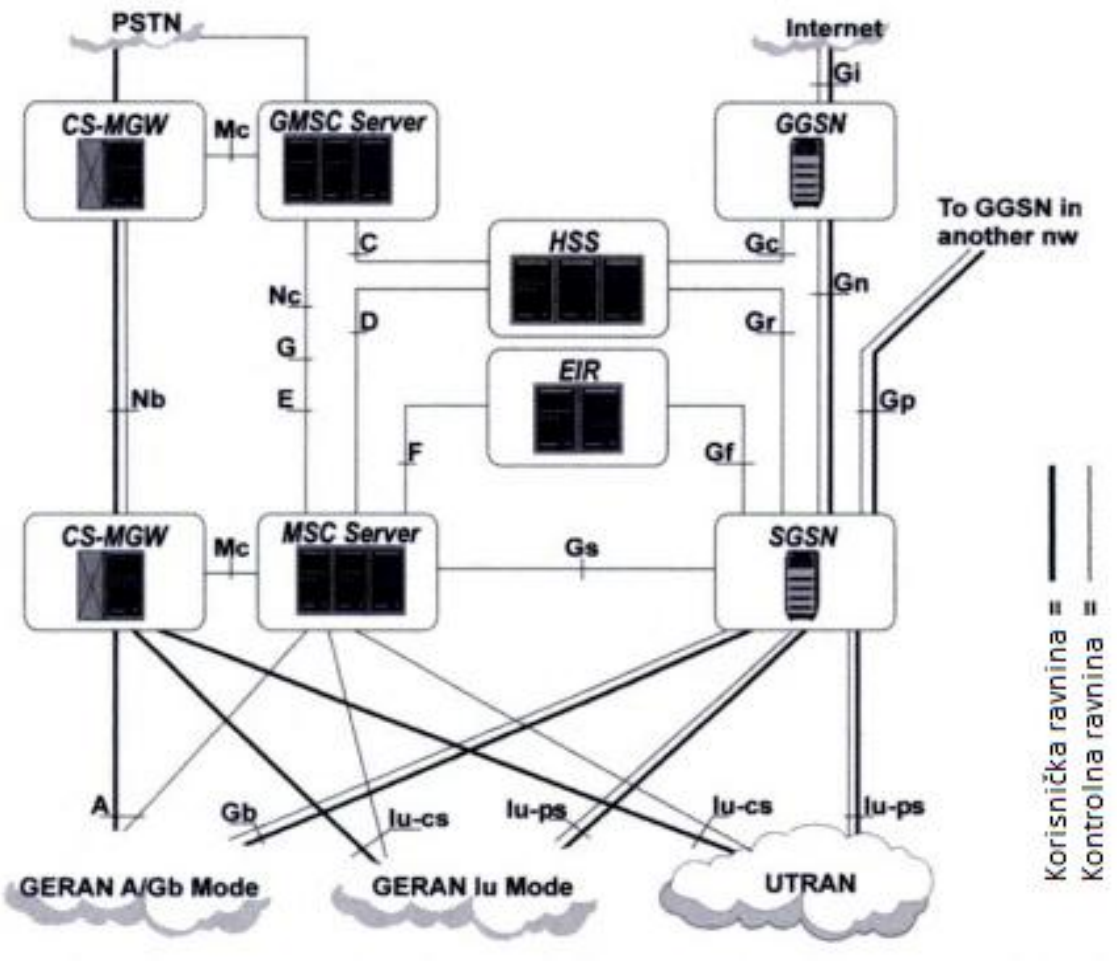
Pojedinosti o pretplati spremljene na kartici su:

- jedinstveni identitet pretplatnika (eng. *Unique identity of the subscriber*, IMSI)
- telefonski broj pretplatnika (eng. *Telephone number of the subscriber*, MSISDN)
- identitet mobilne opreme (eng. *Mobile equipment identity*, IMEI)
- kod usluga (eng. *Service Code*, SC), [1].

2.2. Jezgrena mreža

U izdanju 99 (eng. *Release*) jezgrena mreža ima dvije domene: komutaciju paketa i komutaciju kanala za pokrivanje potreba za različitom vrstom prometa. Podjela dolazi iz različitih zahtjeva za podacima, ovisno o tome radi li se o prijenosu u stvarnom vremenu (komutacija kanala) ili u ne-stvarnom vremenu (komutacija paketa).

Izdanje 4 uključuje promjenu u domeni komutacije kanala gdje je komutacijski čvor mobilne mreže (eng. *Mobile-service Switching Centre*, MSC) podijeljen u MSC server i medijski pristupnik (eng. *Media Gateway*, MGW). Isto tako prilazni MSC (eng. *Getway MSC*, GMSC) je podijeljen u GMSC server i MGW. Slika 1 prikazuje arhitekturu jezgrene mreže u izdanju 4. Izdanje 5 sadrži prvu fazu IP multimedijskog sustava (eng. *IP Multimedia Subsystem*, IMS) koja omogućava standardizirani pristup za IP bazirane usluge preko domene komutacije paketa i uvođenje višemedijskih usluga. Uvodi se novi signalizacijski protokol (eng. *Signaling Initial Protocol*, SIP) koji uspostavlja vezu između uređaja i IMS-a, [2].



Slika 1. Prikaz jezgrene mreže s entitetima i sučeljima, [3].

2.2.1. Domena s komutacijom kanala

Poslužitelj komutacijskog čvora mobilne mreže predstavlja sučelje između radijskog sustava i fiksne mreže. MSC obavlja sve potrebne funkcije za rukovanje uslugama baziranim na komutaciji kanala s kraja na kraj (eng. *End to end*). MSC obavlja sve usmjerivačke i signalizacijske funkcije za sve locirane mobilne stanice u geografskom području pod nadležnošću MSC-a. Glavna razlika između MSC-a i razmjene u fiksnoj mreži je da MSC mora uzeti u obzir raspodjelu radio resursa i mobilnosti korisnika te mora obavljati dodatno sljedeće procedure:

- procedure za registraciju lokacije
- procedure potrebne za prikapčanje, [4].

Ako kod primanja poziva u javnoj zemaljskoj mobilnoj mreži (eng. *Public Land Mobile Network,* PLMN) bilo koje javne telekomunikacijske tvrtke trenutni HRL ne reagira, poziv bude usmjeren MSC-u. Taj MSC će ispitati prikladan HLR i tada usmjeriti poziv MSC-u gdje je mobilna stanica locirana. MSC koji obavlja usmjerivačke funkcije na ispravnu lokaciju MS-a zove se GMSC. GMSC je prekidač na mjestu gdje je UMTS PLMN spojena na vanjsku CS mrežu. Sve dolazne i odlazne CS veze prolaze kroz GMSC. Izbor koji od MSC-ova može biti i GMSC-a je na operateru da odluči (npr. svi MSC-ovi ili samo određeni MSC-ovi). Ako je poziv glasovni rutira se direktno iz GMSC-a, [4].

U izdanju 04 MSC je podijeljen na MSC server i komutacija kanala – medijski prilaz (eng. *Cicruit Switched Media Gateway*, CS-MGW). MSC server pruža kontrolu poziva i upravljačke funkcije pokretljivosti. Odgovoran je i za kontrolu mobilnih iniciranih i mobilnih završenih poziva u domeni komutacije kanala. Sadrži VLR. CS-MGW pruža protok manipacijskih funkcija tj. kontrolu kanala i resurse transmisijskih funkcija. Isto se odnosi i na GMSC, koji je podijeljen na GMSC server i CS-MGW, [4].

Cilj CS-MGW i MSC Server separacije je podijeliti kontrolnu i korisničku ravninu jednu od druge u domeni komutacije kanala. To dovodi do skalabilnosti sustava dok je do sada jedan MSC server mogao kontrolirati više CS-MSC-a. Druga prednost ove podjele arhitekture je otvaranje mogućnosti za geografsku optimizaciju korisničke ravnine. Na primjer operater može locirati CS-MGW slobodno bez svog mrežnog završetka, te je tako moguće organizirati stvari na taj način da korisnička ravnina bude optimizirana kroz najkraći mrežni geografski put. Korištenjem CS-MGW koncepta operater može konvertirati izvornu domenu komutacije kanala da koristi IP umjesto drugih transportnih mehanizama između ruba pristupne mreže CS-MGW-a i PSTN-a, [3].

2.2.2. Domena s komutacijom paketa

U domeni s komutacijom paketa UE se povezuje s eksternom paketskom podatkovnom mrežom (eng. *Packet Data Network*, PDN) preko čvora koji podržava GPRS uslugu (eng. *Serving GPRS Support Node*, SGSN) i prilaznog čvora koji podržava GPRS uslugu (eng. Gateway GPRS Support Node, GGSN). SGSN prosljeđuje pakete između UE i njihovih parova na drugoj strani. GGSN predstavlja prilaz između UMTS-a i eksternog PDN-a koji je povezan s SGSN-om preko GPRS mreže bazirane IP-u . U domeni s komutacijom paketa možemo identificirati 4 klase prometa: pozadinska (eng. *Background*) klasa, konverzacijska (eng. *Conversational*) klasa, strujeća (eng. *Streaming*) klasa i interaktivna (eng. *Interactive*) klasa, [5].

SGSN je mehanizam u domeni paketskog prijenosa GPRS/UMTS jezgrene mreže. SGSN osigurava sljedeće funkcije:

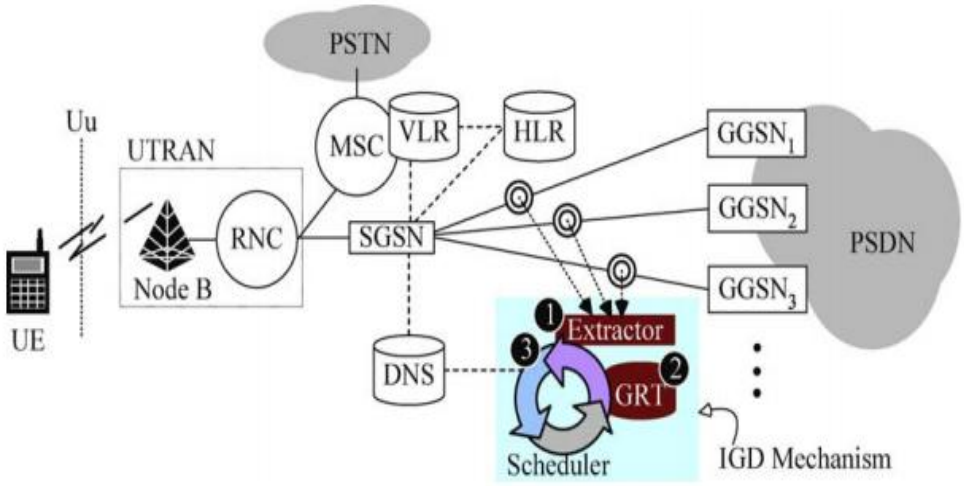
- rutiranje i prosljeđivanje paketa podataka
- enkripciju
- autentifikaciju
- upravljanje sesijama
- upravljanje mobilnošću.

GGSN je također funkcionalni entitet koji osigurava paketske usluge. On rutira i enkapsulira pakete podataka između GPRS/UMTS mreže i eksternog PDN-a, [5].

Za efikasno rutiranje paketa u UMTS mreži SGSN, GGSN i UE koriste PDP kontekst (eng. *Packet Data Protocol context*). Prije nego UE pokrene sesiju prema eksternom PDN-u, poziva se aktivacijska procedura za PDP kontekst da uspostavi sesiju od UE do servera preko SGSN-a i GGSN-a. U tom trenutku PDP kontekst za sesiju je kreiran u UE-u, GGSN-u i SGSN-u. Prema uspostavljenom PDP kontekstu paketi se rutiraju kroz UMTS mrežu prema eksternom PDN-u. U izdanju 99 aktivacijska procedura za PDP kontekst je pozvana jednom za uspostavljanje tunela za prijenos podataka kroz mrežu u domeni paketa. U IMS-u u izdanju 5, PDP kontekst aktivacijska procedura se poziva 2 puta tijekom uspostavljanja za IMS sesiju. Jedna je za uspostavljanje tunela za dostavljanje signalizacijske poruke od SIP-a, a druga je uspostavljanje tunela za dostavljanje podataka sesije bazirane na IMS-u. Ako se zahtjevi za kvalitetom usluge promijene, modifikacija za PDP kontekst je dužna promijeniti PDP sadržaj. Sesija je zatvorena aktiviranjem deaktivacijske procedure PDP konteksta, [5].

U aktivacijskoj proceduri PDP konteksta, ovisno o aplikaciji koju je inicirao UE (npr. Internet pretraživanje, video strujanje, *e-mail* ili VoIP), SGSN može odabrati više različitih GGSN-a za posluživanje. U UMTS-u svaki GGSN je povezan s pristupnom točkom (eng. *Access Point Name,* APN). Nekoliko GGSN-a može posluživati jedan APN. Kada SGSN primi APN poslan od UE-a, šalje taj APN kao upit serveru s imenima domena (eng. *Domain name server*, DNS) da bi dobio listu IP adresa GGSN-ova koji ga mogu poslužiti. Tada SGSN bira jedan GGSN sa liste i šalje zahtjev za uspostavljanje tunela između SGSN-a i GGSN-a. Ako odabrani GGSN ne prihvati zahtjev zbog nekih iznimnih događaja (npr. nema dovoljno memorije ili nema dovoljnu propusnost) SGSN bira novi GGSN sve dok ne odabere sve s liste. Za svaki takav zahtjev za uspostavljanjem tunela potrebna je signalizacijska poruka što stvara nepotreban promet u mreži i uzrokuje kašnjenje procedura PDP konteksta, [5].

U najgorem slučaju se može dogoditi da nijedan GGSN s liste ne može poslužiti UE i SGSN je u takvim uvjetima da mora probati sa svakim GGSN-om s liste. S druge strane može se dogoditi da je prvi GGSN s liste uvijek potpuno iskorišten dok je zadnji u većini vremena neiskorišten. To može uzrokovati teško učitavanje kod GGSN-a što može dovesti do pada te se kvaliteta usluge UMTS mreže značajno smanjuje. Za oba slučaja koristi se inteligentni GGSN usmjerivački mehanizam zvan IGD. Slika 2 prikazuje usmjerivački mehanizam zvan IGD, a služi za smanjenje broja signalizacijskih poruka koje se izmjenjuju prilikom aktivacija PDP konteksta. Mehanizam također služi za uravnoteženje funkcionalnosti GGSN-a, [5].



Slika 2. Uspostavljanje tunela za PDP kontekst, [5].

2.2.3. Sučelja u jezgrenoj mreži

Mrežni entiteti međusobno su povezani preko sučelja (eng. *Interface*). Svako sučelje koristi određeni protokol za komunikaciju. Sučelja u jezgrenoj mreži su:

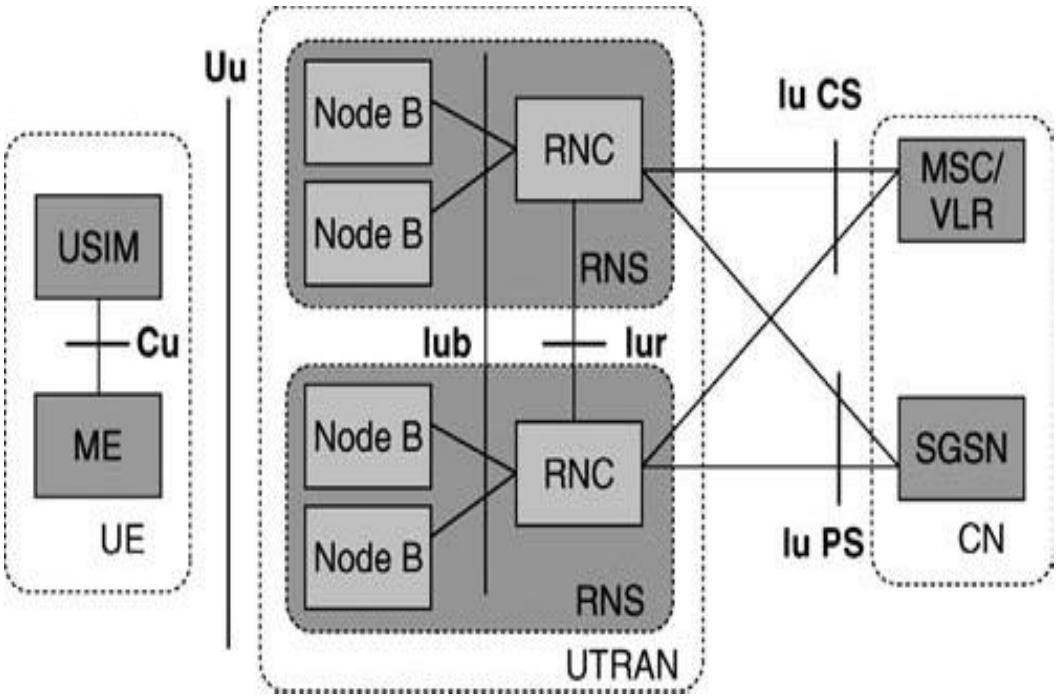
- Mc sučelje – načinjeno novo sučelje nakon podjele MSC servera i CS-MGW-a. Koristi se H.248 medijski prilazni kontrolni protokol (eng. *Media Gateway Control Protocol,* MGCP).
- Nc sučelje - prenosi kontrolne informacije poziva od mreže do mreže. Bilo koji kontrolni protokol je prikladan za tu svrhu sve dok održava protok poziva. Usvojen je noseći neovisni protokol kontrole poziva (eng. *Bearer Independent Call Control,* BICC).
- Nb sučelje - odnosi se na korisničku ravninu i kontrolnu ravninu. U korisničkoj ravnini Nb sučelje sadrži protokole i ostale mehanizme za prijenos korisničkih podataka. Nb može biti implementiran koristeći IP ili ATM način prijenosa podataka.
- E i G sučelje – MSC serveri trebaju komunicirati međusobno. Nekoliko situacija može inicirati komunikaciju uključujući prekapčanje između MSC-ova u GSM/EDGE radio pristupnoj mreži ili između RNC-a u UMTS teritorijalnoj pristupnoj mreži. U tim situacijama korisnički promet putuje od jednog MSC-a do drugog te će se u isto vrijeme CS-MGW promijeniti. Koristi se mobilni aplikacijski protokol (eng. *Mobile Application protocol,* MAP).
- Gc sučelje - Sučelje između GGSN i HLR-a tako da GGSN može dobiti sve pojedinosti o lokaciji mobilne stanice. Kako bi se izbjeglo provođenje MAP / SS7 u GGSN, ovo sučelje je opcionalno.
- Gr- sučelje između SGSN-a i HLR-a. Poruke se razmjenjuju preko ovog sučelja koristeći MAP3 protokol.
- Gn – sučelje bazirano na IP protokolu koje se nalazi između SGSN-a i ostalih SGSN-a i internog GGSN-a. DNS također koristi ovo sučelje koristeći GTP protokol.
- Gp- sučelje bazirano na IP protokolu koje se nalazi između internog SGSN-a i eksternog GGSN-a. Između SGSN-a i eksternog GGSN-a postoji takozvana prilazna granica. Isto tako koristi GTP protokol.
- Gs- sučelje između SGSN-a i MSC-a. Koristi BSSAP+ protokol za komunikaciju. Kad je stanica pridružena GPRS mreži, SGSN nastavlja dalje pratiti kojom rutom se stanica pridružuje, [3].

2.3. Pristupna mreža

Glavni elementi UTRAN arhitekture su čvor B (eng. *Node*) B i kontroler radijske mreže (eng. *Radio Network Controller*, RNC). Za čvor B se može reći da je ekvivalentan baznoj primopredajnoj stanici (eng. *Base tranceiver station,* BTS) u GSM-u. Čvor B funkcije uključuju radio i modulacijske aspekte uz kodiranje kanala (s ispravljanjem greške). Treba primijetiti da se meko prekapčanje događa gdje se više različito lociranih prijamnika dodaju/brišu da bi se povećala dobit primljenog signala, [6].

Radijska pristupna mreža (eng. *Radio Access Network,* RAN) kod UMTS-a je podijeljena na 4 područja od najmanjeg prema najvećem: pokrivenost piko ćelijama, pokrivenost mikro ćelijama, pokrivenost makro ćelijama i satelitska pokrivenost.

UTRAN se sastoji od jednog ili više radijskih mrežnih podsustava (eng. *Radio Network Sub-system*, RNS). RNS je podmreža u UTRAN- u, a sastoji se od jednog RNC-a ili jednog ili više čvorova B s radijskim primopredajnim dijelom, koji podržavaju FDD/TDD način rada, [5]. Slika 3 prikazuje entitete pristupne mreže s pripadajućim sučeljima.



Slika 3. UTRAN arhitektura, [3].

2.3.1. Entiteti pristupne mreže

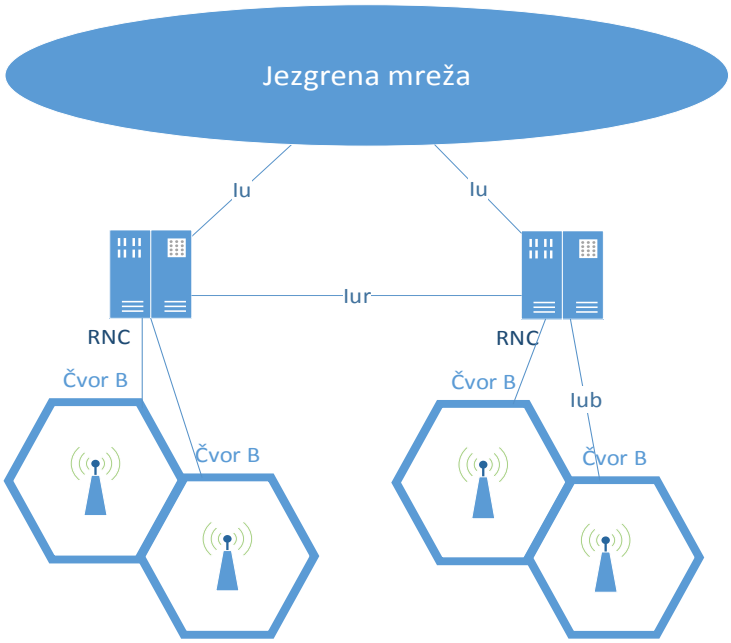
Kontroler radijske mreže je otprilike u istoj funkciji kao kontroler baznih stanica (eng. *Base Station Controler*, BSC) u GSM-u. Odgovoran je za kontroliranje resursa od više čvorova B na koje je povezan. Odgovoran je za pregovaranje s jezgrenom mrežom za aspekte kao što su kanali i kvaliteta usluge (eng. *Quality of Service*, QoS).

RNC je odgovoran je za kontrolu opterećenja i zagušenja vlastitih ćelija, a također i izvršava nadzor pristupa i dodjelu kodova za nove radio veze koje treba utvrditi u ćelijama. U slučaju da mobilna UTRAN konekcija koristi resurse više od jednog RNS-a, RNC uključuje logičku podjelu na:

- uslužni RNC (eng. *Serving RNC*, SRNC). SRNC je onaj koji nadzire korisničku opremu i kroz Iu sučelje prenosi korisničke podatke prema i od jezgrene mreže. Sadrži signalizacijski protokol (eng. *Radio Resource Control Signalling*, RRCS) između UE i UTRAN-a. Jedan UE spojen na UTRAN ima samo jedan SRNC.
- prihvatni RNC (eng. *Drift RNC*, DRNC) je bilo koji RNC osim SRNC-a kojeg koristi jedan uređaj. DRNC je potencijalni kandidat za prekapčanje kada trenutni SRNC više nije u mogućnosti posluživati.

Glavna funkcija čvora B je odraditi funkcije kao što su kanalsko kodiranje, brza adaptacija brzine, širenje, itd. Također obavlja neke osnovne radio operacije upravljanja resursima kao što je unutarnja kontrola snage. Čvor B razmjenjuje podatke putem zračnoga sučelja i posjeduje vlastiti antenski podsustav te sadrži CDMA prijamnik kojim primljene signale pretvara u podatkovni tok. Primljeni se podaci dalje usmjeravaju prema RNC-u i jezgrenoj mreži. Postoje dvije radijske tehnike (TDD i FDD) zbog kojih se može koristiti 3 vrste čvora B: UTRA-FDD čvor B, UTRA-TDD čvor B i Dual-mode čvor B koji objedinjuje obje radijske tehnike.

Slika 4 prikazuje međusobno povezane entitete pristupne mreže s pripadajućim sučeljima. Entiteti koji se nalaze na slici su čvorovi B koji su povezani na RCN-ove u svom području rada te RNC-ove koji su povezani na jezgrenu mrežu.



Slika 4. Glavni entiteti pristupne mreže

Izvor: [3]

2.3.2. Sučelja u pristupnoj mreži

U sučelja pristupne mreže pripada najsloženije sučelje koje povezuje pristupnu i jezgrenu mrežu. To je Iu sučelje koje može imati dvije glavne različite značajke. To je lu CS za povezivanje UTRAN-a na domenu komutacije kanala i Iu PS za povezivanje UTRAN-a na domenu s komutacijom paketa. Sučelja su:

- Cu sučelje – električno sučelje između USIM-a i mobilne opreme. Sučelje sadrži standardni format za pametne kartice.
- Uu sučelje – WCDMA radio sučelje kroz koje se UE spaja na sustav koje je i najvažnije sučelje u UMTS-u.
- Iu sučelje – Iu sučelje povezuje svaki RNC s jezgrenom mrežom i odgovara za kontrolu prekapčanja, kontrolu kanala i pregovaranje između RNC-a i jezgrene mreže.
- Iur sučelje- sučelje između dva modula za upravljanje baznim stanicama i pretežno se koriste za specifične razloge radio mobilnosti koji se odnose na meko prekapčanje.
- Iub sučelje – Iub povezuje svaki čvor B njegovom odgovarajućem RNC-u i omogućava distribuciju radijskih mrežnih funkcionalnosti, [6].

2.4. Zajednički elementi za komutaciju kanala i komutaciju paketa

Domaći lokacijski registar (eng. *Home Location Register*, HLR) je funkcionalna cjelina koja predstavlja podatkovna bazu zaduženu za upravljanje mobilnim pretplatnicima. PLMN može sadržati jedan ili više domaćih lokacijskih registara ovisno o broju mobilnih pretplatnika, kapacitetu opreme i organizaciji mreže.

U domaćem lokacijskom registru je pohranjeno nekoliko informacija, a to su:

- pretplatničke informacije
- neke informacije o lokaciji koje omogućuju usmjeravanje poziva prema MSC-u gdje je MS registriran (npr. MS Roaming broj, VLR broj, MSC broj...)
- ukoliko podržava GPRS onda sadrži i informaciju o lokaciji koja omogućava usmjeravanje poruka u SGSN-u gdje je MS trenutno registriran
- listu prilaznog mobilnog lokacijskog centra (eng. *Gateway Mobile Location Center*, GMLC) koji je prvi čvor prema GSM PLMN-u
- LSC listu koja označava klase privatnosti za MS pretplatnike koji se spajaju na domaći lokacijski registar, [4].

Različiti tipovi identiteta su vezani za svaki pretplatnički uređaj i pohranjeni su u HLR-u:

- međunarodna identifikacija mobilnog pretplatnika (eng. *International Mobile Station Identity*, IMSI)
- jedan ili više pozivnih brojeva pokretne postaje (eng. *Mobile Station International ISDN number(s)*, MSISDN) odnosno pozivni broj pretplatnika koji je u Hrvatskoj npr. +385 xxxx xxx
- jednu ili više PDP adresa
- autentifikacijski ključ koji ukoliko se poklapa automatski odobrava pristup za korisnika (eng. A*utentication Key*, Ki), [4].

Centar za provjeru autentičnosti *(*eng. *Authentification Centre*, AUC*)* koristi se u sigurnosne svrhe i za autentifikaciju. AUC sadrži autentifikacijski ključ kojim se provjerava autentičnost pretplatnika pri svakom pozivu. Baza podataka pamti tajni ključ koji služi za autorizaciju korisnika i za kriptiranje komunikacije svakog pretplatnika. AUC zajedno s HLR čvorom sudjeluje u potvrdi vjerodostojnosti korisnika.

Roaming mobilne stanice u području MSC-a je kontroliran lokacijskim registrom posjetitelja (eng. *Visitor Location Register*, VLR) zaduženim za to područje. Kada MS ulazi u novo lokacijsko područje tada počinje registracijska procedura. MSC u tom području zabilježi registraciju i transferira ju u VLR identitet gdje je zabilježen MS. Ako MS nije još registriran, VLR i HLR izmjenjuju informacije da bi se omogućilo pravilno rukovanje pozivima. VLR može biti u nadležnosti jednog ili više MSC-a. VLR sadrži i informacije potrebne za rukovanje uspostavljanjem poziva ili prihvaćanje poziva od MS-a registriranog u bazi podataka. Za neke dodatne usluge VLR mora imati neke informacije iz HLR.

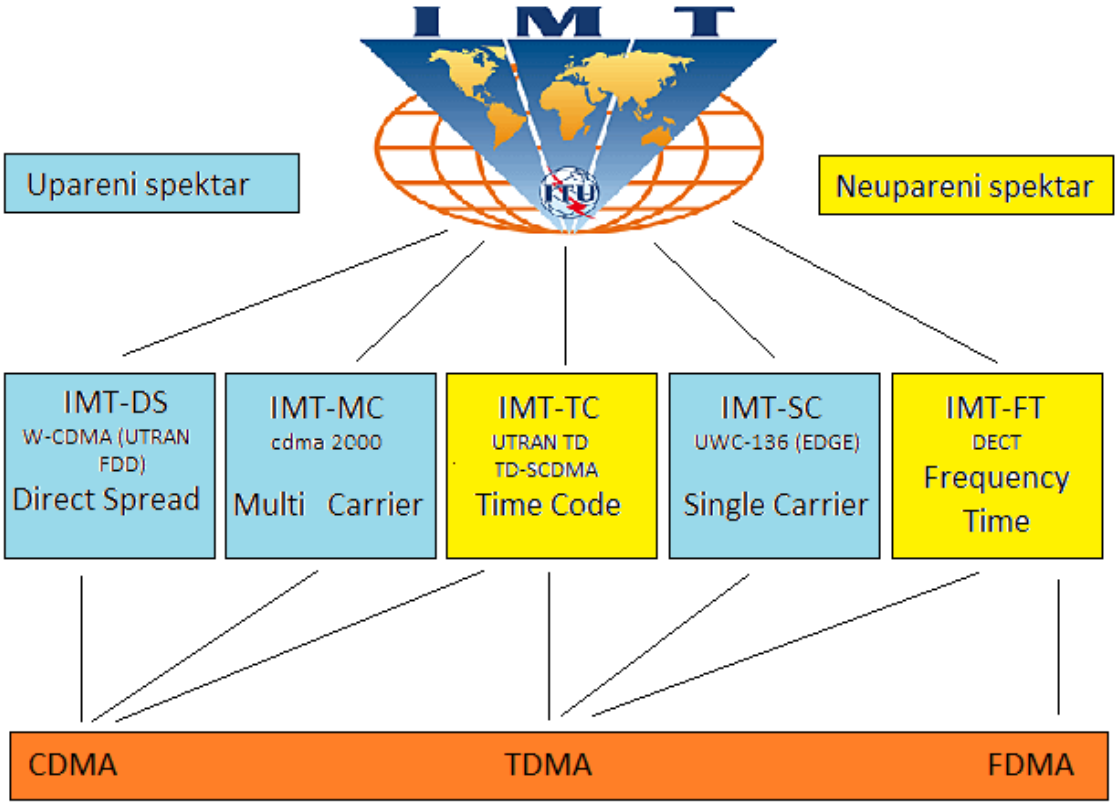
VLR uključuje:

- međunarodnu identifikaciju mobilnog pretplatnika (eng. *International Mobile Station Identity*, IMSI)
- jedan ili više pozivnih brojeva pokretne postaje (eng. *Mobile Station International ISDN number(s),* MSISDN)
- *roaming* broj mobilne stanice (eng. *Mobile Station Roaming Number*, MSRN),
- lokaciju područja gdje je mobilna stanica registrirana
- zadnju poznatu lokaciju i ulaznu lokaciju MS-a, [4].

2.5. Zračna sučelja

Organizacija International Telecommunication Union - Radio Communication Sector (ITU-R) izradila je okvir zračnih sučelja za globalne 3G standarde (eng. *International Mobile Telephony* 2000, IMT-2000). Zahtjevi koje je postavio ITU za IMT-2000 su se reflektirali na zahtjeve u regionalnim standardizacijskim tijelima. Na primjer zahtjevi koje je postavila organizacija European Telecommunication Standards Institute (ETSI) je kao svoj prijedlog zračnog sučelja poslala sustav s višestrukim pristupom s kodnom raspodjelom (eng. *Wideband Code Division Multiple Access*, WCDMA), dok je ponuđeni standard dobio ime univerzalni sustav pokretnih telekomunikacija, [7].

Širokopojasni CDMA treće generacije je bežični standard koji omogućava korištenje prijenosa govora i podataka, a nudi brzine podataka do 384 kbps. Frekvencijski pojasevi za WCDMA su : Europa i Azija - 2100MHz, Sjeverna Amerika - 1900MHz i 850MHz. Slika 5 prikazuje zračna sučelja razvijena od strane IMT - 2000 temeljena na različitim tehnologijama.



Slika 5. Radio sučelja od IMT 2000,

Izvor: [8].

2.5.1. UTRA FDD (WCDMA)

U ovom poglavlju je opisan WCDMA (UTRA FDD) fizički sloj. WCDMA je širokopojasni sustav višestrukog pristupa po kodnoj raspodjeli s izravni slijedom (eng. *Direct-Sequence Code Division Multiple Access,* DS-CDMA). Bitovi od korisničke informacije se šire preko širokopojasnog prostora množenjem korisničkih podataka s kvazi-slučajnim bitovima (eng. *Chips*). Kako bi bila razvijena vrlo visoka brzina prijenosa (do 2Mbps) korištenje varijabilnog faktora raspršivanja (eng. *Variable Spreading Factor*) i višekodne konekcije (eng. *Multicode Connections*) su podržane, [2].

Razina *Chipova* od 3.84 Mcps vodi do toga da širina pojasa mora biti oko 5MHZ. Širina pojasa koda je veća nego širina pojasa podataka koji se prenose. Proces kodiranja proširuje spektar signala i zbog toga se UTRA FDD naziva sustav s proširenim spektrom, gdje se kôd primjenjuje direktno na niz bitova podataka (DS-CDMA - *Direct Sequence*).

Šifriranje (*eng. Scrambling*) ili u nekim literaturama nazivano šifriranje pseudo slučajnim kodom se odvija u odašiljaču i dio je procesa širenja (eng. *Spreading*). Taj dio procesa je potreban za odvajanje terminalnih uređaja ili baznih stanica jedne od druge. Šifriranje se upotrebljava na kraju procesa širenja tako da ne mijenja širinu pojasa nego samo omogućuje odvajanje signala iz različitih izvora. Razina čipova je već postignuta u širenju pri postupku pridruživanja kodova kanala (eng. *Channelisation codes*) i razina simbola nije zahvaćena šifriranjem. U silaznoj vezi kodovi za šifriranje su ograničeni na 512 kodova i oni se moraju rasporediti po sektorima u mrežnom planiranju, [2].

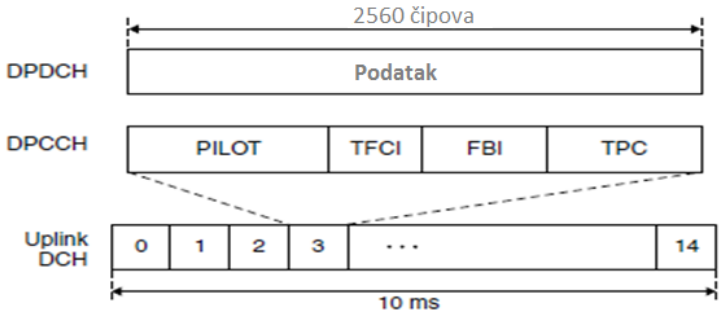
Transmisije s jednog izvora su odvojene sa kodovima kanala. Širenje ili kodovi kanala su bazirani na tehnici ortogonalno varijabilnog faktora širenja (eng. *Orthogonal Variable Spreading Factor*, OVSF). Uporaba OVSF kodova omogućuje da se faktor širenja može mijenjati i biti ortogonalan između različitih kodova širenja. Kodovi se uzimaju sa stabla kodova. U slučaju da konekcija koristi varijabilni faktor širenja, pravila korištenja dozvoljavaju širenje prema najmanjem faktoru. To zahtjeva uzimanje kodova kanala s grane s najmanjim faktorom širenja, [2].

Slika 6 prikazuje primjer množenja bitova korisničkih podataka s kodovima kanala te zatim multipleksiranje tri korisnika.

		Korisnik 1								
Korinički podatci:		0	0							
Kod širenja:		0	1	0	1					
Kod:		0	1	0	1		0	1	0	1
Podaci		0	0	0	0		0	0	0	0
X-OR		0	1	0	1		0	1	0	1
Korisnička poruka širenja:			0	1	0	1	0	1	0	1
=					=	8 Chips				
		Korisnik 2								
Korinički podatci:		1	0							
Kod širenja:		0	0	1	1					
Kod:		0	0	1	1		0	0	1	1
Podaci		1	1	1	1		0	0	0	0
X-OR		1	1	0	0		0	0	1	1
Korisnička poruka širenja			1	1	0	0	0	0	1	1
=					=	8 Chips				
		Korisnik 3								
Korinički podatci:		1	1							
Kod širenja:		0	0	0	0					
Kod:		0	0	0	0		0	0	0	0
Podaci		1	1	1	1		1	1	1	1
X-OR		1	1	1	1		1	1	1	1
Korisnička poruka širenja			1	1	1	1	1	1	1	1
					=	8 Chips				
Korisnik 1			0	1	0	1	0	1	0	1
		1								
		-1								
Korisnik 2			1	1	0	0	0	0	1	1
		1								
		-1								
Korisnik 3			1	1	1	1	1	1	1	1
		1								
		-1								
+			-1	-3	1	-1	1	-1	-1	-3
Zajednički oblik vala										
		2								
		1								
		0								
		-1								
		-2								
		-3								

Slika 6. Binarni prikaz množenja signala korisničkih podataka s kodom širenja

Izvor: [9]



Slika 7. Prikaz okvira uzlaznog DPCCH kanala

Izvor: [2].

Slika 7 prikazuje uzlazni DPCCH kanal čija se struktura sastoji od 15 slotova s 10 ms radio okvirom. To znači da svaki slot traje 2560 čipova ili oko 666μs. Svaki slot ima 4 polja koja se koriste za pilot bitove, TFCI polje, kontrolu prijenosa snage (eng. *Transmission Power Control*, TPC) i bitove povratne informacije (eng. *Feedback Information*, FBI), [2].

Tablica 1. Dostupnost pojedinog pojasa koja ovisi o postojećoj dodjeli spektra i strategiji nacionalnog regulatora

Pojas	Uzlazna veza (MHz)	Silazna veza (MHz)	Razmak (MHz)	2G pojas ekvivlent
1	1920-1980	2110-2170	190	
2	1850-1910	1930-1990	80	PCS 1900
3	1710-1785	1805-1880	95	DCS1800
4	1710-1755	2110-2155	400	
5	824-849	869-894	45	GSM 850
6	830-840	875-885	45	
7	2500-2570	2620-2690	120	
8	880-915	925-960	45	E-GSM
9	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	95	

Izvor: [10]

Većina zemalja uzima pojas 1 (1920-1980MHz i 2110-2170 MHz) kao glavni set frekvencija. Ostali pojasevi mogu biti korišteni kao ekstenzije ili mogu biti korišteni u zemljama gdje pojas 1 nije dostupan (npr. pojas 2 se koristi u S. Americi jer pojas 1 nije dostupan). Pojas 2 ne može služiti kako ekstenzija pojasu 1 jer se njihove frekvencije preklapaju, [10].

Svaki pojas je podijeljen u 5 MHz kanale. Pojas 1 i pojas 2 imaju 12 uzlaznih i 12 silaznih kanala. Pojas 1 ima razliku između frekvencija silazne i uzlazne veze od 190 MHz dok pojas 2 ima 80 MHz razliku. Nacionalni regulatori od kojih je u Hrvatskoj HAKOM dodjeljuju 5 MHz operaterima. Ti operateri tada postaju odgovorni za implementaciju UMTS mreže. Obično se dodjeljuje između 2 i 4 kanala svakom operateru. Tako primjerice zemlja koja ima 4 operatera može dodijeliti 3 kanala svakom operateru. RF nositelji pojasa 1 su standardizirani na razmak od 200 kHZ, [10].

2.5.2. UTRA TDD

UTRA TDD mod koristi kombinirano vremensku i kodnu podjelu višestrukog pristupa (TD/CDMA) što daje CDMA komponentu TDMA sistemu. Različiti korisnički signali su podijeljeni u vremenske i kodne komponente.

UTRA TDD transportni kanali mogu biti podijeljeni u namjenske i zajedničke kanale. Modulacija podataka u UTRA TDD sustavu je kvadraturna diskretna modulacija faze (eng. *Quadrature Phase Shift Keying*, QPSK), dodatno i 8QPSK je dodano u 1.28 Mcps kako bi se omogućila teoretska brzina od 2 Mbps. Modulirani korisnički simboli su raspršeni s kodom kanala dužine 1-16. Moduliranje i širenje podataka je na kraju skremblirano s pseudo-slučajnom sekvencom dužine 16. Isti takav način ortogonalnih kodova kanalizacije se koristi u UTRA FDD-u. Širenje podataka je popraćeno procesom skrembliranja ćelije ili izvora koje se obavlja množenjem čipova. Kombiniranje množenja kodova kanala i kodova skrembliranja je specifična procedura za korisnika ili ćeliju. Nakon toga je konačno napravljen pulsni oblik za svaki čip u odašiljaču.

Sa strane implementacije mreže, koegzistiranje FDD i TDD baznih stanica treba uklopiti. Postoje problemi s pojasevima gdje se niži TDD pojas, 1900-1920 MHz nalazi susjedno do FDD uzlaznog pojasa 1920-1980 MHz te su oni tehnički i tržišno neizvedivi.

Ukoliko i silazna i uzlazna veza koriste istu frekvenciju ta dva smjera prijenosa mogu interferirati. Po prirodi TDD sustavi su sinkronizirani, a do problema oko sinkronizacije dolazi ako bazne stanice nisu sinkronizirane. To se događa ako je asimetrija između silazne i uzlazne veze u susjednim ćelijama iako okviri tih baznih stanica mogu biti sinkronizirani. Sinkronizacija okvira zahtjeva točnost od nekoliko simbola, ne točnost čipova.

UTRA TDD zahtjevi interferencije su:

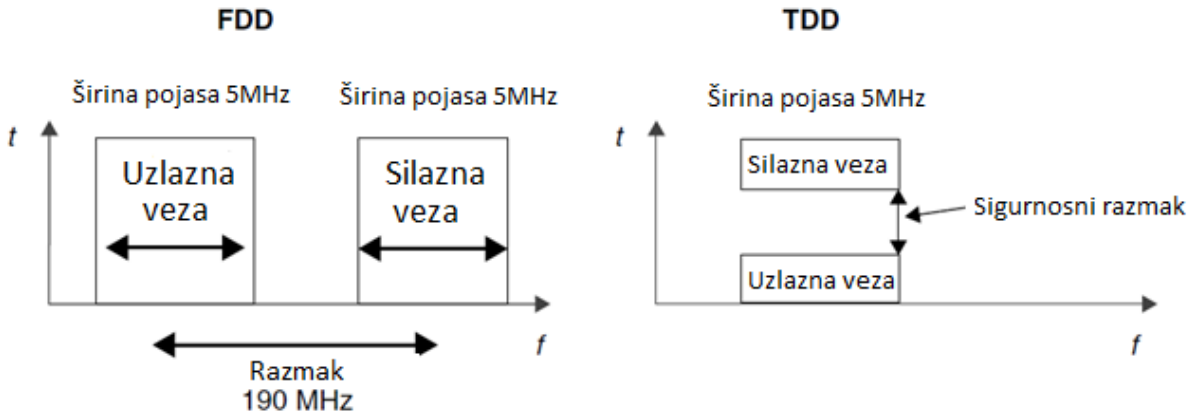
- razina sinkronizacije okvira u baznim stanicama od svakog UTRA TDD operatera je potrebna
- razina sinkronizacije okvira baznih stanica od različitih TDD operatera
- interferencija između nižih TDD pojaseva i FDD uzlaznog pojasa
- dinamička raspodjela kanala je potrebna za smanjenje problema interferencije u TDD pojasu, [2].

2.5.3. Razlika između FDD i TDD

Fizički sloj radio sučelja je glavna tema rasprave kada su različiti sustavi uspoređivani. Struktura fizičkog sloja se odnosi na pitanja o ostvarivanju performansi pri promatranju veze između terminalnog uređaja i bazne stanice. Također ima mnogo utjecaja na ukupnu učinkovitost sustava protokola u drugim slojevima, kao što su protokoli prekapčanja, [3].

U raznim literaturama se koriste i različiti nazivi za UMTS FDD : W-CDMA (*Widebend* CDMA), UTRA FDD, IMT-2000 CDMA-DS, a za UMTS TDD: TD-CDMA (*Time Division* CDMA), UTRA TDD, IMT-2000 CDMA TDD, [11].

Različiti dupleks prijenosi koji se koriste u telekomunikacijama su: dupleks s frekvencijskom podjelom (eng. *Frequency Division Duplex*, FDD), dupleks s vremenskom posjelom (eng. *Time Division Duplex* , TDD) i prostorna dupleks podjela (eng. *Space Division Duplex*, SDD). FDD metoda je najčešće upotrebljavana u ćelijskim sustavima. Koristi se npr. u GSM-u i u WCDMA-u. FDD metode zahtijevaju odvojene frekvencijske pojaseve za silaznu i uzlaznu vezu. TDD koriti isti frekvencijski pojas ali mijenja smjer prijenosa u vremenu, [2].



Slika 8. Prikaz FDD i TDD pojasa

Izvor: [2].

Slika 8 prikazuje razliku između FDD i TDD pojasa. Pošto silazna i uzlazna veza kod TDD-a dijele isti frekvencijski pojas signali u ta dva prijenosna smjera mogu se interferirati između sebe. Kod FDD-a interferencija je potpuno izbjegnuta zbog dupleksne separacije od 190 MHz. U UTRA TDD-u svaka bazna stanica mora biti sinkronizirana sa svakom drugom na razini okvira da bi se izbjegla interferencija, [2].

3. Zahtjevi za kvalitetom usluge za različite aplikacije

Qos je definiran kao mogućnost mreže za pružanje sigurne razine usluge. Qos objedinjuje sve funkcije, mehanizme i procedure u ćelijskim mrežama i mobilnim uređajima kako bi se osigurala opskrba dogovorenih uvjeta između UE i jezgrene mreže. Postoji i definicija od strane ITU-T E.800 koja definira QoS kao: " ukupan efekt performansi određene usluge koja se određuje zadovoljstvom krajnjeg korisnika." Kako se mrežne usluge promatraju s kraja na kraj (eng. *end-to-end*), odnosno od jedne korisničke opreme do druge, to usluga mora imati određenu kvalitetu koja je osigurana za korisnika. UMTS je razvio mehanizme za osiguranje QoS za korisničke aplikacije, [12].

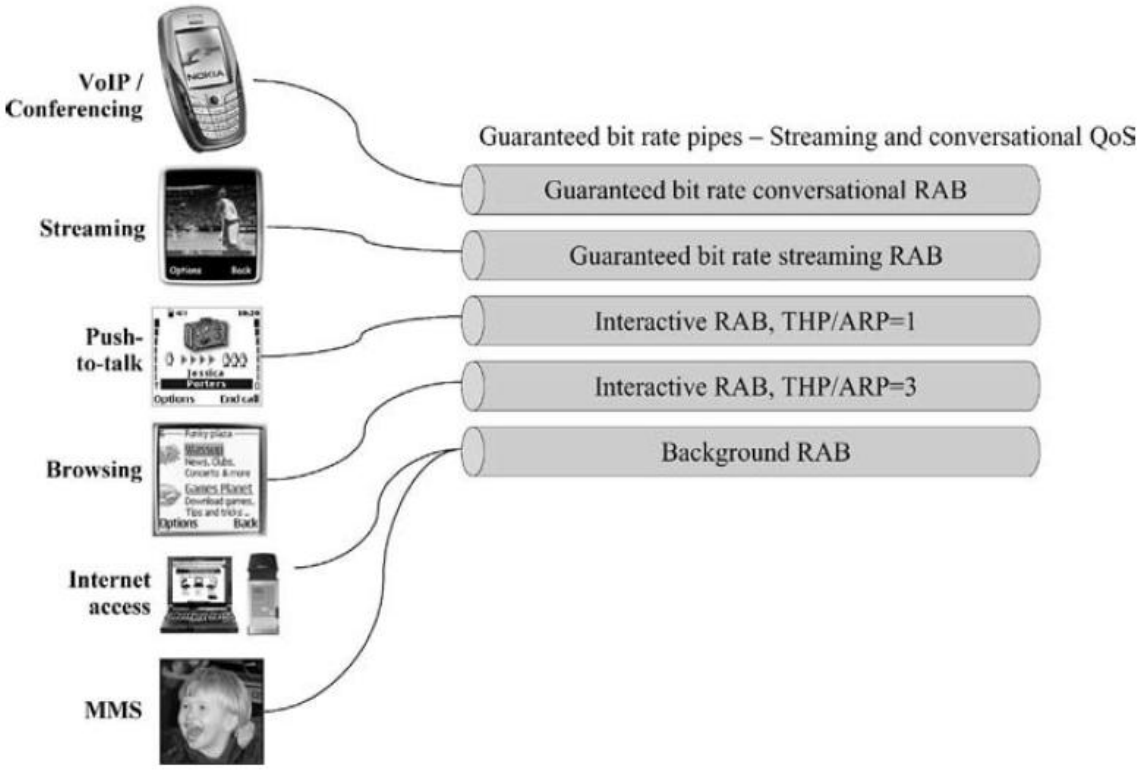
UMTS specifikacije dijele aplikacije i usluge u četiri klase prometa, a to su:

• konverzacijska klasa

• strujeća klasa

• interaktivna klasa

• pozadinska klasa.



Slika 9. QoS diferencijacija s dvije klase sa zajamčenom brzinom prijenosa, [2].

Slika 9 prikazuje različite usluge koje zahtijevaju različite klase usluge. Glavna razlika među navedenim klasama određuje se s obzirom koliko je promet osjetljiv na kašnjenje. Aplikacije konverzacijske klase su najviše osjetljive na kašnjenje dok su aplikacije pozadinske klase najmanje osjetljive na kašnjenje. Međutim, aplikacije pozadinske i interaktivne klase zahtijevaju veću pouzdanost. Konverzacijska klasa i strujeća klasa su namijenjene za promet u realnom vremenu, s tim da konverzacijska klasa ima strožije zahtjeve u pogledu kašnjenja.

Interaktivna i pozadinska klasa se koriste za tradicionalne internetske aplikacije. Glavna razlika između njih je da se interaktivna klasa koristi uglavnom za interaktivne aplikacije kao što su interaktivni *e-mail* ili interaktivno internet pretraživanje, dok se pozadinska klasa koristi za pozadinski promet kao što je npr. preuzimanje *e-mail*-ova ili pozadinsko preuzimanje datoteka. Promet interaktivne klase ima veću prednost pri raspoređivanju nego promet pozadinske klase, što znači da aplikacije pozadinske klase koriste prijenosne resurse samo kada ih aplikacije interaktivne klase ne trebaju, [12].

Tablica 2. Različiti zahtjevi za određenu kvalitetu usluge

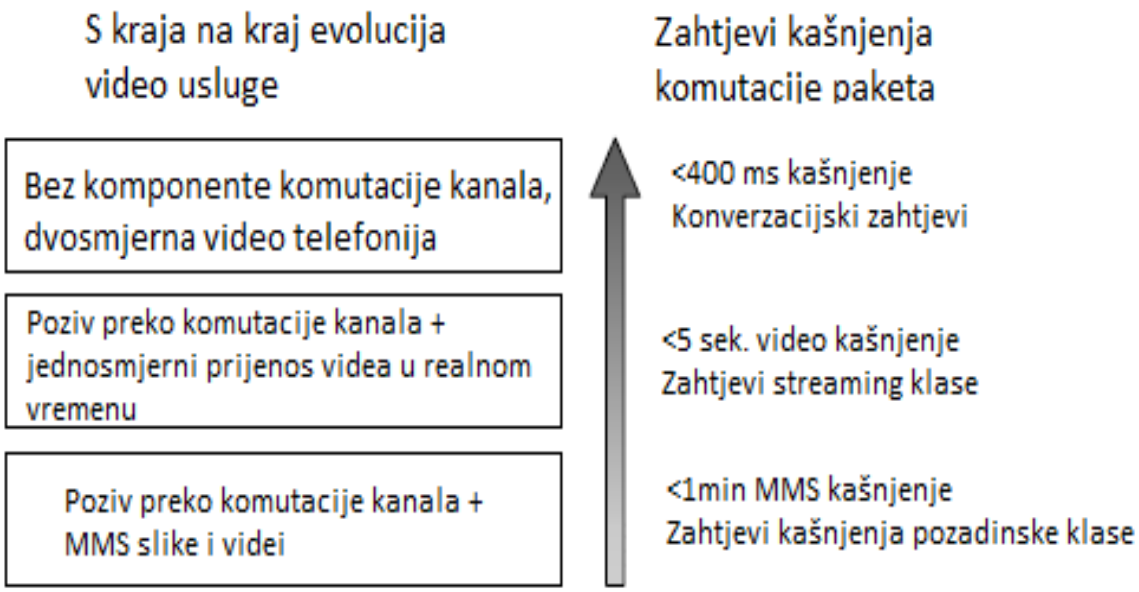
Tip prometa	Maksimalni gubitak paketa (eng. *Max packet loss*)	Maksimalno kašnjenje u jednom smijeru	Varijacija kašnjenja (eng. *Jitter*)	Garantirana propusnost po sesiji
VoIP	1%	200ms	30ms	12 – 106 kbps
Video konferencija	1%	200ms	30ms	Veličina sesije plus 20 %
Video strujanje	2%	5sec	N/A	Ovisi o kodiranju formata i brzini strujanja video zapisa
Podaci	Varijabilno	Varijabilno	Varijabilno	Varijabilno

Izvor: [13].

Tablica 2 prikazuje koji su zahtjevi u prijenosu podataka za različite tipove prometa. Za slanje multimedijskih poruka (eng. *Multimedia Messaging Service*, MMS) se koristi pozadinska klasa i da bude uspješno isporučeno važno je da se isporučuje s visokom pouzdanosti, dok je vrijeme isporuke otprilike ispod jedne minute. Vrijeme isporuke nije presudno te je moguće koristiti manje zahtjevne 3GPP klase kvalitete usluge za MMS. Drugi važan uvjet s gledišta krajnjeg korisnika je da bi trebalo biti moguće jednostavno poslati

MMS te u isto vrijeme razgovarati. To zahtijeva da su mobilna stanica i mreža u mogućnosti obrađivati više radio pristupnih nositelja istovremeno, [2].

Moguće je podržati *streaming* video ili konverzacijski govor preko IP-a s kraja na kraj mreže pomoću samo pozadinske QoS klase. QoS diferencijacija je korisna za učinkovitost mreže za vrijeme visokih opterećenja kod usluga s različitim zahtjevima za kašnjenje. Ako radijska mreža ima saznanje o zahtjevima kašnjenja različitih usluga biti će u mogućnosti poboljšati učinkovitost iskorištenja mreže.



Slika 10. Evolucija video usluge

Izvor: [2].

Slika 10 prikazuje značajan napredak usluge u smislu zahtjeva kašnjenja. Značajno poboljšanje djelotvornosti može se dobiti uvođenjem nekoliko prioriteta klase unutar interaktivne ili pozadinske klase pomoću raspodjele i zadržavanja parametara (eng. *Allocation and retention parameters*, ARP). Samo raspodjela po prioritetu u paketskom rasporedu nije dovoljna za pružanje pune QoS diferencijacije usluge.

Korisnici unutar iste QoS i ARP klase će dijeliti raspoloživi kapacitet. Ako je broj korisnika jednostavno previsok, svi će imati lošu kvalitetu. U tom slučaju bilo bi bolje da se blokira nekoliko korisnika da bi se mogla jamčiti kvaliteta postojećih veza, kao i *streaming* videa. Radio mreža može procijeniti koliko kapaciteta ima na raspolaganju i po potrebi blokirati dolaznog korisnika ako nema mjesta pružiti potrebnu propusnost bez žrtvovanja kvalitete postojećih veza, [12].

Primjeri aplikacija su video-*streaming* i usluge bazirane na lokaciji (eng. *Location based*). *Location based* predstavlja novu vrstu aplikacije u UMTS-u koja omogućava automatsku distribuciju lokalnih informacija i lokalizaciju odgovarajućih poziva u mreži.

BM-SC daje informaciju o QoS klasi koju treba koristiti MBMS kanal, a koja je sadržana u okviru poruke o početku sesije. Mrežni elementi za paketski dio prijenosa (GGSN i SGSN) i RAN odlučuju o daljnjem tretiranju MBMS kanala na osnovu rezerviranih resursa. Razvijen je FLUTE standard s ciljem da se podrži prijenos aplikacija za veliku grupu prijemnika. Kao protokol, FLUTE je definiran u okviru slojevitog kodnog bloka (eng. *Layered Coding Transport*, LCT), kao sloj iznad (eng. *Asynchronous Layered Coding*, ALC) protokola. Prijenos datoteka je podržan primjenom odgovarajućih objekata i tablicom opisa sadržaja (eng. *File Description Table*, FDT). LCT je implementiran kao skalabilni protokol za pouzdan i asinhroni prijenos sadržaja. Jedna LCT sesija objedinjuje nekoliko kanala iz predajnika za prijenos jednog ili više objekata koji su od interesa za prijemnik. FEC blok omogućava izbor odgovarajućeg FEC (npr. Reed-Solomon) koda koji će se koristiti unutar ALC, [14]. Primjer definiranja QoS profila za *streaming* aplikaciju vidljiv je na tablici 3.

Tablica 3. Protokoli za MBMS *streaming* aplikacije

<table>
<tr><td colspan="2">*Streaming* aplikacije</td><td>Preuzimanje aplikacija (MMS, video)</td></tr>
<tr><td>RTP *payload* (CODEC)</td><td>3GPP preuzimanje datoteka</td><td>Kreiranje usluga</td></tr>
<tr><td rowspan="3">RTP</td><td colspan="2">FLUTE</td></tr>
<tr><td colspan="2">ALC/FEC</td></tr>
<tr><td colspan="2">LCT</td></tr>
<tr><td colspan="3">UDP</td></tr>
<tr><td colspan="3">IP (*multicast*)</td></tr>
<tr><td colspan="3">MBMS nosioci</td></tr>
</table>

Izvor: [14].

Svaka MBMS sesija podržava određene parametre kvalitete usluge (QoS). 3GPP definira QoS model za UMTS mreže koji se koristi za MBMS s jednim ograničenjem, da se samo jednosmjerne strujeće i pozadinske klase mogu koristiti za MBMS usluge ovisno o tome jesu li osjetljive na kašnjenje ili nisu. Dvosmjerne konverzacijske i interaktivne klase neprikladne su za MBMS usluge. Uobičajeno je da se za preuzimanje datoteka i kombinirane usluge koristi pozadinska klasa a za strujanje medija će se koristiti strujeća klasa, [15].

4. Funkcije upravljanja kapacitetom

Budući da u WCDMA svi korisnici dijele iste frekvencijske resurse u zračnom sučelju oni se ne mogu se analizirati samostalno. Svaki korisnik ima utjecaja na druge što uzrokuje promjenu snage prijenosa. Te promjene opet uzrokuju daljnje promjene i tako dalje. Dakle, cijeli proces predviđanja mora biti učinjen iterativno dok se snaga prijenosa ne stabilizira.

W-CDMA kapacitet je višeslojni problem i ovisi o brojnim faktorima koji su povezani jedni s drugima. Na primjer, što više korisnika uđe u ćeliju i njihova razina prenesenih podataka raste to će kapacitet ćelije biti manji. U pravilu ako opterećenje ćelije raste to će umanjiti kapacitet ćelije. Drugo što se može dogoditi je da u nekim situacijama neke ćelije mogu biti manje opterećene od drugih, stoga višak kapaciteta može biti podijeljen između ćelija.

Soft kapacitet koji se spominje u literaturi vezanoj uz kapacitet je maksimalni kapacitet aktivnih konekcija ograničenih interferencijom u zračnom sučelju. Ono isto podrazumijeva da što manje interferencije dolazi iz susjednih stanica, više kanala je dostupno u središnjoj ćeliji. Uz mali broj kanala po ćeliji, tj. za visoke brzina prijenosa podataka u stvarnom vremenu, prosječno opterećenje mora biti prilično nisko da bi jamčilo nisku vjerojatnost blokiranja. Budući da je prosječno opterećenje nisko, tu je obično dodatni kapacitet dostupan u susjednim ćelijama koji može biti posuđen. Meko prekapčanje koristi više konekcija prema više baznih stanica od kojih sve rade na istoj frekvenciji. Korištenje više konekcija smanjuje snagu svake bazne stanice uslužujući UE. Meko prekapčanje će rezultirati na taj način smanjenje interferencije i povećati će kapacitet ćelije.

Kako bi osigurao visok kapacitet u budućim mobilnim komunikacijskim sustavima postoji potreba za učinkovito upravljanje radio resursima. Jedan od načina za poboljšanje učinkovitosti i smanjenje cijene ukupnog sustava je implementirati strukturu s ćelijama koje pokrivaju isto područje. To daje mogućnost sustavu gdje mikro ćelije osiguravaju kapacitet, a makro ćelija pruža veliku pokrivenost područja. Ostali razlozi za hijerarhijsko strukturirane ćelije mogu biti da obrađuju uređaje koji se brzo kreću, za rukovanje novih vrsta usluga tj. veće količine podataka u malim prostorima. Neke korisne tehnike povećavanja kapaciteta mogu biti uvedene u WCDMA mrežu. Korištene metode mogu se sastojati od makro, mikro i piko ćelija u ćelijskom sustavu. Glavna ideja je korištenje različitih frekvencijskih pojaseva za različite tipove korisnika, [2].

4.1. Kontrola opterećenja

Jedan važan zadatak funkcionalnosti u planiranju UMTS mreže je osigurati da je sustav stabilan i nije preopterećen. Ako je sustav pravilno planiran, a kontrola pristupa i raspored paketa radi dovoljno dobro, preopterećene situacije bi trebale biti izuzetno rijetke. Ako dođe do preopterećenja funkcionalnosti kontrole opterećenja vraćaju kontrolirano natrag na ciljano opterećenje koje je definirano u planiranju radijske mreže, [2].

U nastavku su navedeni mogući postupci kontrole opterećenja kako bi se smanjilo opterećenje:

- brza kontrola opterećenja silazne veze koja ima za cilj zaustaviti izvođenje naredbe poslane od korisničke opreme
- brzu kontrolu opterećenja uzlazne veze, smanjiti uzlaznu vezu koristeći brzu kontrolu snage uzlazne veze
- smanjenje propusnosti podataka paketnog prometa
- prespajanje na drugog WCDMA nosioca
- prespajanje na GSM
- smanjenje brzine prijenosa u realnom vremenu mobilnim uređajima
- prekidanje dijela postojećih veza uključujući i veze za stvarnovremenske usluge, [2].

Prva dva načina navedena na popisu su brze akcije koje se provode u okviru čvora B. Te akcije mogu se održati u trajanju jednog vremenskog slota, tj. s 1,5 kHz frekvencije i osigurati brzo upravljanje radio resursima prioriteta različitih usluga. Trenutačna stopa razine pogreške na konekcije neosjetljive na retransmisiju veze mogu se povećavati, kako bi održali kvalitetu onih usluga koje ne mogu tolerirati retransmisiju. Te akcije su uzrok povećanog kašnjenja paketskih podatkovnih usluga dok je kvaliteta razgovorne usluge, kao što su govor i video telefonija održana. Zadnja navedena metoda smanjuje opterećenja u WCDMA radio sučelju koja se upotrebljava samo za izvanredne slučajeve kada iznad navedene metode ne uspiju postići odgovarajuće rezultate za smanjenje opterećenja, [2].

4.2. Kontrola pristupa

Kontrola pristupa je složeniji problem nego u sustavu druge generacije mobilnih mreža. Kapacitet svake ćelije nije ograničen brojem dostupnih radio kanala, ali ovisi o razini interferencije na svakom radio linku mreže. To omogućuje fleksibilniju uporabu radijskih resursa i dinamičku prilagodbu različitim klasama prometa. Zadatak kontrole pristupa je ograničiti dolazni promet, tako da je kvaliteta svih aktivnih veza zajamčena. Kvaliteta je uglavnom određena omjerom signala i interferencije (eng. *Signal-to-Interference Ratio*, SIR) koja ovisi o primljenoj snazi promatranog kanala i snazi od ostalih korisnika. Idealni mehanizam kontrole pristupa treba prihvatiti poziv ako i samo ako je kontrola snage u mogućnosti doći do nove ravnoteže koja jamči dobru kvalitetu za sve veze. Interaktivni programi kontrole pristupa dopuštaju mobilnim stanicama tražiti novi poziv za interakciju sa sustavom na ograničeno vrijeme prijenosa na smanjenoj razini snage. Algoritam normalno daje prioritet sesiji u prekapčanju koja zahtjeva manju vjerojatnost blokiranja od nove sesije. Tu je iznimka za hitne pozive. Također, postoji i mogućnost grupiranja korisnika u skladu s njihovom pretplatom. Na primjer, mogu postojati klase korisnika: zlatna, srebrna i brončana kojima su dodijeljeni prioriteti u silaznom redoslijedu, [16].

Ako opterećenje zračnog sučelja raste pretjerano, pokrivenost površine ćelije je smanjena ispod planiranih vrijednosti, a kvaliteta usluga postojećih konekcija ne može biti zajamčena. Prije primanja novog mobilnog uređaja, kontrola pristupa treba provjeriti da prihvaćanje tog uređaja u ćeliju neće žrtvovati planirano područje pokrivanja ili kvalitetu postojećih veza. Kontrola pristupa prihvaća ili odbija zahtjeve za uspostavu radio pristupnog nosioca u radio pristupnoj mreži. Algoritam kontrole pristupa se izvršava kada je uspostavljen nosioc ili se on modificira. Funkcionalnost kontrole pristupa se nalazi u RNC-u gdje se informacije o opterećenju mogu dobiti iz više baznih stanica. Algoritam za kontrolu pristupa procjenjuje povećanje opterećenja koje će uspostava nosioca prouzročiti u radio mreži. Algoritam to mora procijeniti za odlazne i dolazne smjerove. Nosilac može biti uspostavljen samo ako se slože uzlazna i silazna veza, inače je odbijen zbog opterećenja koje će prouzročiti u mreži. Ograničenja za kontrolu pristupa određuju se u planiranju radio mreže, [2].

5. Prikaz razvijenih rješenja za upravljanje kapacitetom

Od mnogo razvijenih ideja za rješenja upravljanja kapacitetom u mobilnim mrežama u ovom radu su opisana dva koja su implementirana i vrlo iskoristiva.

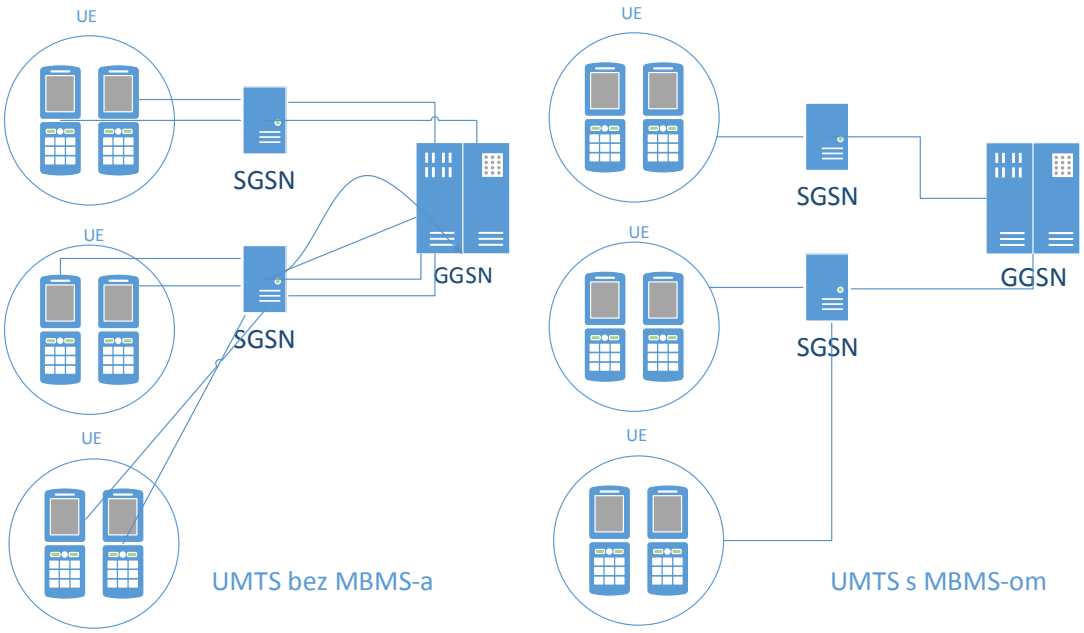
5.1. Multimedijske usluge neusmjerenog i grupnog odašiljanja

Multimedijske usluge neusmjerenog i grupnog odašiljanja (eng. *Multimedia Broadcast Multicast Services,* MBMS), uvedene od strane 3GPP u izdanju 6 namijenjene su za učinkovito korištenje mreže tj. radio resursa za prijenos podataka preko zajedničkog radio kanala kako u području jezgrene mreže tako i što je još važnije, u zračnom sučelju UTRAN koje je usko grlo za veliku grupu korisnika. MBMS pruža podršku za *broadcast i multicast* prijenos IP paketa u UMTS mrežama, čime se omogućuje visoka propusnost usluge koje će biti ponuđena prema više korisnika na ekonomičan način, [15].

Glavno obilježje MBMS-a je da omogućava posluživanje mnogo prijemnika u istoj ćeliji preko zajedničkog prijenosnog signala ili nositelja, čime se čuvaju radio resursi. Ovo nije nova ideja jer u izdanju 4 UMTS mreže pružaju *broadcast* usluge u ćeliji (eng. *Cell Broadcast Service,* CBS), koje prenose kratke poruke svim korisnicima u određenom području. Informacijski davatelj usluga šalje ove poruke u *broadcast* centar (CBC) za prijenos i CBC emitira svaku poruku periodično, na određenoj frekvenciji u trajanju ovisno po dogovoru s pružateljem usluga. Primjeri uključuju video *streaming* i distribuciju softvera putem *multicast* načina prijenosa, kao i prijenos lokalnih vijesti i vremenske prognoze putem *broadcast ili multicast* usluge. Na primjer, slanje izvješća cestovnog prometa koje će se vjerojatno slati češće nego vremenske prognoze. Kako je CBS usmjeren na tekst poruke, nije pogodan za visoku propusnost multimedijskih usluga, [15].

Kako bi se povećao broj priključaka koji su u stanju primiti MBMS usluge, 3GPP preporučuje transportni protokol u realnom vremenu (eng. *Realtime Transport Protocol*, RTP) za korištenje *streaming* usluge, a za preuzimanje sadržaja koristi jednosmjerni protokol za isporuku datoteka za jednosmjerni promet (eng. *File Delivery over Unidirectional Transport Protocol,* FLUTE), [15].

MBMS koristi IP *multicast* pakete, koji se šalju u klasi D IP adrese, ali kao što je prikazano na slici 11, GGSN i SGSN će poslati multicast pakete samo jednom za svaki čvor B. Što je još važnije, paketi se prenose samo jednom u svaku ćeliju, barem kada je prisutan dovoljan broj prijamnika za prijenos.



Slika 11. Prikaz rješenja u UMTS mreži s i bez MBMS-a

Izvor: [15].

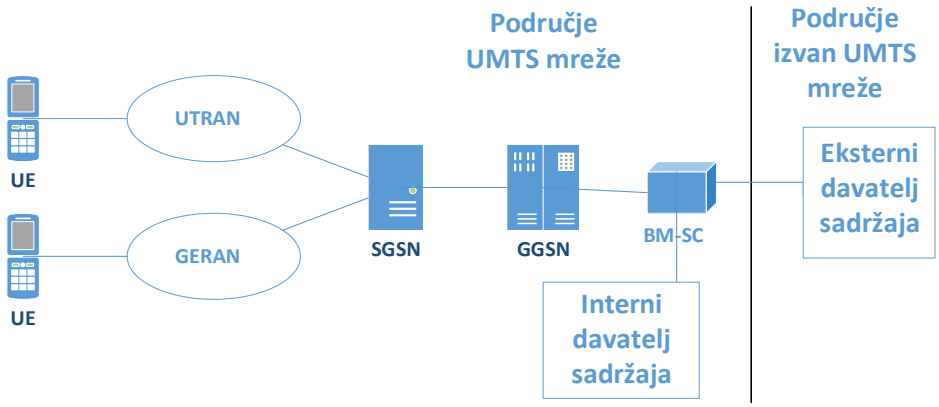
UMTS mreža može pružiti više simultanih MBMS korisničkih usluga, koje se sastoje od jedne ili više MBMS nositelja usluga, primjerice usluga korisnika televizije može sadržavati odvojene audio i video noseće usluge. Svaka usluga može imati određeni skup ćelija ili područje usluga. Stvarni prijenos podataka unutar usluge se zove sesija. Usluga može imati samo jednu aktivnu sesiju u isto vrijeme, ali može koristiti više sesija tijekom njegovog vijeka trajanja prenoseći isti ili različit sadržaj. Vrste usluga prema MBMS klasifikaciji su:

- *streaming*: kontinuirano slanje medija kao što su audio i video, plus dopunski tekst i slike, slično TV kanalima, ali sa dodatnim multimedijskim sadržajem.
- *download*: pouzdani binarni prijenos podataka bez strogog ograničenja kašnjenja, slično uobičajenom prijenosu datoteka, ali s više primatelja.
- kombinirajući klasa: kombinacija *streaming i download.*

U cilju podrške MBMS-u u arhitekturu je dodana nova funkcionalna cjelina, Broadcast / multicast Service Center (BM-SC) koji se mora dodati u domenu s komutacijom paketa jezgrene mreže. Kao što je prikazano na slici 12 centar služi za posredovanje između davatelja sadržaja i UMTS mreže. BM-SC ima cjelokupnu odgovornost za kontrolnu i korisničku ravninu MBMS usluge. MBMS usluga može imati dva načina emitiranja:

- *broadcast usluga:* Jednosmjerna usluga od jedne točke prema više točaka u kojem se podaci efikasno prenose iz jednog izvora na više UE-a povezanih u području emitiranja usluga. Emitirane usluge mogu biti primljene od strane svih korisnika koji su u mogućnosti usluge emitiranja lokalno na svojim UE primiti.
- *multicast service:* Jednosmjerna usluga od jedne točke prema više točaka u kojem se podaci efikasno prenose iz jednog izvora na više UE-a povezanih u području emitiranja usluga. *Multicast* usluge mogu dobiti samo korisnici koji su se pretplatili na određenu *multicast* uslugu i pridružili su se u *multicast* grupu određene usluge.

Prijenos podataka za *multicast/broadcast* mod usluga je isključivo jednosmjeran, od BM-SC prema UE. BM-SC je odgovoran za provjeru autentičnosti i autorizaciju davatelja sadržaja, primanje i eventualno mijenjanje njihovih podataka, na primjer, šifriranje i modificiranje njihovih podataka za usklađen prijenos preko GGSN-a. BM-SC može ponoviti cijeli prijenos podataka ili određene dijelove koji zahtijevaju ispravljanje pogreška. BM-SC pruža informacije o svojim uslugama UE-ima koji se žele spojiti na *multicast* sesije kako bi potvrdili da su pretplaćeni na uslugu i iniciraju početak i završetak sesije. Slika 12 prikazuje MBMS arhitekturu s pripadajućim entitetima.



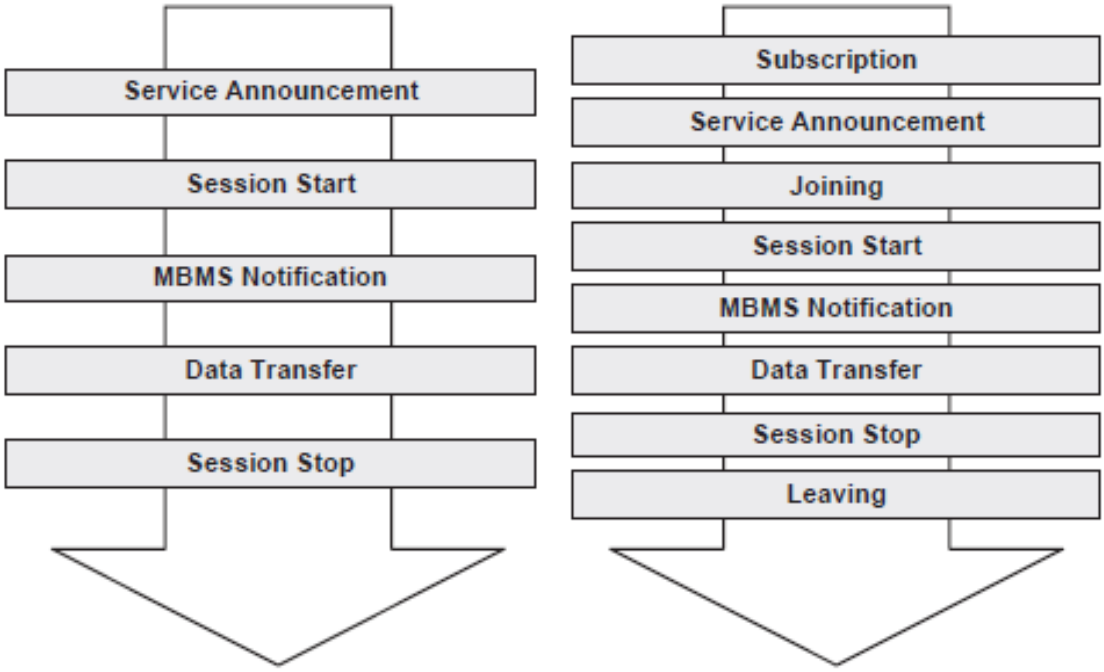
Slika 12. MBMS arhitektura

Izvor: [15].

Životni ciklus *broadcast* sesije prikazan je na lijevoj strani slike 13. U najavnoj fazi usluga (eng. *service announcement)* korisnici su informirani o dostupnosti usluge na svom području. BM-SC može prenositi obavijesti o uslugama pomoću MBMS usluge *download* tipa ili zainteresirani UE može izravno poslati upit BM-SC-u i otkriti koje usluge nudi. Druge korištene opcije su CBS, SMS-a ili internet oglasi. U svim slučajevima koristi se protokol za opis sesije (eng. *Session Description Protocol*, SDP), za opis sadržaja sjednice kao što su vrsta medija i zahtjevi širine pojasa. Korisnici mogu aktivirati ili isključili primanje svake

usluge emitiranja na lokalnoj razini preko njihovog UE. Kada su podaci spremni za isporuku, BM-SC inicira sesiju tijekom koje su prikladni UMTS mrežni čvorovi uspostavili kanale. U *brodcast* načinu načinu rada, nositelji su uspostavljeni prema svim ćelijama u kojima je usluga dostupna. U MBMS obavijesnoj fazi (eng. *Notification phase*) korisnici su obaviješteni da je prijenos podataka spreman započeti tako da oni mogu početi koristiti uslugu na odgovarajućem *broadcast* radio kanalu. U fazi prijenosa podataka (eng. *Data transfer*) stvarni podaci se prenose na sve ćelije u području usluga, a primaju oni korisnici koji nisu deaktivirali uslugu. Na kraju, kada je prijenos podataka završen, BM-SC zaustavi sesiju (eng. *Session stop*) tijekom koje su kanali oslobođeni.

Životnom ciklusu *muulticast* sesije, koji je prikazan na desnoj strani slike 13 dodane su još tri faze koje se izvode ovisno od svakog UE-a kada želi primiti *multicast* sesiju. U fazi pretplate (eng. *Subscription*), zainteresirani korisnici se mogu pretplatiti na *multicast* usluge putem primjerice web stranice. To obavještava BM-SC da je korisnik pristao primati i platiti *multicast* usluge. Faza najave usluge (eng. *Announcement phase*) je sličan proces kao u *brodcast* načinu, ali također uključuje i multicast adresu koja se koristi za sesiju. Bilo prije ili poslije početka sesije, zainteresirani korisnici iniciraju fazu spajanja (eng. *Joining phase*) gdje šalju poruku na GGSN navodeći *multicast* grupu kojoj se žele pridružiti. Te poruke se pregledavaju od BM-SC koji provjerava da li korisnik ima zaista pretplatu na tu uslugu.



Slika 13. Životni ciklus *brodcast* i *multicast* sesije, [15].

5.2. MIMO antene

Korištenje više odašiljačkih antena u čvoru B i nekoliko prijemnih antena u UE-u može se povećati brzi paketski pristup u silaznom smjeru (eng. *High Speed Downlink Packet Access*, HSDPA). Takvi sustavi obično su označeni kao tehnike višestrukog ulaza i višestrukog izlaza (eng. *Multiple-Input and Multiple-Output*, MIMO). Veće brzine prijenosa mogu se postići poboljšanom antenom za odašiljanje i primanjem signala u/iz više smjerova (eng. *Diversity*) što dovodi do bolje kvalitete kanala. Za razlikovanje nekoliko tokova koji dijele isti kod, terminal koristi više antena i sustav obrade prostornih signala. Od 20 do 30% korisnika može imati kvalitetu kanala koja premašuje zahtjeve za 10 Mbit/s, [2].

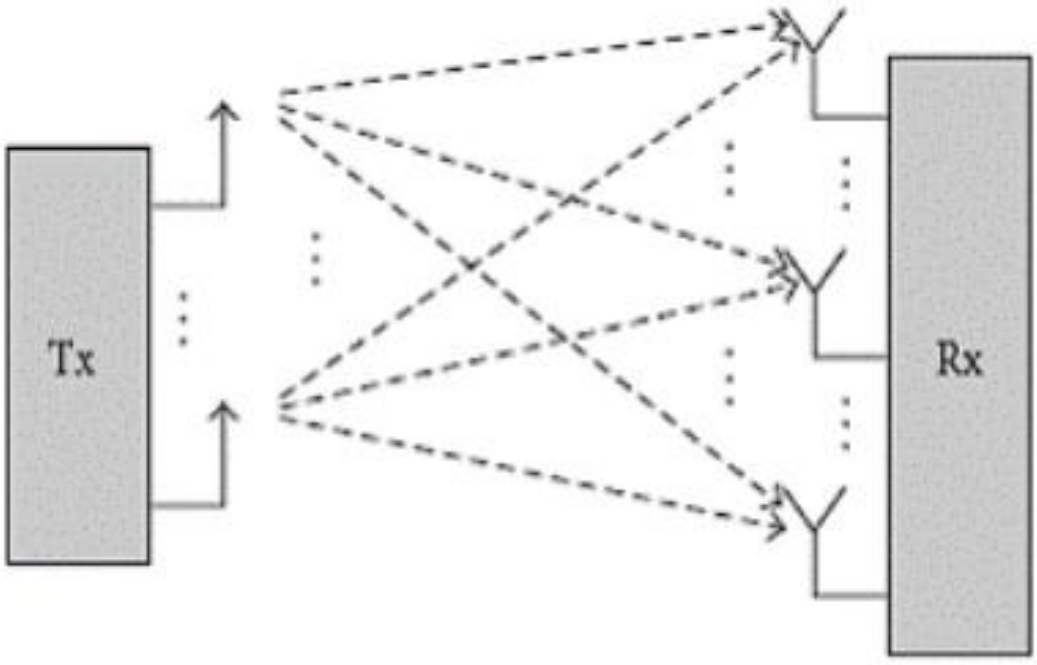
MIMO tehnologija predstavlja značajan pomak u brzini prijenosa podataka u odnosu na prethodne standarde. Zasniva se na više puteva (eng. *Multipath*) širenja signala koji je općenito karakteristika radio signala. Radio signali kroz prostor ne putuju ravnom linijom od točke A do točke B, nego se odbijaju od raznih prepreka (npr zidova, zgrada..). Oni dolaze do svojega cilja odnosno antena, pod različitim kutevima i za to im je potrebno određeno vrijeme koje može biti različito. Povećava se opseg prijenosa koji je direktna posledica „*multipath*"-a, jer signal uvijek stigne na odredište linijom lakšeg otpora, te s obzirom na odbijanje od prepreka rade svoju najbolju putanju.

MIMO tehnologija omogućuje korištenje više antena (najmanje 2 za prijem i najmanje 2 za slanje signala) pri čemu se ne radi se o jednom signalu već više različitih. Broj antena povećava brzinu, a korištenje dvije antene osigurava prijenos do 300 mbps, dok tri antene omogućuju do 600 mbps. MIMO standard podrazumijeva podršku s kraja na kraj, odnosno da i *wireless* klijent i AP podržavaju isti standard. MIMO tehnologiju koriste IEEE 802.11n standard, WiMAX, 4G i 3GPP, [18].

Jedna od osnovnih ideja MIMO bežičnog sustava signala je prostorno-vremenska obrada što znači da je osim vremenom sustav proširen prostornom dimenzijom, a koristi se više prostorno raspoređenih antena. U skladu s tim MIMO bežični sustavi mogu biti promatrani kao logički produžeci pametnim antenama koje se koriste već duži niz godina. Takav sustav je razvijen u prijenosu između odašiljača i prijemnika na način da signal može imati više staza. Osim toga malo pomicanje antene promijenit će put signala. Raznolikost staza nastaje kao posljedica broja predmeta koje se pojavljuju sa strane ili na samom putu između odašiljača i prijamnika, [18].

Kod MIMO tehnike dobitak se ostvaruje boljim iskorištavanjem postojećeg odnosa signal-šum. MIMO tehnika radi na principu odašiljanja različitih tokova podataka po pojedinom antenskom sloju i svaki od njih dolazi na pojedinou prijemnu antenu. Time se zapravo ostvaruje linearni rast kapaciteta s povećanjem odnosa signal-šum, koji bi inače bio logaritamski, što bi limitiralo maksimalne vrijednosti. Može se uočiti da je zbog toga dobitak ostvariv uz MIMO antene više izražen u slučajevima visokog odnosa signal-šum. MIMO se može koristiti i u kombinaciji s oblikovanjem dijagrama zračenja.

Za razliku od dosadašnjih antenskih sustava s jednim ulazim i jednim izlazom (eng. *Single Input Single Output*, SISO) koji koriste jednu antenu na svakom kraju radiokanala, MIMO sustavi koriste antenske nizove za odašiljanje i prijam signala kako je prikazano na slici 14, [19].



Slika 14. Shema MIMO sustava, [19].

Zbog velikog broja mogućih načina prijenosa, MIMO sustavi omogućuju otpornost komunikacijskog sustava na *feding* i veću spektralnu učinkovitost te omogućavanje vrlo visokih kapaciteta.

Ranije su višestruke staze služile samo za smetnju, a korištenjem MIMO antena te staze mogu se iskoristiti. One mogu biti koriste za pružanje dodate robusnosti za radio veze, poboljšanje omjera signal/šum ili povećanje kapaciteta podatkovne veze.

Dva glavna oblika za MIMO :

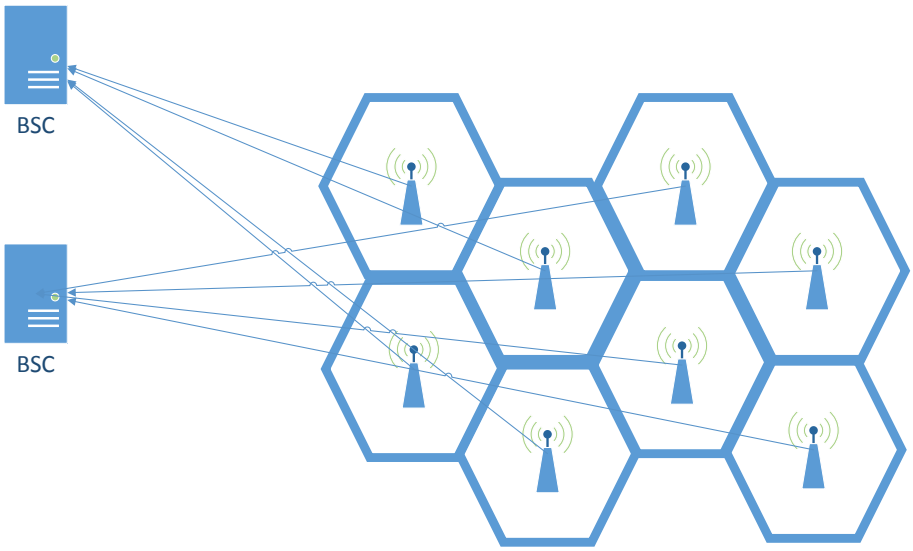
- prostorna raznolikost: Prostorna raznolikost se odnosi se na prijenos i primanje raznolikosti signala.
- prostorno multipleksiranje: Ovaj oblik MIMO tehnike se koristi za pružanje dodatnog kapaciteta podataka na način da se pomoću različitih puteva obavi dodatni promet, tj. poveća kapacitet protoka podataka.

Jedna od ključnih prednosti MIMO prostornog multipleksiranja je osiguravanje dodatnog kapaciteta za podatke. MIMO prostorno multipleksiranje se postiže primjenom višestrukih staza i učinkovito ih koristi kao dodatne "kanale" za prijenos podataka. Maksimalna količina podataka koja se može prenijeti putem radio kanala je ograničena fizičkim granicama definiranih u Shannonovom zakonu. Tehnika podržava poboljšani protok podataka čak i pod uvjetima interferencije, slabljenje signala i višestaznost. Potražnja za većom brzinom prijenosa na veće udaljenosti je bio jedan od glavnih motiva za razvoj MIMO OFDM komunikacijskog sustava, [18].

Za kapacitet sustava MIMO antena predloženo je da se koristi niz antena na baznim stanicama i terminalima u svrhu formiranja nekoliko komunikacijskih kanala. Na primjer, tri i šest antena na prijamnoj i odredišnoj strani, odnosno $3 \times 6 = 18$ mogućih komunikacijskih kanala. Podaci se potom daju na odašiljanje preko tih kanala i ponavlja se kombinacija nakon prijema te se na takav način ukupni kapacitet kanala maksimizira. Kao primjer se koristi postavljanje 3×6 MIMO sustava koja se sastoji od tri teoretski neuparene antene na jednoj strani i na drugoj strani šest antena s fiksnim radijusom i jednake međusobne udaljenosti. Tri fiksne zidne antene su montirane na tri različite okomite stjenke međusobno jednako daleko jedna od druge, [18].

6. Analiza područja pokrivanja i kapaciteta

Mobilna ćelija može bit podijeljena na veći broj geografskih područja, koji se nazivaju sektorima. Podjela može biti na 3, 4, 6 sektora ili više. Nakon sektorizacije ćelije kao posljedica se javlja značajno smanjenje interferencije što rezultira boljim performansama mobilne mreže. Kapacitet propisan WCDMA standardima za UMTS odnosi se na najveći mogući broj korisnika po ćeliji, gdje se područje pokriveno RF signalom od čvor B ili UE naziva područjem pokrivanja UMTS-a (eng. *coverage area*). Kapacitet i područje pokrivanja su dva dinamična fenomena u UMTS mreži. Parametri kojima se definira kapacitet i pokrivanje u UMTS-u su po svojoj prirodi dinamični i u međusobnoj ovisnosti, što znači da povećanje ili smanjenje tih parametara izravno utječe na kapacitet i područje pokrivanja UMTS mreže. Upravo je sektorizacija jedan od tih parametara.



Slika 15. Pokrivanje područja na principu ćelija

Izvor: [6]

Može se dogoditi i da ponuđeni promet unutar ćelije (slika 15) preraste predviđeni kapacitet te tada dolazi do povećanja vjerojatnosti blokiranja poziva. Prednost sustava je da se kod takvih situacija ćelija dijeli na manji broj ćelija s odašiljačima koji mogu biti i manje snage čime se projektantima daje fleksibilnost povećavanja kapaciteta na mjestima gdje je to potrebno pa se tako dobiva veličina ćelije koja se određuje prema obujmu zahtjeva za određenim sadržajima. Promjer radio-ćelije iznosi od 2 do 18 km, a maksimalno može biti 35 km. Prijelaz iz ćelije u ćeliju ne može se vršiti brzinom većom od 250 km/h, jer u protivnom neće pravovremeno reagirati.

6.1. Područje pokrivanja i brzine prijenosa

UMTS nudi različite brzine prijenosa za različite klase usluga. Tablicom 4 prikazane su različite standardne brzine prijenosa koje nudi UMTS. Više klase usluga utječu na smanjenje radijusa ćelije što rezultira manjim područjem pokrivanja. Ukoliko se različite klase usluga klasificiraju u smislu područja pokrivanja, tada ono izgleda kao što je prikazano slikom 16.

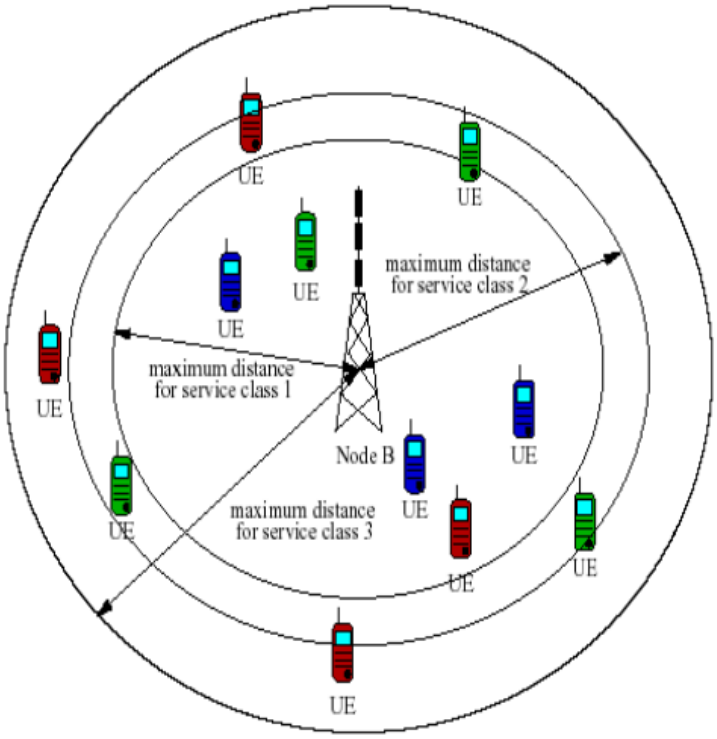
Tablica 4. Klase usluga

Brzina prijenosa(Kbit/s)	Klasa
12.2	Klasa 5
32	Klasa 4
64	Klasa 3
144	Klasa 2
384	Klasa 1

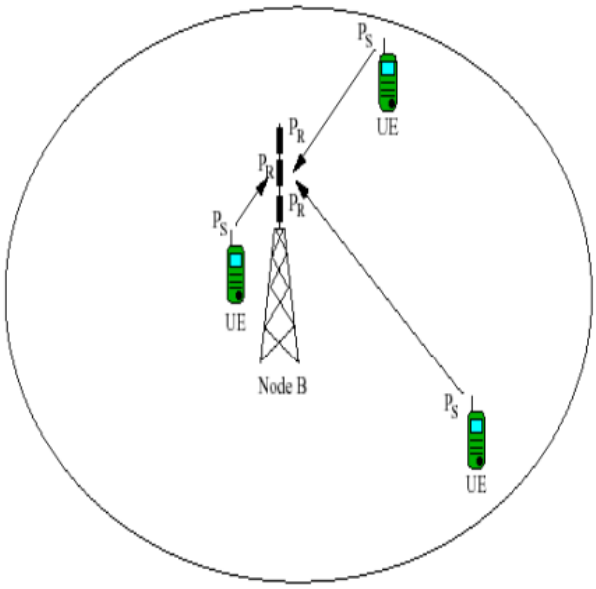
Izvor: 20

Na slici 16 se može vidjeti za usluge klase 1 maksimalna udaljenost promatrana od strane UE do čvora B. Slično tome, za usluge klase 2 i klase 3 UE održava maksimalnu udaljenost od čvora B. Iz slike 16 se može uočiti da različita područja pokrivanja zahtijevaju različite brzine prijenosa, odnosno područje pokrivanja se mora povećati za bolje klase usluga.

Slika 17 Prikazuje UMTS ćeliju gdje čvor B prima snagu (PR – *Power Received*) od UE. Osjetljivost čvora B je razina snage neophodna minimalnu razinu signala na ulazu čvora B primatelja (eng. *Receiver*) kako bi se mogli zadovoljiti zahtjevi u pogledu dobitka, Gp-a (Gp - *Processing Gain*) i čvor B interferencije te snage šuma.



Slika 16. Različite klase usluga u odnosu na najveću udaljenost, [20].



Slika 17. UMTS ćelija, [20].

Nakon što se izračuna promjer ćelije d, može se izračunati područje pokrivanja. Područje pokrivanja u jednoj heksagonalnoj ćeliji može se izračunati prema formuli (1) danoj izrazom:

$$S = K \times d^2 \quad (1)$$

gdje je S - područje pokrivanja, d – radijus ćelije, i K je konstanta. Neke vrijednosti parametra K dane su tablicom 5.

Tablica 5. K vrijednosti

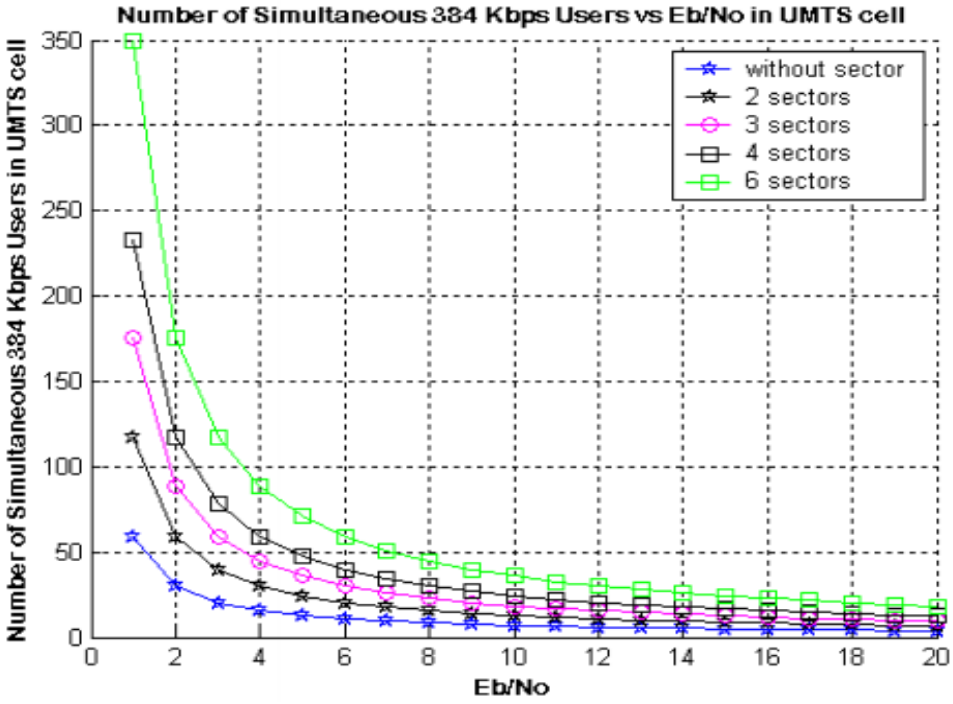
Konfiguracija	Omni ili bez sektora	Dva sektora	Tri sektora	Četiri sektora
Vrijednost za K	2.6	1.3	1.95	2.6

Izvor: 20

6.2. Simulacija 1 i rezultati simulacije 1

Zbog dostupnosti opreme i softvera ova simulacija je preuzeta iz [20]

Analiza je napravljena za sektorske ćelije u gustom urbanom području alatom MATLAB R2009a. Simulirane vrijednosti prikazane su tablicom 6., tablicom 7., tablicom 8., tablicom 9 i tablicom 10. Performanse su prikazane grafikonom 1., grafikonom 2., grafikonom 3., grafikonom 4., i grafikonom 5.



Grafikon 1. Broj simultanih 384 [kbit/s] korisnika u odnosu na E_b/N_o u UMTS ćeliji [20]

Grafikon 1 pokazuje da E_b/N_o[1] mora održavati nisku vrijednost za rastući broj istovremenih 384 [kbit/s] korisnika. Iz grafikona 1 se može uočiti da za dinamičke vrijednosti ovog parametra s mijenjanjem sektora se mijenja broj istovremenih 384 [kbit/s] korisnika. Primjerice, ako je Eb/No vrijednost 4 db, tada će za 6 sektora broj istovremenih korisnika biti 88, ali za tri sektora broj korisnika pada na 45. Rezultati simulacije radi bolje preglednosti prikazani su tablicom 6.

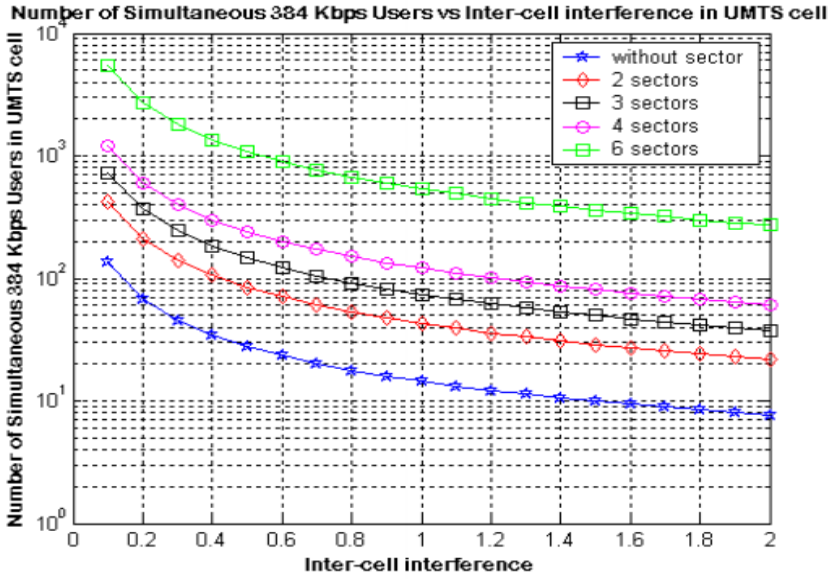
Tablica 6. Simulacijski rezultati za broj simultanih 384 [kbit/s] korisnika u odnosu na Eb/No u sektorskim ćelijama

Eb/No	Korisnici bez sektora	Korisnici s 2 sektora	Korisnici s 3 sektora	Korisnici s 4 sektora	Korisnici s 6 sektora
1	59.065	117.13	175.19	233.26	349.39
4	15.516	30.032	44.548	59.065	88.097
8	8.2581	15.516	22.774	30.032	44.548
10	6.8065	12.613	18.419	24.226	35.839
14	5.1475	9.2949	13.442	17.59	25.885
16	4.629	8.2581	11.887	15.516	22.774
18	4.4156	7.4516	10.677	13.903	20.355
20	3.9032	6.8065	9.7097	12.613	18.419

Izvor: 20

Interferencija od strane druge ćelije u literaturi se naziva međućelijska interferencija (eng. *Inter-cell interference*) te se označava grčkim slovom beta (β). Kod multi-ćelijske konfiguracije broj vanjskih ćelija može smanjiti kapacitet ćelije u UMTS-u. Grafikonom 2 prikazano je da za rastuće potrebe i zahtjeve korisnika vrijednost β u UMTS-u mora biti niska. Također je prikazana dinamička međućelijska interferencija uz promjenu sektora, gdje se broj simultanih 384 [kbit/s] korisnika mijenja (raste ili pada). S grafikona 2 može se zaključiti da je za povećanje vrijednosti parametra β potrebno povećati sektore.

[1] E_b/N_o je mjera za odnos signal/šum u digitalnim komunikacijskim sustavima. Mjeri se na ulazu receivera i koristi se kao osnovna mjera jakosti signala, 0.



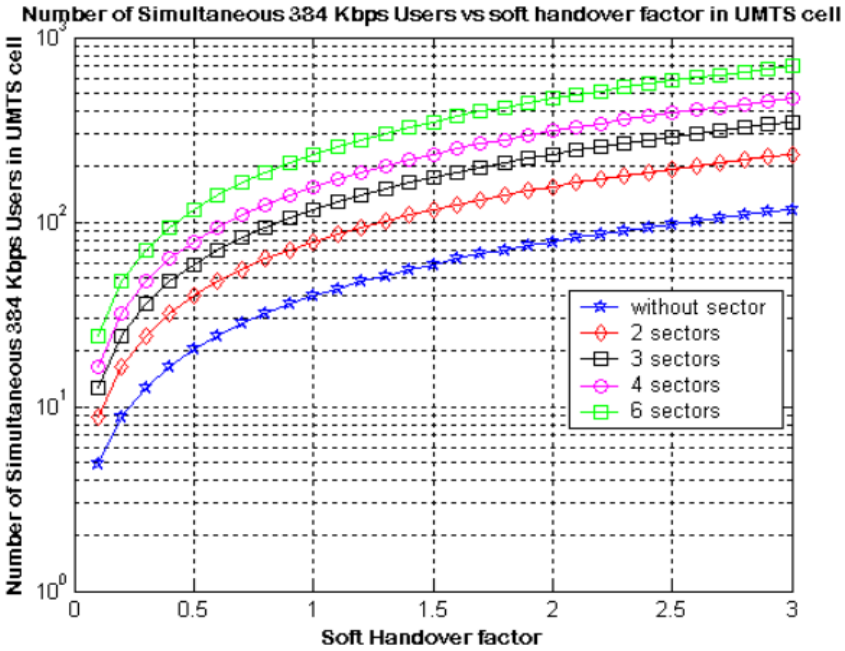
Grafikon 2. Broj simultanih 384 [kbit/s] korisnika u odnosu na međućelijsku interferenciju u sektorskim ćelijama [20].

Tablica 7. Rezultai simulacije za broj simultanih korisnika u odnosu na međućelijsku interferenciju u sektorskim ćelijama

Međućelijska interferencija	Korisnici bez sektora	Korisnici s 2 sektora	Korisnici s 3 sektora	Korisnici s 4 sektora	Korisnici s 6 sektora
0.1	135.33	419.6	730.73	1201	5401
0.5	27.866	84.721	146.95	241	1081
1	14.433	42.86	73.973	121	541
1.5	9.9552	28.907	49.649	81	361
1.7	8.9017	25.624	43.925	71.588	53.941
2.0	7.7164	21.93	37.486	61	271

Izvor: 20

Prekrivajuća (eng. *Overlapped*) ćelija može dovesti do dodatne snage uvođenjem *soft handover* faktora (H). Vrijednost H može bit faktor za povećanje broja korisnika. Grafikon 3 pokazuje da se za rastući H i promjenu vrijednosti sektorizacije broj simultanih korisnika povećava. Primjerice, ako je H vrijednost 2.5 db, tada će za dva sektora broj simultanih korisnika biti 195, ali će za četiri sektora broj korisnika biti 388.



Grafikon 3. Broj simultanih 384 [kbit/s] korisnika u odnosu na soft handover faktor u sektorskim ćelijama [20].

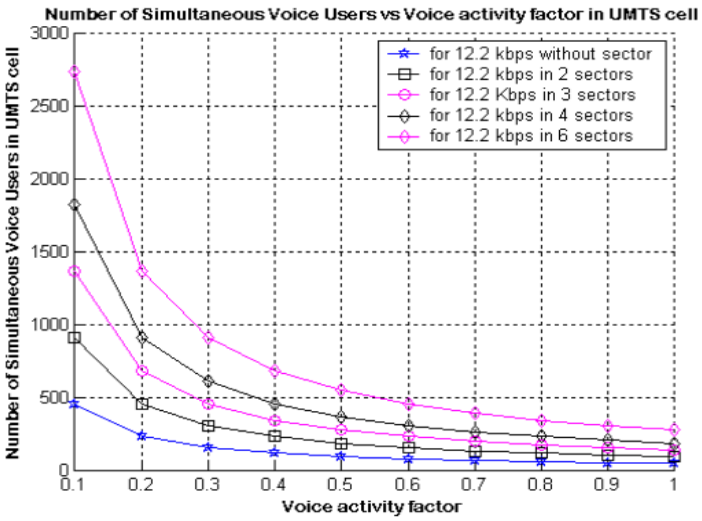
Rezultati simulacije radi bolje preglednosti prikazani su tablicom 8.

Tablica 8. Simulacijski rezultati za broj simultanih korisnika u odnosu na soft handover faktor u sektorskim ćelijama

Soft Handover Faktor	Korisnici bez sektora	Korisnici s 2 sektora	Korisnici s 3 sektora	Korisnici s 4 sektora	Korisnici s 6 sektora
0.1	4.871	8.7419	12.613	16.484	24.226
0.4	16.484	31.968	47.452	62.935	93.903
1	39.71	78.419	117.13	155.84	233.26
1.5	59.065	117.13	175.19	233.26	349.39
2.5	97.774	194.55	291.32	388.1	581.65
3	117.13	233.26	349.39	465.52	697.77

Izvor: 20

Grafikon 4 prikazuje da broj govornih korisnika (eng. *Voice users*) ovisi o vrijednosti faktora govorne aktivnosti koji se u literaturi može pronaći označen grčkim slovom lambda (λ). Međutim ovo je točno samo za 12.2 [Kbit/s] govorne korisnike, ali ne i za podatkovne korisnike. Grafikonom 4 je prikazano da za rastuću količinom govornih korisnika vrijednost λ bi trebala biti što je manja moguća. Grafikonom 4 su prikazani rezultati simulacije u pogledu broja simultanih govornih korisnika za varirajući iznos λ i promjenu sektora.



Grafikon 4. Broj simultanih govornih korisnika u odnosu na govornu aktivnost u sektorskim ćelijama [20].

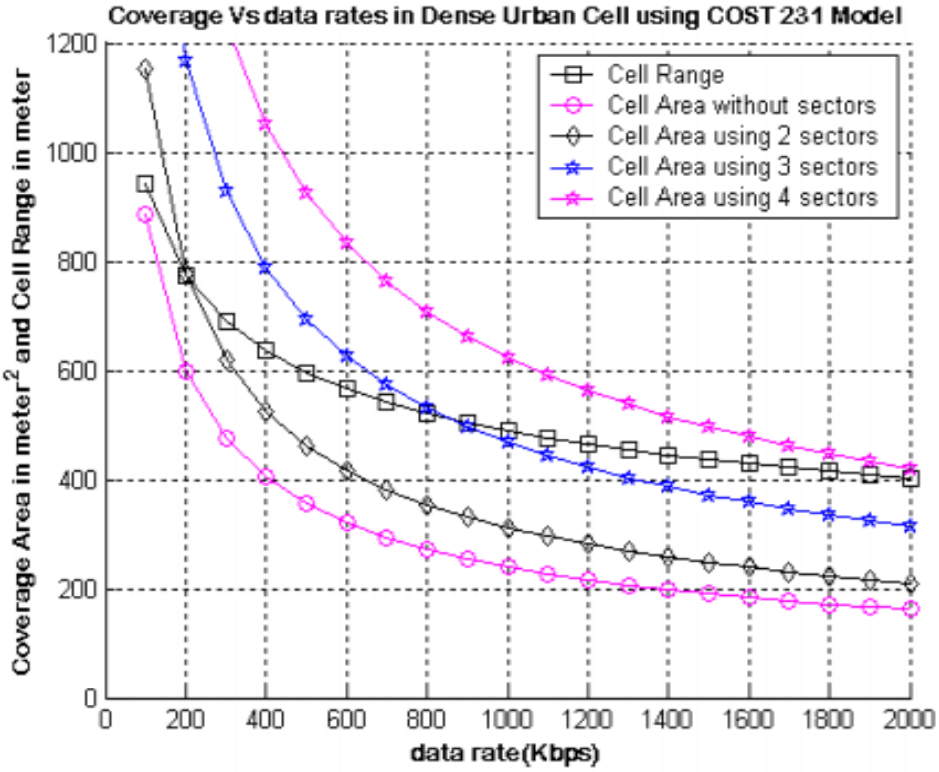
Tablica 9. Simulacijski rezultati za broj simultanih korisnika u odnosu na govornu aktivnost u sektorskim ćelijama

Voice activity factor	Korisnici bez sektora	Korisnici s 2 sektora	Korisnici s 3 sektora	Korisnici s 4 sektora	Korisnici s 6 sektora
0.2	228.31	455.63	682.94	910.26	1364.9
0.4	114.66	228.31	341.97	455.63	682.94
0.6	76.771	152.54	228.31	304.09	455.63
0.8	57.828	114.66	171.49	228.31	341.97
1	46.463	91.926	137.39	182.85	273.78

Izvor: 20

Potrebno je i promatrati odnos pokrivenosti i brzine prijenosa u gusto naseljenim gradskim područjima, gdje je operativna frekvencija 2000 MHz uz primjenu COST 231 Modela[2].

Na grafikonu 5 x os predstavlja brzinu prijenosa izraženu u Kbit/s, a y os predstavlja područje pokrivanja izraženo u m^2 s radijusom ćelije u metrima. Slikom 16 prikazano je da područje pokrivanja treba biti manje u slučaju većih brzina prijenosa, ali to je točno samo ako se područje ćelije promatra bez sektora. Upravo je ova pojava prikazana na grafikonu 5. Grafikon 5 također prikazuje da je za veće brzine prijenosa potrebno područje pokrivanja podijeliti na više sektora.



Grafikon 5. Područje pokrivanja u odnosu na brzine prijenosa u gustim gradskim područjima uz COST 231 model u sektorskim ćelijama [20].

Rezultati simulacije radi bolje preglednosti prikazani su tablicom 10.

Tablica 10. Simulacijski rezultati za odnos pokrivanja i brzina prijenosa u gustim gradskim područjima uz upotrebu COST 231 modela u sektorskim ćelijama

[2] COST 231 model je polu-empirijski model za izračun gubitka puta (eng. path loss). Preporučuje se za makro ćelije u gradskim i prigradskim područjima, te pokazuje dobre rezultate u proračunima za antene baznih stanica koje su locirane iznad visine krova. U usporedbi s prethodnim modelima postupak izračuna je detaljniji i uvodi četiri nova parametra: visinu zgrade, širinu ceste, udaljenost između zgrada, orijentaciju ceste, 0.

Brzina prijenosa [kbit/s]	Radijus ćelije [m]	Ćelija bez sektora [m^2]	Ćelija s 2 sektora [m^2]	Ćelija s 3 sektora [m^2]	Ćelija s 4 sektora [m^2]
200	773.67	598.57	778.14	1167.2	1556.3
400	635.43	403.77	524.9	78.7.34	1049.8
600	566.31	320.71	416.92	625.38	833.84
800	521.88	272.36	354.07	531.1	708.14
1000	489.83	239.94	311.92	467.88	623.84
1200	465.12	216.33	281.23	421.85	562.47
1400	445.19	198.2	257.66	386.49	515.31
1600	428.63	183.72	238.84	358.26	477.67
1800	414.53	171.83	223.38	335.07	446.76
2000	402.31	161.85	210.41	315.61	420.81

Izvor: 20

6.3. Simulacija 2 i rezultati simulacije 2

Sve simulacije u nastavku rada su izvršene za plan grada s dimenzijama 3 × 2 km. Za prolazak signala unutar zgrade promatraju se slijedeća gušenja signala:

- Vanjski zid - 15 dB
- Unutarnji zid - 5 dB
- Unutarnji razmak između zidova - 15 m.

U makro okruženju odabran je empirijski model za UMTS makroćelije. Antene baznih stanica smještene su na krovovima. Sve simulacije su napravljena s četiri različite usluge:

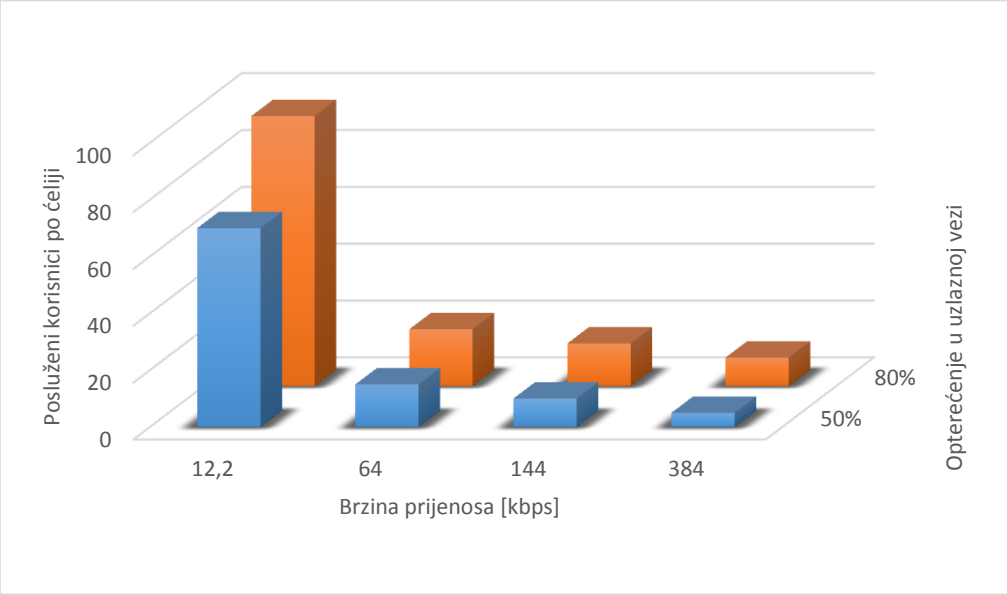
- Govor - 12.2 kbit/s
- Podatkovne usluge - 64, 144, i 384 kbit/s.

U simulacijama s miksom četiri usluge govor je dominantna usluga (oko 90 % svih korisnika u simulaciji koristi govornu uslugu) kako bi se što više približilo stvarnim životnim situacijama.

Mobilne stanice koriste omni antene s dobitkom od 0 dBi koje su smještene na visini od 1.5 m. Korisnici su distribuirani po slučajnom uzorku unutar područja promatranja. Različito opterećenje uplinka je korišteno u simulacijama: opterećenost od 50 % i 80 %.

6.3.1. Makro okruženje

Bazne stanice koriste 3 sektorska područja. Simulacijom su dobiveni rezultati koji pokazuju da postoji problem prolaska signala u prizemlje zgrada za podatkovne usluge velike brzine. Ovaj problem je riješiv upotrebom mikro ćelija. Grafikon 6 prikazuje prosječan kapacitet ćelije kroz broj posluženih korisnika po ćeliji gdje je vidljivo da je najveći broj takvih korisnika za govornu uslugu i to uz veće opterećenje linka, dok broj posluženih korisnika pada s povećanjem brzine usluge, odnosno bitno je manji za podatkovne usluge. Ovaj rezultat je razumljiv jer govor ima prioritet.

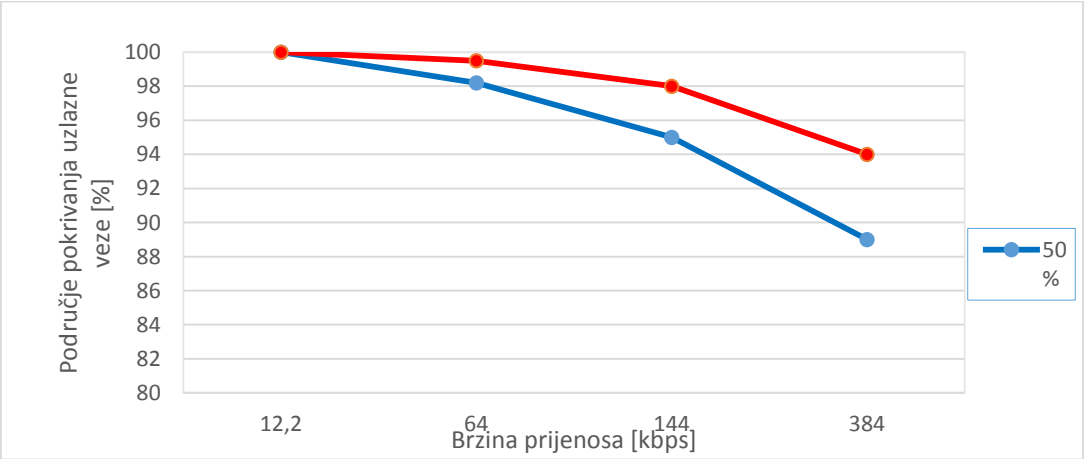


Grafikon 6. Broj posluženih korisnika po ćeliji

Izvor: 20.

6.3.2. Mikro okruženje

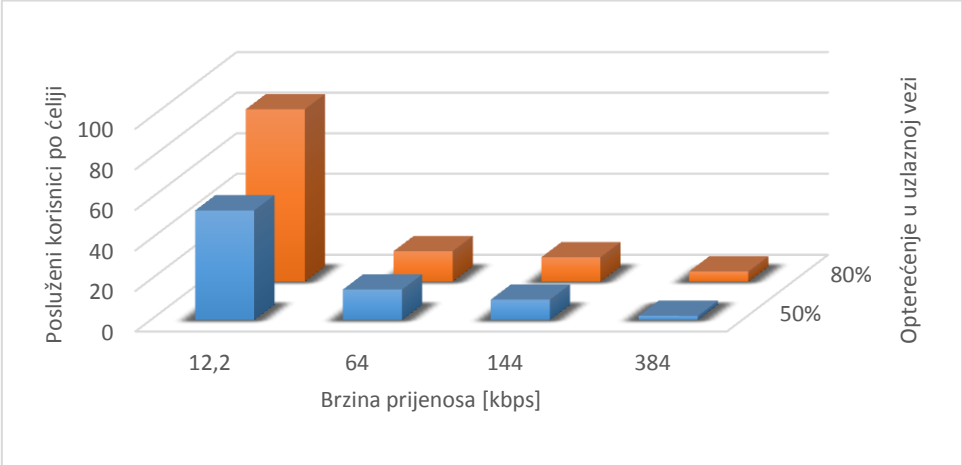
U simulaciji su mikro ćelije korištene kako bi se pokrilo područje prizemlja zgrada, ali i za povećanje kapaciteta na ulicama. Antene baznih stanica su smještene na visini od 4 m. Grafikon 7 prikazuje pokrivenost uzlazne veze kao funkciju opterećenja uzlazne veze i usluga, gdje se vidi zagušenje ćelije, odnosno pojavu poznatu pod nazivom „*cell breathing*“, koja označava konstantu promjenu dometa pokrivenosti kao posljedicu opterećenja, jer kad je ćelija jako opterećena ona se „smanjuje“, a promet se usmjerava na susjedne ćelije koje su manje opterećene.



Grafikon 7. Vjerojatnost pokrivanja uzlazne veze

Izvor: 21.

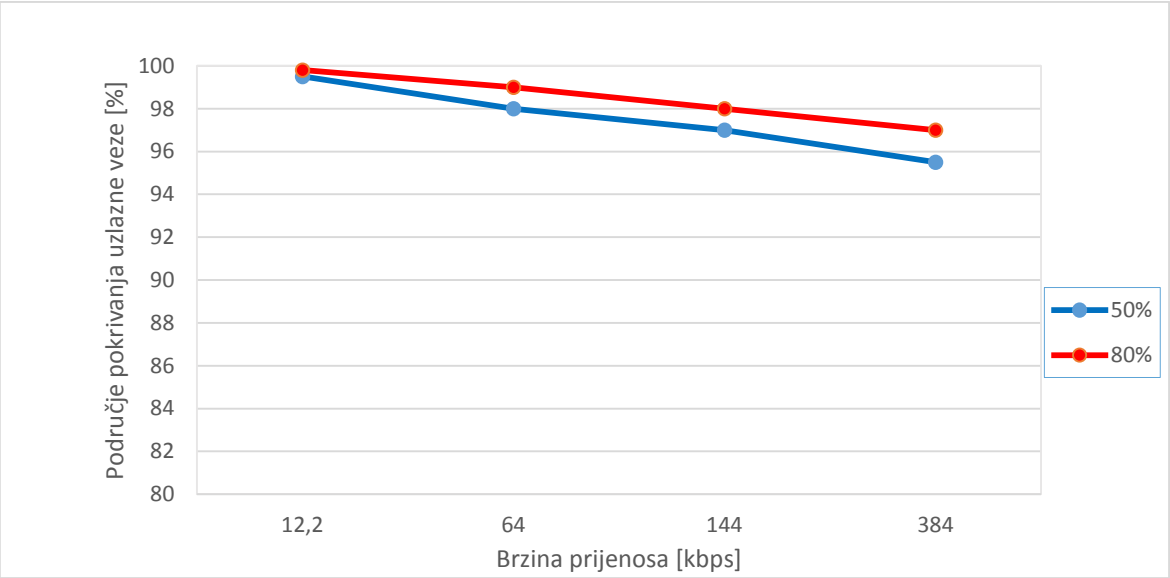
Grafikon 8 prikazuje prosječan broj posluženih korisnika kao funkciju brzine prijenosa i opterećenja uzlazne veze, gdje je vidljiv porast kapaciteta nauštrb područja pokrivanja.



Grafikon 8. Broj posluženih korisnika po ćeliji

Izvor: 21.

Kada se poveća broj čvorova B rezultati su prikazani slijedećim grafovima.

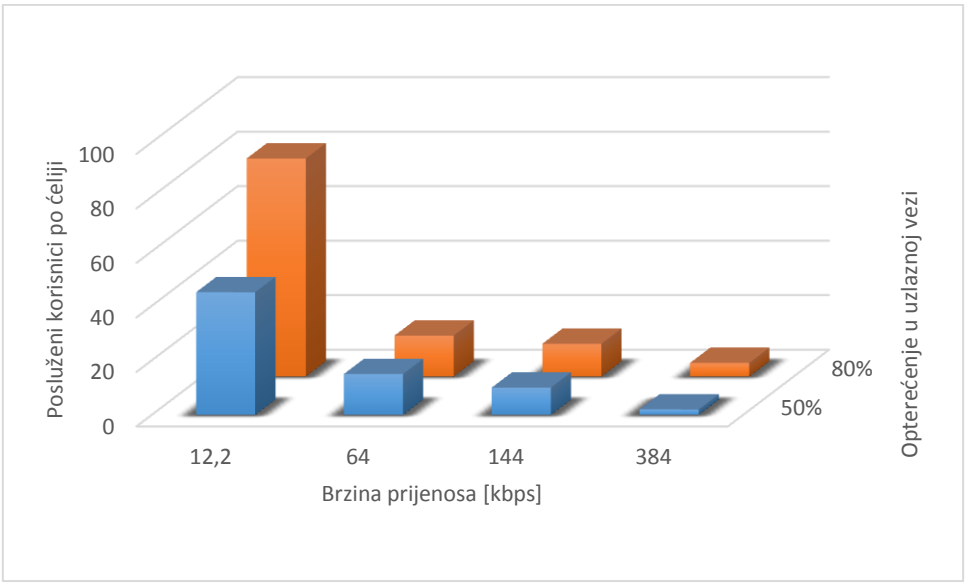


Grafikon 9. Vjerojatnost pokrivanja uzlazne veze

Izvor: 21.

Grafikonom 9. prikazano je kako je kako je vjerojatnost pokrivanja porasla povećanjem broja čvorova B.

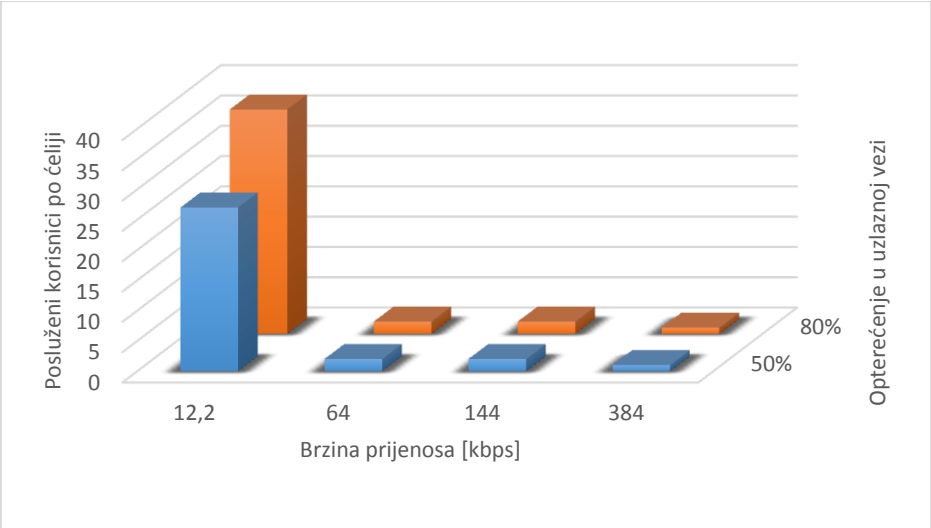
Grafikonom 10. prikazan je kapacitet kroz broj posluženih korisnika za različite usluge koje su promatrane neovisno jedna o drugoj.



Grafikon 10. Broj posluženih korisnika po ćeliji,

Izvor: 21.

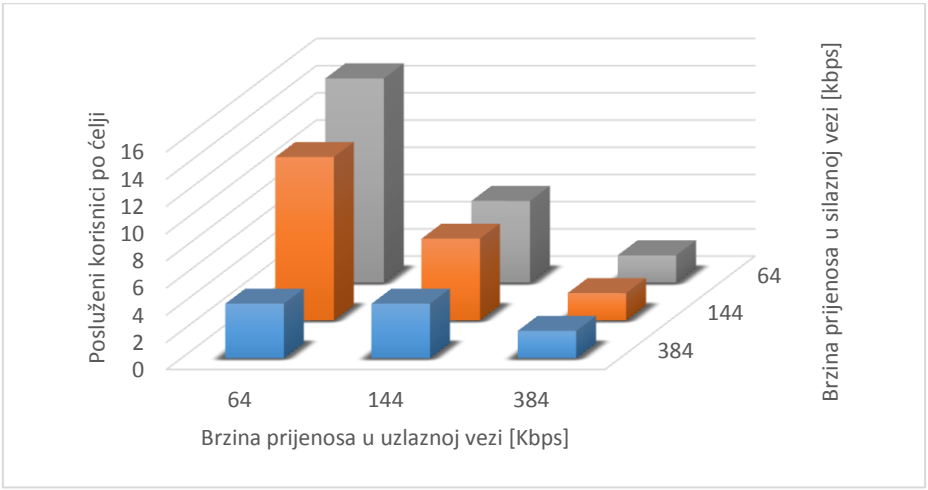
Grafikon 11 prikazuje kapacitet miks usluga te je vidljiv zamjetan pad broja korisnika u odnosu na grafikon 10.



Grafikon 11. Broj posluženih korisnika po ćeliji

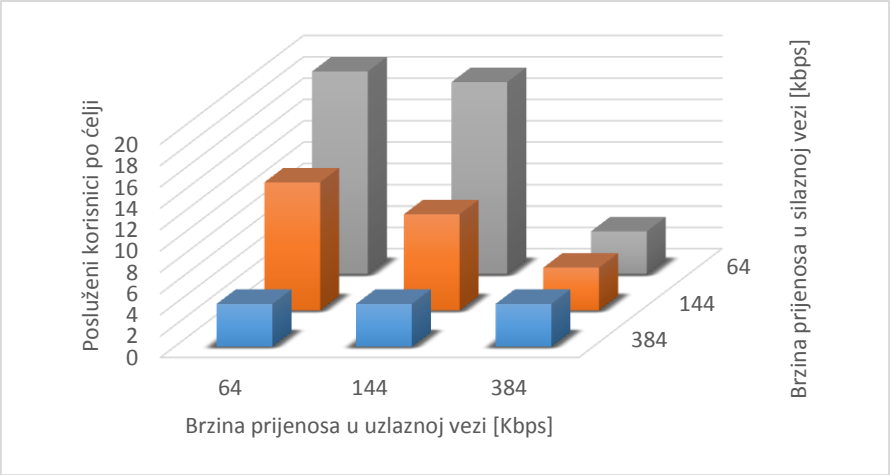
Izvor: 21.

Asimetrija u brzini prijenosa je također simulirana u uzlaznoj i silaznoj vezi i to za kombinaciju podatkovnih usluga. Rezultati su prikazani grafikonom 11 i grafikonom 12.



Grafikon 12. Broj posluženih korisnika po ćeliji za asimetrični prijenos i opterećenje uzlazne veze od 50 %, Izvor: 21.

Iz rezultata s grafikona 12 vidljivo je da je kapacitet mreže ograničen u uzlaznoj vezi za slučaj 50% opterećenja. S grafikona 13 može se uočiti da je kapacitet mreže više ograničen u silaznoj vezi u slučaju 80% opterećenja.



Grafikon 13. Broj posluženih korisnika po ćeliji za asimetrični prijenos i opterećenje uzlazne veze od 80%,

Izvor: 21.

6.3.3. Kombinacija mikro i makro okruženja

Rezultati simulacije kombinacije makro i mikro okruženja prikazani su tablicom 9 iz koje je vidljivo da su rezultati u pogledu pokrivenosti puno bolji u slučaju kombiniranog okruženja, nego kada se promatra makro ili mikro okruženje pojedinačno.

Tablica 11. Rezultati simulacije za kombinirano okruženje

		Data rate [kbps]			
		12.2	64	144	384
Macrocells - 50% UL loading	Served users per cell	44.03	13.39	6.73	2.82
	Served users per cell - mix	34.18	1.48	1.12	0.39
	UL coverage probability [%]	95.82	87.91	84.06	79.01
Micro-cells - 80% UL loading	Served users per cell	119.56	26.26	13.37	5.78
	Served users per cell - mix	63.07	2.78	2.37	1.26
	UL coverage probability [%]	88.77	79.73	75.54	70.08
Total	UL coverage probability [%]	98.97	95.81	93.58	90.13

Izvor: 21

Iz rezultata simulacije vidljivo je da je u mikro ćelijama moguće veće opterećenje bez kritičnog utjecaja na područje pokrivanja. Također se može zaključiti da se kapacitet ćelije može povećati pogodnim smještajem antena.

7. Zaključak

U ovom diplomskom radu uz opće značajke UMTS mreže prikazane su simulacije i rezultati simulacija s obzirom na kapacitet i pokrivenost ćelije.

Opisana je pokrivenost ćelije te je bitno napomenuti da mobilna ćelija može biti podijeljena na veći broj geografskih područja koja se nazivaju sektorima. Cilj simulacije s obzirom na pokrivenost je pokazati koliko korisnika može biti posluženo u ćeliji po određenoj brzini ovisno radi li se radi o bezsektorskoj ćeliji ili onoj s dva ili više sektora. Također su uzete u obzir i opisane situacije s obzirom na međućelijsku interferenciju, handover faktor i govornu aktivnost jer predstavljaju bitan faktor u planiranju broja korisnika. Simulacija kapaciteta podijeljena je na makro i mikro okruženje gdje su prikazane brzine prijenosa u silaznom i uzlaznom smijeru.

Iako povezanost mobilnih uređaja i neometan tok podataka 3G mreža označava velik korak naprijed u odnosu na prošle generacije, još uvijek postoji prostor u poboljšavanju performaci s obzirom na kapacitet i pokrivenost mreže te se raznim rješenjima nastoji dodatno unaprijediti posluživanje prijemnika u istoj ćeliji preko zajedničkog prijenosnog signala ili nositelja, čime se čuvaju radio resursi.

Postoje različiti zahtjevi za kapacitetom resursa s obzirom na vrstu usluge pa su u tu svrhu razvijeni principi posluživanja koji značajno poboljšavaju djelotvornost koja se dobiva uvođenjem nekoliko prioriteta klase usluge.

Uvođenjem 3G sustava došle su i nove usluge zasnovane na paketskom prijenosu podataka uz puno veće brzine nego u dotadašnjim mobilnim sustavima te uvođenje novih kvalitetnih terminala koji korisniku osim govora omogućuju video telefoniju, surfanje internetom, itd. 3G tehnologije su prisutne više od desetljeća te postoji još prostora za daljnji razvoj mobilnih sustava, a rješenje se nalazi u novim 4G, 5G tehnologijama koje već omogućavaju razvijenije višemedijske usluge s još većim brzinama prijenosa podataka.

LITERATURA

[1] 3rd Generation Partnership Project: *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); UTRAN Iu Interface RANAP Signalling*, version 3.1.0 Release 1999; Sophia Antipolis Cedex – France, 2000-03.

[2] Holma, H., Toskala, A.: *WCDMA for UMTS*, Radio Access for Third Generation Mobile Communications, Third edition, Finland, 2004.

[3] Kaaranen, H., Ahtiainen, A., Laitinen, L., Naghian S., Niemi V.: *UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services, 2nd Edition*, John Wiley & Sons, LTD, England, 2005.

[4] 3rd Generation Partnership Project: *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)*, Network Architecture version 3.6.0 Release 1999; Sophia Antipolis Cedex – France; 2002.

[5] Cheng, S. M., Lina, P., Tua. G.H., Fua L.C., Liang. C. F.: *An intelligent GGSN dispatching mechanism for UMTS*, Computer Communications, Vol. 28., p. 947–955. 2005.

[6] Lobley N. C.: *GSM to UMTS, architecture evolution to support multimedia,* BT Technology Journal, vol. 19, p.38—47, 2001.

[7] Malić N.: *Univerzalni sustav pokretnih telekomunikacija*; Revija Br. 2, 2003 – Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Hrvatska, 2003.

[8] Internet stranica:www.itu.int/osg/imt.../docs/What_is_IMT2000.ppt(15.6.2016)

[9] Internet stranica:https://www.youtube.com/watch?v=XJ81CuujwYE(16.6.2016)

[10] Johnson, C.:*Radio Access Networks for UMTS*, Principles and Practice, Engleska, 2008.

[11] Internet stranica:https://drakic.files.wordpress.com/2012/02/06074_mobkom.pdf (18.6.2016)

[12] Zorić S*.: QoS signalizacija u IP višemedijskom podsustavu UMTS-a,* BH Telecom d.d. Sarajevo, 2008.

[13] Internet stranica: https://blogs.manageengine.com/network/netflowanalyzer/2009/03/05/ netflow- based-application-detection-and-qos-implementation-2-of-4.html (21.6.2016)

[14] Gardašević, G.: *Adaptacija aplikacionih qos protokola u 3g/4g mobilnim mrežama*, Elektrotehnički fakultet u Banjaluci, 2008.

[15] Xylomenos, G., Vogkas, V., Thanos, G.: *The multimedia broadcast/multicast service***,** Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 18, p. 255 – 265, 2008.

[16] Redana, S., Capone, A.*:Received Power based Call Admission Control Techniques for UMTS Uplink,* IEEE Internet Computing, vol. 4, p. 2206 – 2210.

[17]Internet stranica:http://www.it-modul.rs/07/2013/mimo-tehnologija/(21.6.2016)
[18]Internet stranica: http://tec.gov.in/pdf/Studypaper/Test%20Procedure%20EM%20Fields%20From%20BTS%20Antennae.pdf (26.6.2016)
[19] Katalinić, A.:*Modeliranje radijskog kanala za MIMO sustave*, Hrvatska agencija za poštu i elektroničke komunikacije, Zagreb, Hrvatska, 2009.
[20] Fazlul Haque, A.K.M., Kyum, A. M. M., Al Sadi B., Kar, M., Hossain, F.: *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 2, no. 6, 2011.
[21] Holiš, J., Pechač, P.: *Simulation of UMTS Capacity and Quality of Coverage in Urban Macro- and Microcellular Environment*, Radioengineering, Vol. 14, no. 4, 2005.
[22] Internet stranica: http://www.sss-mag.com/ebn0.html (11.9.2016)
[23] Internet stranica: http://www.xirio-online.com/help/en/cost231.html (12.9.2016)

POPIS KRATICA

APN - Access Point Name

ARP - Allocation and Retention Parameters

AUC - Authentification Centre

BICC - Bearer Independent Call Control

BSC - Base station controler

BTS - Base Tranceiver Station

CS - Circuit Swithed

CBS - Cell Broadcast Service

DNS - Domain Name Server

DS-CDMA - Direct-Sequence Code Division Multiple Access

FBI - Feedback Information

FDD - Frequency Division Duplex

FLUTE - File Delivery over Unidirectional Transport Protocol

GGSN - Gateway GPRS Support Node

GMLC - Gateway Mobile Location Center

GMSC - Getway MSC

HLR - Home Locatio Register

IMEI - International Mobile Equipment Identity

IMSI - Unique Identity Of The Subscriber

IMS - IP Multimedia Subsystem

IMT-2000 - . International Mobile Telephony 2000

MGCP - Media Gateway Control Protocol

MIMO - Multiple-Input and Multiple-Output

MMS - Multimedia Messaging Service

ME - Mobile Equipement

MSISDN - Telephone Number Of The Subscriber

MGW - Media Gateway

MSC - Mobile-service Switching Centre

MSRN - Mobile Station Roaming Number

MT - Mobile Termination

OVSF - Orthogonal Variable Spreading Factor

PDN - Packet Data Network

PLMN - Public Land Mobile Network

PS - Packet Switched

RNC - Radio Network Controller

RNS - Radio Network Sub-system

RRCS - Radio Resource Control Signalling

RTP - Realtime Transport Protocol

SC - Service Code

SDD - Space Division Duplex

SDP - Session Description Protocol

SIP - Signaling Initial Protocol

SIR - Signal-to-Interference Ratio

SISO - Single Input Single Output

SGSN - Serving GPRS Support Node

SRNC - Serving RNC

TE - Terminal Equipment

TPC - Transmission Power Control

UMTS - Universal Mobile Telecommunication System

UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network

USIM - Universal Subscriber Identity Module

VLR - Visitor Location Register

WCDMA - Wideband Code Division Multiple Access

QoS - Quality of Service

QPSK - Quadrature Phase Shift Keying

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz jezgrene mreže na entitetima i sučeljima. 4
Slika 2. Uspostavljanje tunela za PDP kontekst. 7
Slika 3. UTRAN arhitektura. 9
Slika 4. Glavni entiteti pristupne mreže 11
Slika 5. Radio sučelja od IMT 2000 14
Slika 6. Binarni prikaz množenja signala korisničkih podataka s kodom širenja 16
Slika 7. Prikaz okvira uzlaznog DPCCH kanala 17
Slika 8. Prikaz FDD i TDD pojasa 19
Slika 9. QoS diferencijacija s dvije klase sa zajamčenom brzinom prijenosa 20
Slika 10. Evolucija video usluge 22
Slika 11. Prikaz riješenja u UMTS mreži s i bez MBMS-a 28
Slika 12. MBMS arhitektura 29
Slika 13. Životni ciklus *brodcast* i *multicast* sesije 30
Slika 14. Shema MIMO sustava 32
Slika 15. Pokrivanje područja na principu ćelija 34
Slika 16. Različite klase usluga u odnosu na najveću udaljenost 36
Slika 17. UMTS ćelija 36

POPIS TABLICA

Tablica 1. Dostupnost pojedinog pojasa koja ovisi o postojećoj dodjeli spektra i strategiji nacionalnog regulatora 17
Tablica 2. Različiti zahtjevi za određenu kvalitetu usluge 21
Tablica 3. Protokoli za MBMS streaming aplikacije 23
Tablica 4. Klase usluga 35
Tablica 5. K vrijednosti 37
Tablica 6. Simulacijski rezultati za broj simultanih 384 [kbit/s] korisnika u odnosu na Eb/No u sektorskim ćelijama 38
Tablica 7. Rezultati simulacije za broj simultanih korisnika u odnosu na međućelijsku interferenciju u sektorskim ćelijama 39
Tablica 8. Simulacijski rezultati za broj simultanih korisnika u odnosu na soft handover faktor u sektorskim ćelijama 40
Tablica 9. Simulacijski rezultati za broj simultanih korisnika u odnosu na govornu aktivnost u sektorskim ćelijama 41
Tablica 10. Simulacijski rezultati za odnos pokrivanja i brzina prijenosa u gustim gradskim područjima uz upotrebu COST 231 modela u sektorskim ćelijama 43
Tablica 11. Rezultati simulacije za kombinirano okruženje 48

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1.Broj simultanih 384 [kbit/s] korisnika u odnosu na Eb/No u UMTS ćeliji.....37
Grafikon 2. Broj simultanih 384 [kbit/s] korisnika u odnosu na međućelijsku interferenciju u sektorskim ćelijama..... 39
Grafikon 3. . Broj simultanih 384 [kbit/s] korisnika u odnosu na soft handover faktor u sektorskim ćelijama.....40
Grafikon 4. Broj simultanih govornih korisnika u odnosu na govornu aktivnost u sektorskim ćelijama 41
Grafikon 5. Područje pokrivanja u odnosu na brzine prijenosa u gustim gradskim područjima uz COST 231 model u sektorskim ćelijama 42
Grafikon 6. Broj posluženih korisnika po ćeliji 44
Grafikon 7. Vjerojatnost pokrivanja uzlazne veze 45
Grafikon 8. Broj posluženih korisnika po ćeliji 45
Grafikon 9. Vjerojatnost pokrivanja uzlazne veze 46
Grafikon 10. Broj posluženih korisnika po ćeliji 46
Grafikon 11. Broj posluženih korisnika po ćeliji 47
Grafikon 12. Broj posluženih korisnika po ćeliji za asimetrični prijenos i opterećenje uzlazne veze od 50 % 47
Grafikon 13. Broj posluženih korisnika po ćeliji za asimetrični prijenos i opterećenje uzlazne veze od 80% 48