Modeliranje i dimenzioniranje radio sučelja u 3G mobilnim mrežama

Fiak, Eugen

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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:119:344944

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Eugen Fiak

MODELIRANJE I DIMENZIONIRANJE RADIO SUČELJA U 3G MOBILNIM MREŽAMA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

MODELIRANJE I DIMENZIONIRANJE RADIO SUČELJA U 3G MOBILNIM MREŽAMA

MODELLING AND DIMENSIONING OF THE RADIO INTERFACE IN 3G MOBILE NETWORKS

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

Student: Eugen Fiak, 0135227447

Zagreb, rujan 2015.

MODELIRANJE I DIMENZIONIRANJE RADIO SUČELJA U 3G MOBILNIM MREŽAMA

SAŽETAK

Potreba za većim brzinama prijenosa podataka donijela je brži razvoj treće generacije mobilnih sustava. Razvojem novog sučelja otvorile su se nove mogućnosti za mobilne multimedijalne usluge, odnosno, cilj treće generacije je pomaknuti težište mobilne telefonije s govorne na podatkovne usluge. Treća generacija mobilnih mreža nudi korisniku nove, atraktivne usluge poput video poziva ili korištenja mobilnog Interneta s većim brzinama. Ovim radom prikazana je analiza značajki prijenosa podataka paketskim modom u mobilnoj mreži te primjenjivi modeli za dimenzioniranje radio sučelja kod UMTS mreže s posebnim naglaskom na važnost upravljanja radio resursima te opis modeliranja raspodjele resursa u radio sučeljima s obzirom na vrstu kapaciteta mobilnog sustava.

KLJUČNE RIJEČI: 3G; UMTS; HSDPA; HSUPA; paketska mreža; ćelijski sustav

MODELLING AND DIMENSIONING OF THE RADIO INTERFACE IN 3G MOBILE NETWORKS

SUMMARY

The need for higher data transfer rates has brought rapid development of third-generation systems. The development of new interfaces have opened up new possibilities for mobile multimedia services, in other words, the goal of the third generation is to move the focus of mobile voice to packet services. Third generation of mobile networks offers user a new, attractive services such as video calls, or use mobile Internet with higher speed. This work presents the analysis of the characteristics of data transmission packet mode in the mobile network and applicable models for dimensioning radio interface in UMTS network with particular emphasis on the importance of managing radio resources and a description of modeling the distribution of resources in the radio interfaces based on the type of capacity of mobile systems.

KEY WORDS: 3G; UMTS; HSDPA; HSUPA; packet networks; cellular system

SADRŽAJ

1 UVOD 1

2 ARHITEKTURA 3G MOBILNIH SUSTAVA 3

2.1 Arhitektura UMTS mreže 5

2.2 Jezgrena mreža UMTS sustava 7

2.3 Pristupna mreža UMTS sustava 10

3 UPRAVLJANJE RADIO RESURSIMA U UMTS SUSTAVU 12

3.1 Kontrola snage 12

3.2 Kontrola prekapčanja (*Handover*) 14

3.2.1 Meko prekapčanje 14

3.2.2 Mekše prekapčenje 15

3.3 Nadzor pristupa poziva 16

3.4 Raspoređivač paketa 16

3.5 Kontrola opterećenja 17

4 PRIJENOS PODATAKA PAKETSKIM MODOM U MOBILNIM MREŽAMA 18

4.1 Prijenos podataka velikom brzinom paketnim modom u pristupnoj mreži na silaznoj vezi (HSDPA) 18

4.2 Prijenos podataka velikom brzinom paketnim modom u pristupnoj mreži na uzlaznoj vezi (HSUPA) 20

4.3 Usluge UMTS sustava 21

5 MODELI ČVOROVA U PAKETSKIM MREŽAMA 23

5.1 Osnovne značajke sustava posluživanja 23

5.1.1 Parametri sustava posluživanja 23

5.1.2 Klasifikacija sustava s čekanjem 24

5.1.3 Kendallove oznake 25

5.2 Little – ov zakon 26

5.3 Model M/M/1 sustava s jednim poslužiteljem i neograničenim redom 29

5.3.1 Pretpostavke modela 29

5.3.2 Dijagram procesa posluživanja 30

5.3.3 Karakteristike M/M/1 sustava 30

5.4 Model M/M/m sustava s *m* poslužitelja i neograničenim redom čekanja 31

5.4.1 Pretpostavke modela 31
5.4.2 Dijagram procesa posluživanja 32
5.4.3 Prometne karakteristike M/M/m sustava 33
5.5 Sustav M/D/1 34
6 MODELIRANJE I DIMENZIONIRANJE RADIO SUČELJA 35
6.1 Modeliranje raspodjele resursa u radio sučelju 35
6.1.1 Tvrdi i meki kapacitet mobilnih sustava 35
6.1.2 Raspodjela resursa u mobilnim sustavima s tvrdim kapacitetom 36
6.1.3 Raspodjela resursa u mobilnim sustavima s mekim kapacitetom 37
6.1.4 Raspodjela jedinica u radio sučelju 38
6.2 Ćelijski sustav s tvrdim i mekim kapacitetom koji poslužuje samo jednu vrstu usluge 40
6.2.1 Ćelijski sustav s tvrdim kapacitetom koji poslužuje samo jednu vrstu usluge 40
6.2.2 Erlangov model radio sučelja s tvrdim kapacitetom 41
6.2.3 Ćelijski sustav s mekim kapacitetom koji poslužuje samo jednu vrstu usluge 42
6.2.4 Erlangov model radio sučelja s mekim kapacitetom 42
7 ZAKLJUČAK 44
Popis literature 45
Popis ilustracija 46
Popis kratica 47
Popis tablica 50

1 UVOD

Razvojem tehnologija, u telekomunikacijskom smislu, pojavljuju se prve ćelijske mreže (npr. *Nordic Mobile Telecommunication* – NMT, *Advanced Mobile Phone System* – AMPS) poznate kao mreže prve generacije (1G) zasnovane na analognom višestrukom pristupu frekvencijskom podjelom (*Frequency Division Multiple Access* – FDMA) i govornim uslugama, razvijane su sedamdesetih godina prošlog stoljeća, a komercijalna upotreba pokrenuta je početkom osamdesetih godina (NMT 1981. godine). Već kod mreža druge generacije, globalni sustav za mobilnu komunikaciju (*Global System for Mobile Communication* – GSM), korištenih za digitalni prijenos govora i podataka korištenjem višestrukog pristupa s vremenskom raspodjelom (*Time Division Multiple Access* – TDMA) ili višestrukog pristupa s kodnom raspodjelom (*Code Division Multiple Access* – CDMA), ciklus razvoja se skraćuje te započinje uvođenje paketskog prijenosa podataka u drugu generaciju (2G) mobilnih mreža (isprva prijenos podataka paketskim modom u GSM mreži (*General Packet Radio Services* – GPRS)), kasnije i prijenos podataka u GSM mreži većim brzinama (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution* – EDGE).

Potreba za trećom generacijom mobilnih sustava proizašla je iz želje da se integriraju žični i bežični sustavi, uključujući satelitske mreže, u univerzalni multimedijski širokopojasni pokretni sustav. Razvojem treće generacije omogućena je konvergencija tri dosad odvojena područja usluga, a to su:

- audio/video/*data* područje (radio i TV sadržaja na zahtjev)
- konvencionalno telekomunikacijsko područje (govor, ISDN usluge)
- računalno područje usluga (igre, *multimedia*, Internet sadržaji).

Potreba za upravljanjem kapacitetom proizašla je iz zahtjeva koji su postavljeni pred trećom generacijom, kao što su osiguranje visoke kvalitete usluga, dinamičko dodjeljivanje resursa, fleksibilna brzina prijenosa podataka do 2 Mbit/s itd.

Naslov završnog rada je: **Modeliranje i dimenzioniranje radio sučelja u 3G mobilnim mrežama.** Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod

2. Arhitektura 3G mobilnih sustava

3. Upravljanje radio resursima u UMTS sustavu

4. Prijenos podataka paketskim modom u mobilnim mrežama

5. Modeli čvorova u paketskim mrežama

6. Modeliranje i dimenzioniranje radio sučelja

7. Zaključak.

U drugom poglavlju ukratko je opisana treća generacija mobilnih sustava (3G) te je priložena arhitektura univerzalnog mobilnog telekomunikacijskog sustava (*Universal Mobile Telecommunication System* - UMTS) te arhitektura jezgrene i pristupne mreže UMTS sustava.

Treće poglavlje bavi se upravljanjem radio resursima u UMTS sustavu te obuhvaća najvažnije tehnike upravljanja kao što je kontrola snage i opterećenja, vrste prekapčanja, nadzor pristupa poziva te raspoređivač paketa.

Četvrto poglavlje objašnjava prijenos podataka paketskim modom u pristupnoj mreži na silaznoj i uzlaznoj vezi te usluge UMTS sustava.

U petom poglavlju opisane su osnovne značajke sustava posluživanja, *Little – ov* zakon te modeli posluživanja.

U šestom poglavlju razmatra se modeliranje raspodjele resursa u radio sučelju kao i raspodjela resursa s tvrdim i mekim kapacitetom u mobilnim mrežama te objašnjava ćelijske sustave s tvrdim i mekim kapacitetom i njima primjeren *Erlangov* model.

2 ARHITEKTURA 3G MOBILNIH SUSTAVA

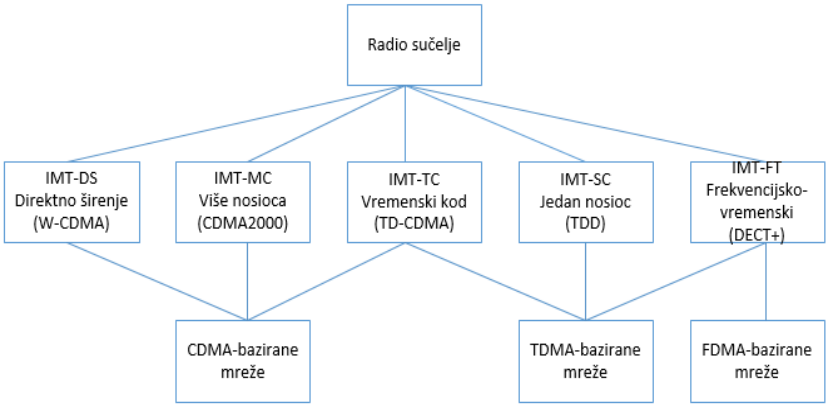
Međunarodni telekomunikacijski savez (*International Telecommunication Union* - ITU), 1985. godine, definira standard pod imenom Međunarodni mobilni telekomunikacijski sustav 2000 (*International Mobile Telecommunication* 2000 - IMT-2000) koji definira rad budućih pokretnih sustava s multimedijskim uslugama u frekvencijskom području 2000 MHz, te će sadržavati sljedeće standarde:

- pristup Internetu
- prijenosne brzine:
  - prijenos do 2 Mb/s unutar građevina te za mobilne stanice brzine manje od 10 km/h
  - 384 kb/s za terminalne uređaje koji se kreću brzinom do 120 km/h u naseljenim područjima
  - 144 kb/s u nenaseljenim područjima i u slučaju gibanja bržeg od 120 km/h
- prijenosni modovi komutacija kanala i komutacija paketa
- usluge u stvarnom vremenu te multimedijalne i usluge temeljene na lokaciji korisnika
- istodobno korištenje više usluga
- globalni *roaming*
- dostupnost usluga neovisno od trenutne lokacije korisnika te radio sučelja koje koristi
- visoki stupanj zaštite prijenosnih podataka
- prijelaz bez prekida sa druge na treću generaciju [1].

Odredba za standarde za sustav koji će zadovoljiti, prethodno navedenim uvjetima, dodijeljena je regionalnim organizacijama za normizaciju čiji je glavni zadatak bio fokusiran na radio sučelja za zemaljske sustave. Konačno, tri različita standarda radio sučelja bila su uključena u IMT-2000:

- UMTS:
  - UMTS zemaljski radio pristup (*UMTS Terrestrial Radio Access* - UTRA)
  - CDMA koji radi kao *duplex* sa frekvencijskom podjelom kanala (*Frequency Division Duplex* - FDD) i vremenskom podjelom kanala (*Time Division Duplex* - TDD)

- višestruki pristup s kodnom podjelom s više nositelja (*Multi-Carrier Code Division Multiple Access* – MC CDMA) – CDMA višetonski prijenos (sustav predstavljen kao američki CDMA 2000)
- univerzalne bežične komunikacije 136 (*Universal Wireless Communication* 136 - UWC 136) – sustav baziran na usklađivanju privremenog standarda (*Interim Standard*–136 – IS 136[1]) i GSM / EDGE standarda. Slika 1 prikazuje tehnike radio prijenosa bazirane na zemaljskom segmentu IMT-2000 [1].

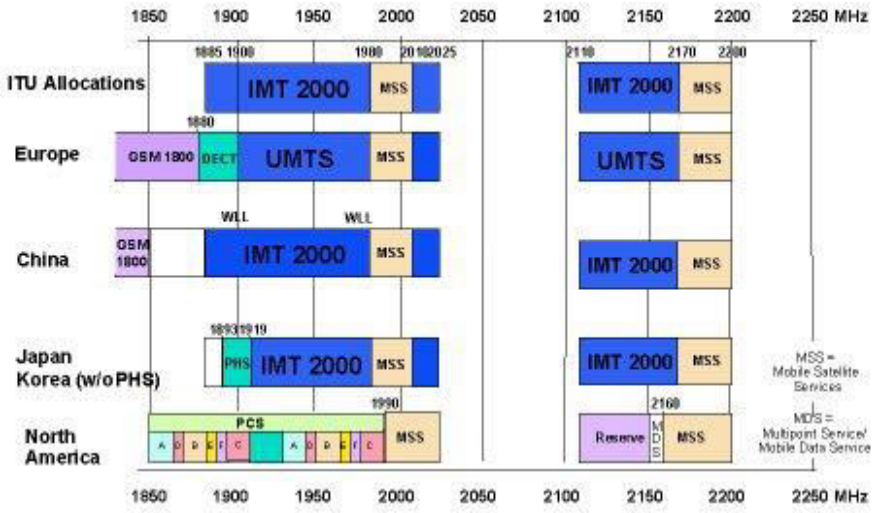


Slika 1:Tehnike radio prijenosa zemaljski bazirane u IMT-2000 sustavu
Izvor:[2]

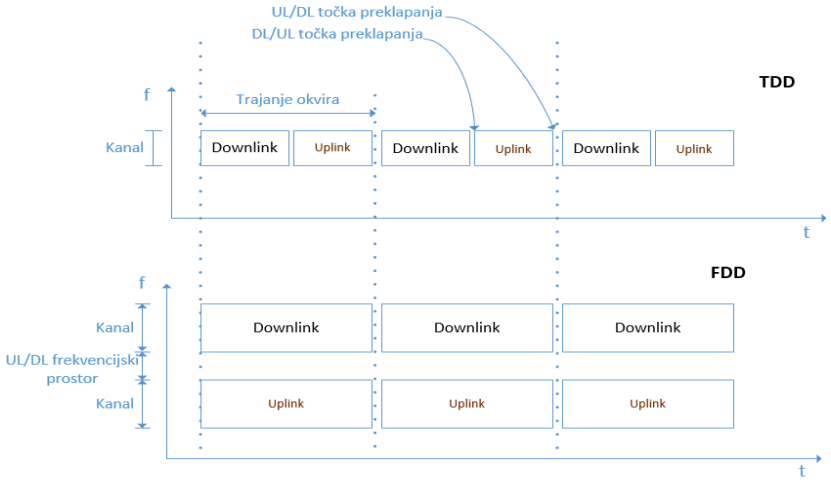
Plan preraspodjele za uporabu radio frekvencijskih pojaseva za UMTS sustave u svijetu uključujući sljedeće frekvencije: 1900-1980 MHz, 2010-2025 MHz, 2110-2170 MHz, prikazano na slici 2 [1].

Prijenosne tehnike za integrirane nosioce CDMA prihvaćene su kao standard za bežično sučelje za Europu. Sustav može raditi na dva načina: kao FDD i TDD *duplex* (slika 3). FDD način omogućuje odvojene kanale od po 5 MHz, i za link od bazne stanice do mobilnog korisnika (*downlink*), i od korisnika do bazne stanice (*uplink*). U TDD načinu, kanal od 5 MHz dijeljen je između na *uplink* i *downlink*.

[1]Sustav koji koristi TDMA nad radio sučeljem sličnom onome koji se koristi u GSM-u.



Slika 2:Frekvencijski plan UMTS sustava, [3]



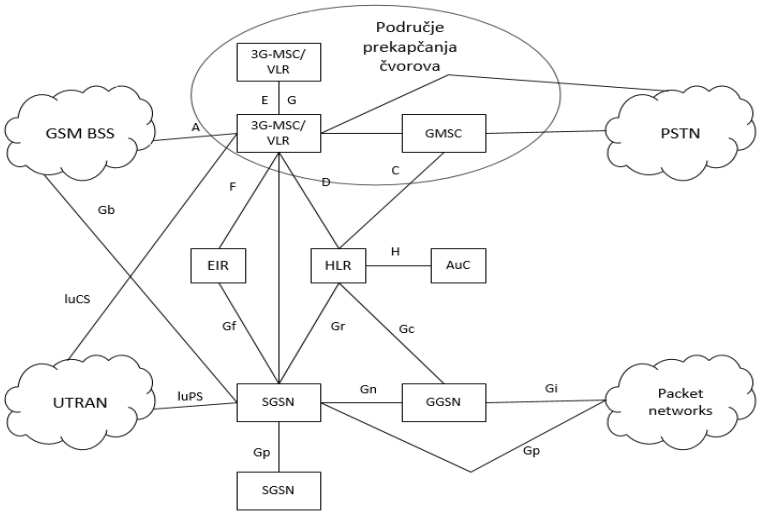
Slika 3:Duplex za FDD i TDD način prijenosa
Izvor:[4]

U početnoj fazi na UMTS sustavu, samo je FDD način bio strogo definiran. TDD način kasnije je dodan za neuparene frekvencijske raspone dodijeljene od strane ITU za UMTS sustav kako bi bio u potpunosti iskorišten. Zbog potencijalno veće širokopojasne propusnosti i tehnološkog napretka sustava s frekvencijskom podjelom *duplex*, telekom operatori odlučili su implementirati TDD.

2.1 Arhitektura UMTS mreže

Prilikom dizajniranja sučelja UMTS mreže funkcionalni elementi mreže grupirani su u jezgrenu mrežu (*Core Network* - CN) koja je odgovorna za komutaciju i usmjeravanje poziva i podatkovnih veza s vanjskim mrežama te UMTS zemaljsku radio pristupnu mrežu (*UMTS Terrestrial Radio Access Network* - UTRAN), koja upravlja svim radio funkcionalnostima. Također, vrlo bitna odluka bila je kreiranje takve arhitekture koja dopušta potpunu

modularnost kako bi se pružatelji usluga zaštitili od monopola jednog proizvođača opreme te kreirati fleksibilnu infrastrukturu koja podržava različite tipove usluga. Prva verzija mrežne arhitekture UMTS – a, R99 (UMTS predstavljen 1999. godine), odobrena je od strane 3GPP u ožujku 2000. godine. Jezgra mrežne strukture u ovoj verziji ne razlikuje se previše od mrežne strukture GSM/GPRS što je u skladu s usvojenom strategijom evolucijske tranzicije s 2G na 3G (slika 4).



Slika 4:Mrežna arhitektura UMTS sustava pod verzijom R99
Izvor:[1]

Funkcije radio mreže UTRAN provode se pomoću dva uređaja: bazna stanica čvor B (*Node* B) i modul za upravljanje radio postajama (*Radio Network Controller* – RNC). Ti elementi povezani su *lub*[2] sučeljem.

RNC je odgovoran za upravljanje mrežnim resursima UTRAN mreže. Glavne funkcionalnosti RNC modula su:

- raspodjela resursa na određene mobilne stanice
- kontrola pristupa mreži (*Admission Control* – AC)
- kontrola mrežnog opterećenja (*Load Control* – LC)
- kontrola snage (*Power Control* – PC) – vanjska petlja
- prebacivanje konekcije između samostalnih čvorova B
- šifriranje informacija na radio vezi
- raspodjela kanalskih i izokrenutih kodova

[2] Zemaljsko sučelje između čvora B i RNC.

- konsolidacija izmjerenih rezultata primljenih od strane čvora B i mobilne stanice.

RNC kontroler povezan je s komutacijskim čvorištem mobilne mreže (*Mobile Switching Centre* - MSC) sučeljem luCS[3] i čvorom podrške posluživanja GPRS usluge (*Serving GPRS Support Node* – SGSN) sučeljem luPS[4]. RNC kontroler može zadovoljiti sljedeće funkcionalnosti:

- RNC pod čijim nadzorom je korisnička oprema (*Serving RNC* – SRNC) – kroz sučelje lu[5] usmjerava promet na jezgrenu mrežu, a u slučaju kada služi kao kontroler RNC (*Controlling RNC* – CRNC), kontrolira operacije bazne stanice podržane od strane RNC
- *(drift* RNC - DRNC) – RNC pod čijim nadzorom se nalaze bazne stanice (*Node* B) koje su potencijalni kandidati na koje će se korisnička oprema prespojiti kada ne bude više imao zadovoljavajuće uvjete na kojoj se trenutno nalazi. Podržava SRNC, odgovoran je za efekt raznovrsnosti[6]. Usmjerava podatke između sučelja lub[7] i lur[8] u slučaju kada je čvor B korišten od strane mobilne stanice koja pripada drugom RNC.

U UTRAN radio mreži čvor B podržava sljedeće funkcije:

- kodiranje kanala
- preplitanje podataka
- širenje signala
- prilagodba brzine podataka
- modulacija
- kontrola snage – unutarnja petlja [1].

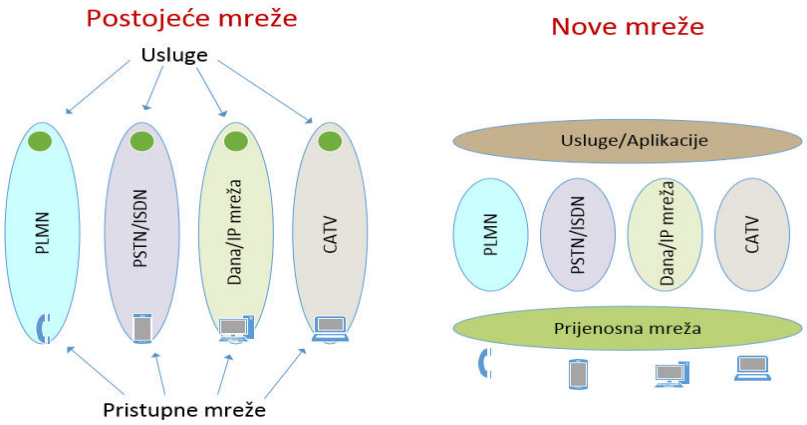
2.2 Jezgrena mreža UMTS sustava

Dok se za radio pristupnu mrežu UMTS/ višestruki širokopojasni pristup s kodnom raspodjelom (*Wideband Code Division Multiple Access* – WCDMA) sustava može reći da predstavlja revoluciju u odnosu na radio pristupnu mrežu GSM sustava, za jezgrenu se mrežu može reći da predstavlja poboljšanje već postojeće jezgrene mreže GSM sustava što

[3] Sučelje koje povezuje RNC kontroler i MSC.
[4] Sučelje koje povezuje RNC kontroler i SGSN.
[5] Sučelje između modula za upravljanje baznim stanicama i jezgrene mreže.
[6] Efekt raznovrsnosti je efekt prilikom kojeg se isti podaci prenose s više RNC.
[7] Sučelje između radio – bazne stanice i modula za upravljanje baznim stanicama.
[8] Sučelje između dva modula za upravljanje baznim stanicama i to sučelje nema odgovarajući pandan u GSM-u.

dovodi do zaključka da promjene u jezgrenoj mreži nisu tako velike kao u radio dijelu, te se UMTS/WCDMA jezgrena mreža može realizirati i nadogradnjom postojeće jezgrene mreže.

Jedna od ključnih značajki UMTS/WCDMA sustava koja se najviše dotiče jezgrene mreže je slojevita arhitektura (*Layered Architecture*). Za razliku od postojećih mreža koje su bile vertikalno ustrojene, pri čemu je svaka mreža imala svoju zasebnu prijenosnu mrežu, svoju upravljačku logiku te je bila dizajnirana za točno određenu vrstu usluge (prijenos govora, prijenos podataka...), ideja je da nove mreže, pa tako i UMTS/WCDMA mreže, budu horizontalno ustrojene. Drugim riječima, više mreža dijeli istu prijenosnu infrastrukturu (zajednička prijenosna mreža), pojedine usluge su dostupne bez obzira na mrežu u kojoj se korisnik trenutačno nalazi (zajednička uslužna mreža), a ono što je specifično za svaku mrežu je vlastita upravljačka logika (Slika 5) [5].



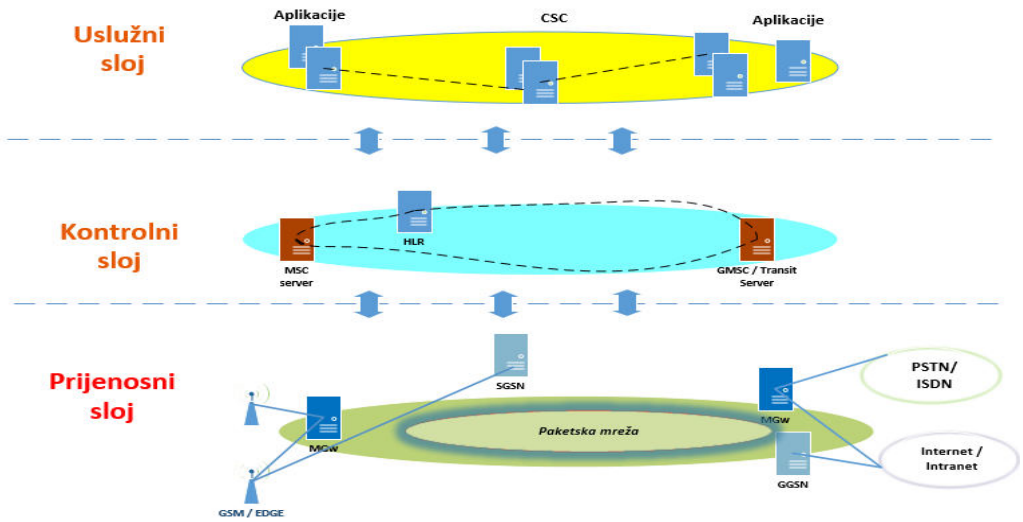
Slika 5:Usporedba postojeće i nove mreže
Izvor:[5]

Ovako horizontalno ustrojena slojevita arhitektura realizirana je i u jezgrenoj mreži UMTS/WCDMA sustava kako je prikazano na slici 6. Slojevita arhitektura u UMTS/WCDMA sustavu realizirana je kroz tri različita sloja:

- uslužni sloj (*Service Layer*)
- upravljački sloj (*Control Layer*)
- prijenosni sloj (*Connectivity Layer*).

Uslužni sloj je realiziran u okviru uslužne mreže UMTS/WCDMA sustava, dok upravljački i prijenosni sloj zajedno čine jezgrenu mrežu. U upravljačkom su sloju smješteni elementi koji s jedne strane predstavljaju sučelje prema uslužnoj mreži, a s druge strane upravljaju prijenosom informacija koji se odvija u prijenosnom sloju gdje se i nadziru.

Prijenosni sloj također služi i za povezivanje jezgrene mreže na pristupnu radio mrežu te za povezivanje s drugim vanjskim mrežama (javna mreža, druge pokretne mreže, Internet…) [5].



Slika 6:Prikaz slojevite arhitekture UMTS/WCDMA sustava
Izvor: [5]

U pogledu načina prijenosa podataka, jezgrena mreža može se dijeli na domenu komutacije paketima (*Packet Switched* - PS) i domenu komutacije kanalima (*Circuit Switched* – CS) te na elemente koji su zajednički za obje domene. Osnovni elementi domene komutacije kanala prema [5] su:

- MSC
- medijski prespojnik (*Media Gateway* – MGw).

MSC poslužitelj je temeljni upravljački element komutacije kanala, a zadaća mu je upravljati pozivima (uspostavljanje, nadziranje i raskidanje poziva) te upravljanje dodatnim uslugama, prikupljanje tarifnih i obračunskih podataka itd.

Medijski prespojnik prilagođava podatke koji se prenose različitim prijenosnim tehnologijama i mrežama s asinkronim načinom prijenosa. Logički je smješten na rubovima prijenosnog sloja te predstavlja sučelje prema drugim mrežama.

Osnovni elementi domene komutacije paketa:

- SGSN čvor
- prespojni GPRS čvor podrške (*Gateway GPRS Support Node* - GGSN).

SGSN čvor zadužen je za funkciju kontrole podatkovnih sesija, lociranja i praćenja korisnika kao i za funkcije upravljanja i prikupljanja tarifnih i obračunskih podataka. Dok, GGSN čvor predstavlja vezu prema vanjskim podatkovnim mrežama te sadrži funkciju kontrole podatkovnih sesija, dodjele Internet protokol (*Internet Protocol* - IP) adresa i funkciju za potvrdu autentičnosti korisnika.

Najvažniji zajednički elementi obiju domena su:

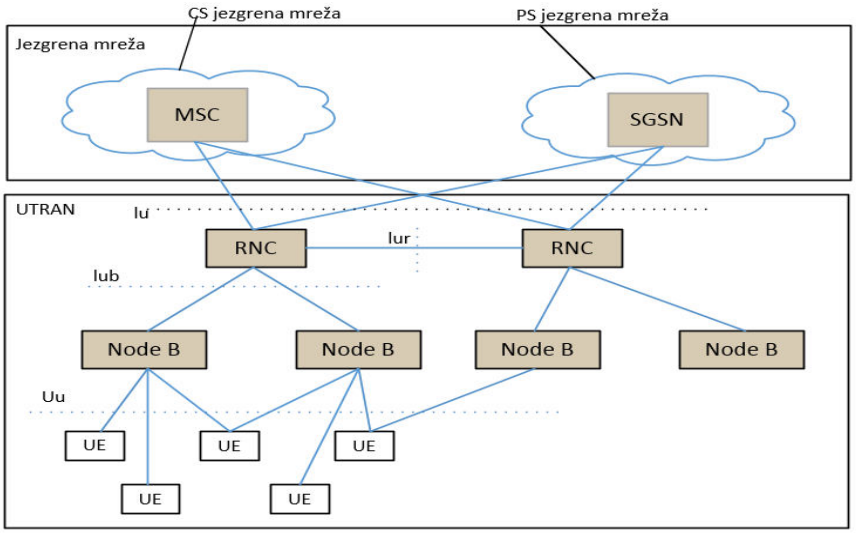
- registar vlastitih korisnika (*Home Location Register* – HLR)
- centar za provjeru vjerodostojnosti (*Authentication Centre* – AuC)
- registar fleksibilnog numeriranja (*Flexible Numbering Register* – FNR).

Registar vlastitih korisnika je središnja baza podataka koja sadrži podatke o vlastitim korisnicima (vrsta pretplate, dodatne usluge, lokacija korisnika). AuC čvor je također baza podataka koja zajedno sa HLR čvorom vrši potvrdu o vjerodostojnosti korisnika. HLR i AuC najčešće su integrirani u jednom fizičkom čvoru. FNR je baza podataka koja ima pohranjene veze između broja identiteta mobilnih korisnika na međunarodnoj razini (*International Mobile Subscriber Identity* – IMSI) i međunarodnog imenika korisničkih brojeva mobilnih stanica (*Mobile Station International Subscriber Directory Number* – MSISDN) te na taj način omogućuje funkcionalnosti poput zadržavanja korisničkog broja prilikom promjene operatora [5].

2.3 Pristupna mreža UMTS sustava

Pristupna mreža UMTS sustava prema [5] sastoji se od sljedećih komponenata:

- radio – bazna stanica (*Radio Base Station* – RBS (na slici 6 označeno *Node* B))
- korisnička oprema (*User Equipment* – UE)
- RNC
- između radio – bazne stanice i modula za upravljanje baznim stanicama postoji i koncentrator, odnosno, komponenta koja se koristi za koncentriranje prometa prema modulu za upravljanje baznim stanicama.



Slika 7:Arhitektura pristupne mreže UMTS sustava
Izvor:[5]

Pored osnovnih mrežnih elemenata na slici 7 prikazana su i sljedeća sučelja:

- Iu
- Iur
- Iub
- Uu – sučelje između korisničke opreme i radio – bazne stanice.

3 UPRAVLJANJE RADIO RESURSIMA U UMTS SUSTAVU

3.1 Kontrola snage

Kontrola snage omogućuje da odašiljačka snaga signala u radio kanalu može biti prilagođena mijenjanju udaljenosti između odašiljača i prijemnika signala. To se provodi promjenom intenziteta prijenosnog signala, na primjer, vrijednost mobilne stanice u određenom intervalu, što znači, u određenom trenutku za određenu duljinu linka i određenu razinu smetnje u kanalu, bude najniža primjenjiva razina koja osigurava željeni efekt u kvaliteti prijenosa. Kontrola snage u UMTS sustavu od izričite je važnosti uslijed dijeljenja radio kanala između korisnika. Dekodiranje prijemnog signala moguće je samo onda kada je omjer energije po bitu (Eb) prikladan spektralnoj gustoći šuma (N_0). Kada je omjer premalen $Eb\ /\ N_0$ rezultirat će nemogućnošću da prijemnik dekodira prijemni signal, dok će prevelika vrijednost energije po bitu u odnosu na šum rezultirati interferencijom među korisnicima istog radio kanala [1].

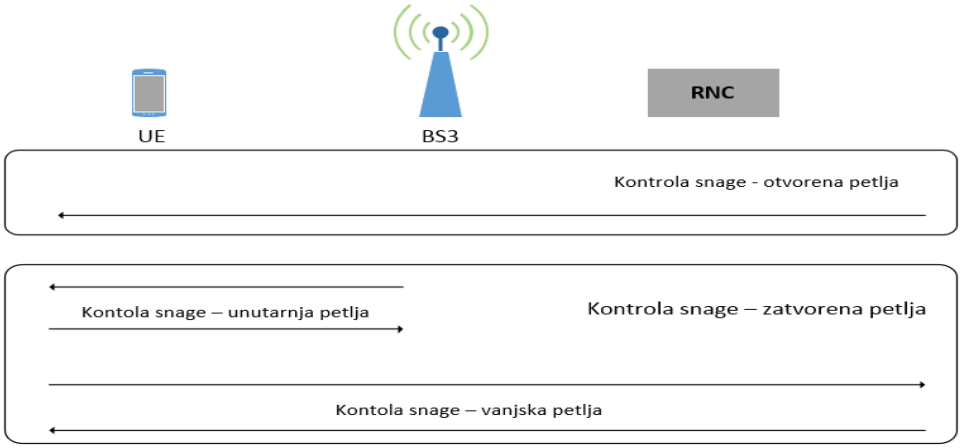
Za uzlaznu vezu, pomanjkanje kontrole snage stvorit će efekt blizu[9] – daleko. To je situacija u kojoj prijemni signal na baznoj stanici, odaslan od strane terminalnog uređaja na rubu ćelije, ima veći efekt iščezavanja[10] (*fading effect*) na propagacijskom putu, te susreće smetnje signala iz terminala u blizini bazne stanice [1]. Da bi se efekt blizu – daleko izbjegao potrebno je izjednačavati snage svih mobilnih stanica u ćeliji, takav postupak naziva se kontrola snage i provodi se 1500 puta u sekundi te je poznat i pod nazivom brza kontrola snage [5].

U slučaju silazne veze, efekt blizu – daleko ne predstavlja toliko ozbiljan problem. Ali opet, kontrola snage je također neophodna zbog nužnosti dijeljenja dostupne snage na baznim stanicama za sve korisnike. Kontrola snage u UMTS sustavu izvedena je pomoću dva mehanizma (slika 8):

- kontrola snage otvorenom petljom

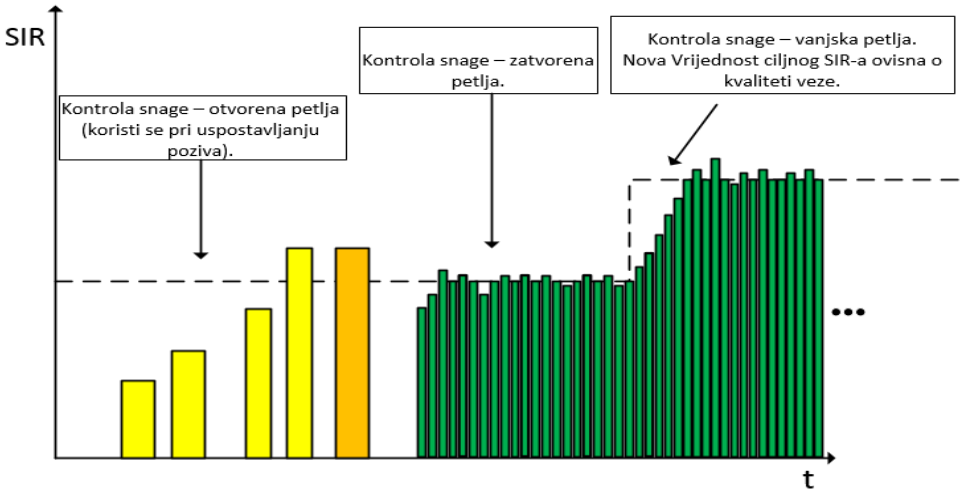
[9] Efekt blizu – daleko: predstavlja nemogućnost detekcije udaljene bazne stanice za mobilne terminale koji su u blizini svoje servisne bazne stanice. U domenu pozicioniranja, ovo rezultira nemogućnošću određivanja pozicije, triangulacije [6].
[10] U bežičnim komunikacijama, iščezavanje je odstupanje od prigušenja koja utječu na signal u određenom propagacijskom mediju [7].

- kontrola snage zatvorenom petljom, u kojoj se razlikuju mehanizmi s vanjskom i unutarnjom petljom kontrole snage [1].



Slika 8:Mehanizmi kontrole snage u WCDMA sustavu
Izvor:[1]

Kontrola snage s otvorenom petljom podrazumijeva da se na osnovi primljenog signala u silaznoj vezi procjenjuje gubitak staze. Zbog međusobno nepovezanog brzog kolebanja u uzlaznoj i silaznoj vezi takav postupak je dosta netočan, no ipak se koristi, ali samo u slučaju inicijalne postavke snage odašiljanja mobilne stanice prilikom uspostavljanja veze. Zatvorenom petljom postiže se puno preciznija kontrola snage. Kontrola snage zatvorenom petljom djeluje na način da se u baznoj stanici procjenjuje primljeni odnos signala i interferencije (*Signal to Interference Ratio* – SIR) i uspoređuje ga se s ciljnom vrijednosti kako je prikazano na slici 9 [5].



Slika 9:Primljeni odnos signala i interferencije u baznoj stanici
Izvor:[5]

Ukoliko je izmjerena vrijednost SIR čimbenika manja od ciljne, tada bazna stanica zahtjeva od mobilne stanice da se snaga odašiljanja pojača, a ukoliko je viša da se smanji.

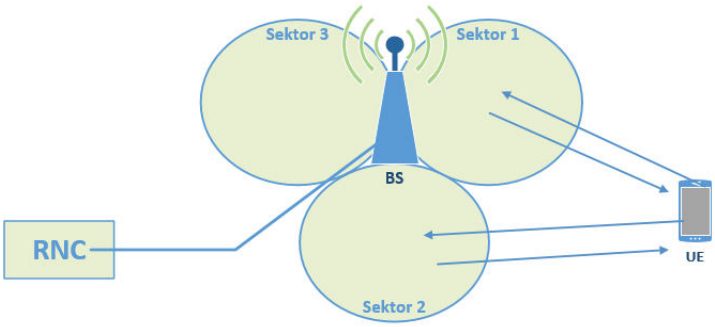
Vanjska petlja određuje ciljnu vrijednost SIR-a koja omogućava održavanje konstantne kvalitete veze određene ciljnom vrijednosti učestalosti pojavljivanja pogreške u prijenosu. Ciljna se vrijednost SIR čimbenika mijenja i održava na taj način da su zadovoljeni minimumi kvalitete veze, kako bi se razina interferencije u sustavu održala na minimumu [5].

3.2 Kontrola prekapčanja (*Handover*)

Kako bi se omogućila mobilnost korisniku mobilnih komunikacijskih usluga potrebno je izgraditi odgovarajuće mehanizme koji bi osigurali neprekinutu uslugu za pokretne korisnike mobilnih stanica između različitih ćelija u mreži. U UMTS sustavu takovi mehanizmi osiguravaju tvrdo prekapčanje. Tvrdo prekapčanje se događa svaki put kada se korisnik pomiče preko granica uslužne ćelije ili kada je konekcija trenutne bazne postaje prekinuta, a nova se uspostavlja u istom trenutku na novu ciljanu baznu stanicu. Razlog primjene tvrdog prekapčanja može biti, na primjer, zbog niske kvalitete veze zbog smetnji, niske razine signala ili problemi vezani za kapacitet mreže [1].

3.2.1 Meko prekapčanje

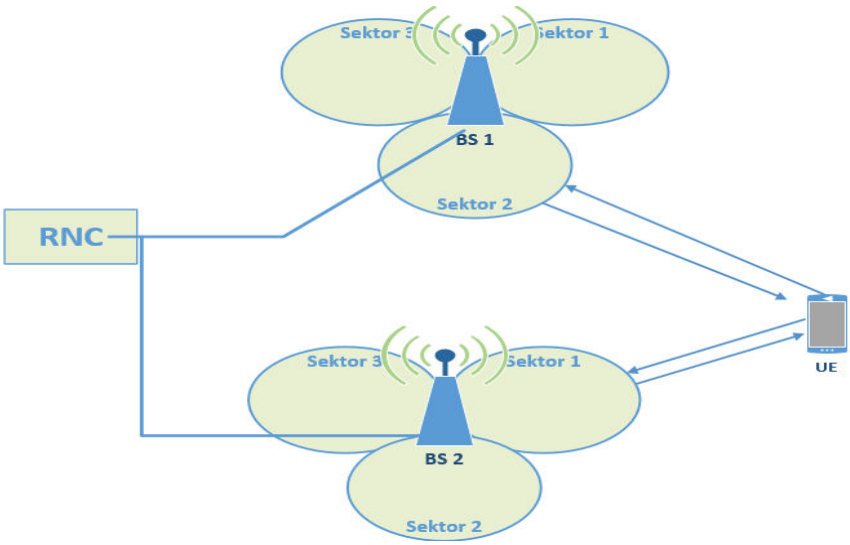
Meko prekapčanje (*Soft Handover*) potrebno je kada se mobilna stanica nalazi na području pokrivenom s više ćelija (najviše tri) različitih baznih stanica prikazano slikom 10. Kao i kod mekšeg prekapčanja, mobilna stanica vrši komunikaciju s baznom stanicom putem dva odvojena kanala. U silaznoj vezi gotovo i da nema razlike između mekog i mekšeg prekapčanja jer se signali kombiniraju u rašljastom prijamniku, dok u uzlaznoj vezi mogu se uočiti značajnije razlike zbog toga što obje bazne stanice primaju raspršene signale koje upućuje mobilna stanica. Tako primljeni podaci upućuju se u RNC u kojem se provodi vanjska petlja kontrole snage, odnosno, provjerava se čimbenik stope blokiranja pogrešaka (*Block Error Rate* - BLER) za svaki od primljenih signala te se odabire onaj s manjim BLER čimbenikom. Za vrijeme trajanja mekog prekapčanja aktivne su dvije petlje kontrole snage [5].



Slika 10:Prikaz mekog prekapčanja
Izvor:[1]

3.2.2 Mekše prekapčenje

Kod mekšeg prekapčanja (*Softer Handover*) mobilna stanica nalazi se u prostoru prekrivenom s više sektora iste bazne stanice. Kako je prikazano na slici 11 mobilna i bazna stanica istovremeno komuniciraju preko dva kanala koji svaki od njih pripada drugom sektoru. Kako bi mobilna stanica mogla razlikovati signale, u silaznoj vezi, potrebna su dva koda pseudo-šuma (*Pseudo Noise Code* – PN *Code*). Signali se obrađuju u rašljastom prijamniku. U uzlaznoj vezi raspršeni se signali primaju u oba sektora, a nakon dekodiranja šalju se istom rašljastom prijamniku. Kod mekšeg prekapčanja aktivna je samo jedna zatvorena petlja kontrole snage.



Slika 11:Mekše prekapčanje
Izvor:[1]

3.3 Nadzor pristupa poziva

U UMTS sustavu opterećenje radio sučelja povezano je s opsegom i kvalitetom usluga koje nudi ta mreža. S povećanjem opterećenja radio sučelja, raspon mreže se smanjuje. U cilju osiguranja primjerene kvalitete usluge korisnicima važno je kontrolirati količinu pristupa mreži i ne dopustiti da ta vrijednost prelazi granične vrijednosti za opterećenje radio sučelja koja je unaprijed definirana [1].

Nadzor pristupa provode RNC-i u kojima se pohranjuju informacije koje se odnose na opterećenje baznih stanica spojenih na određeni kontrolor. Prije uspostave nove konekcije, nadzor pristupa poziva provjerava hoće li se uspostavom novog poziva smanjiti vrijednost ispod unaprijed zadane vrijednosti, a ta vrijednost je raspon bazne stanice, i hoće li se smanjiti kvaliteta poziva u tijeku. Algoritmi nadzora pristupa također iniciraju kada je potrebna izmjena nositelja za postojeće veze.

Postupci za prirast opterećenja na radio sučelju izvode se na silaznoj i uzlaznoj vezi, i svaka promjena parametara nositelja moguća je samo kada nadzor pristupa poziva omogući ulaz za izmjenu na *linku* od korisnika do bazne stanice i obrnuto.

3.4 Raspoređivač paketa

UMTS sustav omogućuje korištenje zajedničkih i dodijeljenih kanala, kao i onih kanala koji dijeli više korisnika za prijenos paketa. Svrha korištenja raspodjele resursa paketa, odnosno raspoređivača paketa, je izdvojiti postojeće resurse za korisnike sustava, što u praksi znači, dodijeliti transportne kanale s odgovarajućim karakteristikama. Osim toga, ovaj modul prati opterećenje mreže, i ako je potrebno, inicira potrebne radnje za smanjenje opterećenja. Postoje različiti algoritmi raspodjele resursa za sljedeće vrste protoka paketa prema [1]:

- stvarno vremensko strujanje paketa koristi se za obavljanje govornih i *streaming* usluga s relativno visokim zahtjevima koji se odnose na vezu kapaciteta i kašnjenja
- strujanje paketa korišteno za interaktivne servise okarakterizirane prijenosom informacija u blokovima i većom tolerancijom na kašnjenja.

3.5 Kontrola opterećenja

Kontrola opterećenja u WCDMA radio sučelju odgovorna je za stabilan rad sustava te koristi resurse koji sprječavaju bilo kakvo preopterećenje u sustavu. Kada vrijednosti opterećenja radio sučelja prijeđu granice unaprijed definiranih vrijednosti, kontrola opterećenja treba vratiti definirano opterećenje sustava što je prije moguće. Da bi se to postiglo, kontrola opterećenja kako je navedeno u [1], poduzima sljedeće korake:

- zaustavlja izvođenje naredbi poslanih od strane mobilnih uređaja u vidu povećanja snage u silaznoj vezi
- smanjuje dopuštenu vrijednost (za određenu uslugu) Eb u odnosu na N_0 za uzlaznu vezu
- smanjuje brzinu prijenosa paketne veze
- prijenos veze na drugi WCDMA
- prijenos veze na GSM mrežu
- smanjuje prijenosnu brzinu za stvarno vremenske usluge
- prekida, na kontroliran način, dio postojećih veza uključujući i konekcije u stvarnom vremenu.

Pretpostavlja se da je zadnje spomenuta metoda snižavanja opterećenja u WCDMA radio sučelju potrebna samo u izvanrednim slučajevima kada druge metode ne uspiju postići željene rezultate u smanjenju opterećenja.

4 PRIJENOS PODATAKA PAKETSKIM MODOM U MOBILNIM MREŽAMA

Prijenos podataka velikom brzinom paketskim modom na silaznoj vezi u pristupnoj mreži (*High – Speed Downlink Packet Access* – HSDPA) uključen je u specifikaciju sustava od strane 3GPP – a u verziji 5. Njegovo uvođenje je usmjereno na povećanje brzine prijenosa u silaznoj vezi i smanjenju kašnjenja u mreži. Ekvivalent HSDPA za uzlaznu vezu je prijenos podataka velikom brzinom paketskim modom na uzlaznoj vezi (*High – Speed Uplink Packet Access* - HSUPA), koji je postao dio UMTS sustava u verziji 6 [1].

4.1 Prijenos podataka velikom brzinom paketnim modom u pristupnoj mreži na silaznoj vezi (HSDPA)

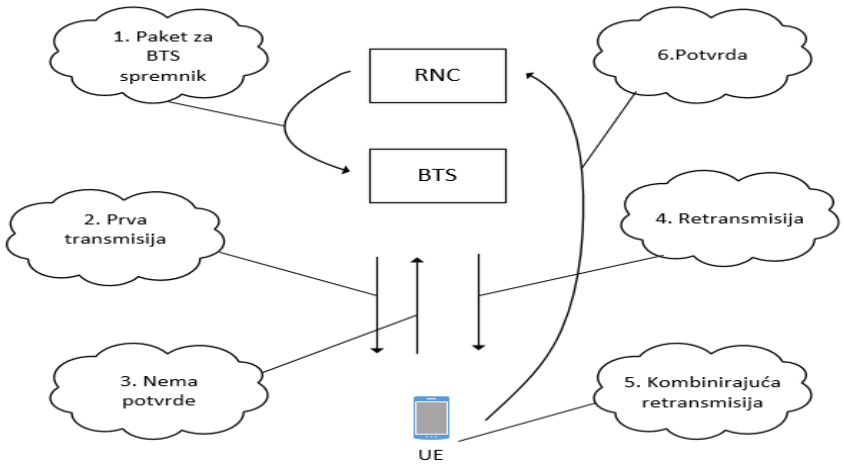
Pretpostavlja se da će se uzastopnim inačicama HSDPA prijenos podataka vršiti brzinama od 1.8 Mb/s, 3.6 Mb/s. 7.2 Mb/s i 14.4 Mb/s. Kako bi to bilo moguće, nova rješenja nalaze se u organizaciji i upravljanju transportnim i fizičkim kanalima. Prema [1] važno je spomenuti sljedeće:

- kanal velike brzine na silaznoj vezi dijeljen između više korisnika (*High Speed Downlink Shared Channel* – HS-DSCH) – kanal dijeljen među više mobilnih stanica, korišten za prijenos korisničkih podataka s viših slojeva mreže i kontrolu informacija
- fizički kanali:

- fizički silazni dijeljeni kanal (*High-Speed Physical Downlink Shared Channel* - HS–PDSCH) – korišten za prijenos podataka s faktorom širenja jednak 16
- zajednički kontrolni kanali (*High-Speed Shared Control Channel* - HS–SCCH) – korišteni za informiranje mobilnih stanica o planiranom prijenosu u HS–DSCH
- fizički nadzorni kanal (*High-Speed Dedicated Physical Control Channel* - HS–DPCCH) – korišten u uzlaznoj vezi za potvrdu prijenosa podataka i za slanje indikatora kvalitete kanalu.

Osim novih kanala, HSDPA tehnologija uvodi sljedeće mehanizme:

- adaptivnu modulaciju i kodiranje (*Adaptive Modulation and Coding* – AMC) – osim diskretne kvadraturne fazne modulacije (*Quadrature Phase Shift Keying* – QPSK), HSDPA dopušta primjenu, s niskom razinom interferencije, 16 kvadraturne amplitudne modulacije (*Quadrature Amplitude Modulation* - 16 QAM). Ovisno o opterećenju na kanalu i kvaliteti signala, modulacijske sheme i sheme kodiranja, mogu se mijenjati
- velike brzine prijenosa paketa od razine čvora B – kanal HS–DSCH je podijeljen između više korisnika sustava kako bi se u potpunosti iskoristila raspoloživa sredstva radio veze ovisno o uvjetima propagacije i razini interferencije. Na temelju pokazatelja razine signala (*Channel Quality Indicator* – CQI) u silaznoj vezi odaslane od strane mobilne stanice, bazna stanica odlučuje kojem će korisniku, prema potrebi, podaci biti poslani
- velike brzine retransmisije od razine čvora B hibridni automatski zahtjev za ponavljanjem (*Hybrid Automatic Repeat Request* - HARQ) – tehnologija HSDPA uključuje funkcionalnosti retransmisije na fizičkom sloju. Funkcija se nalazi u čvoru B, zahvaljujući kojem, proces retransmisije ne uključuje RNC te ga provodi puno brže. Nadalje, HARQ provodi proces postupne redundancije. Kako je prikazano na slici 12, u slučaju primitka pogrešnih podataka od mobilne stanice, podaci se skladište te ponovno dekodiraju za restrukturiranje primljenog signala nakon retransmisije suvišnih podataka do mobilne stanice. Bazna stanica pojedinačno šalje suvišne podatke ako prethodni prijenos nije uspio dekodirati primljenu informaciju;
- više - kodni prijenos – HSDPA čini više – kodni prijenos moguć. Bazna stanica je u mogućnosti slati signal mobilnoj stanici simultano sve do 15 kanalnih kodova sa faktorom širena 16.



Slika 12:Djelovanje brze retransmisije od čvora B (HSDPA/HSUPA)
Izvor:[1]

Tabela 1:Komparacija svojstava DCH kanala (R99), HS – DSCH (HSDPA) i E – DSH (HSUPA)

Svojstvo	DCH	HSDPA (HS – DSCH)	HSUPA (E – DCH)
Varijabilni faktor širenja	DA	NE	DA
Brza kontrola snage	DA	NE	DA
Adaptivna modulacija	NE	DA	NE
Raspoređivanje na BTS-u	NE	DA	DA
Brzi L1 HARQ	NE	DA	DA
Meko prekapčanje	DA	NE	DA
Duljina TT1 (ms)	80, 40, 20, 10	2	10, 2

Izvor:[1]

4.2 Prijenos podataka velikom brzinom paketnim modom u pristupnoj mreži na uzlaznoj vezi (HSUPA)

HSUPA predstavlja isto što i HSDPA samo za uzlaznu vezu. Omogućuje prijenos podataka od korisnika do bazne stanice brzinama od 5.75 Mb/s. HSUPA tehnologija koristi brzu retransmisiju (HARQ) od razine mobilne stanice s povećanom redundancijom, omogućavajući na taj način da vremenski interval prijenosa (*Time Transmission Interval* - TTI) bude upotrijebljen od sljedećih transmisija i uvodi novi tip poboljšanog namjenskog kanala (*Enhanced Dedicated Channel* - E–DCH). E – DCH, za razliku od HS – DSCH korišten u HSDPA tehnologiji, nije dijeljeni kanal ali je namjenski, što znači, da je svakoj mobilnoj stanici postavljen, sa poslužujućeg čvora B, njen vlastiti E – DCH kanal. Štoviše, HSUPA ne koristi adaptivnu modulaciju [1].

Brza retransmisija HARQ za HSUPA djeluje na sličan način kao i HSDPA. Bazna stanica informira mobilnu stanicu da li je podatak primljen ili nije. Prilikom pogrešno primljenih paketa bazna stanica odmah vrši ponovno slanje paketa mobilnoj stanici. Nakon zaprimanja paketa, čvor B, također koristeći prethodno primljene signala, pokušava ponovno stvorit podatke odaslane od mobilne stanice. Retransmisija se obavlja sve dok paketi poslani od strane mobilne stanice ne budu ispravno primljeni ili dok ne prijeđe definirani broj ponovnih pokušaja. Za razliku od HSDPA, kanal HS – DSCH dijele svi sudionici usluženi od iste ćelije. Zbog navedenog, bazna stanica može izdvojiti (iako za kratko vrijeme) sve resurse na samo jednu mobilnu stanicu, dok druge mobilne stanice ne primaju zahtijevane podatke. U HSUPA kanal E – DCH je dodijeljeni kanal, što se manifestira u situacijama kada dijeljenje nije moguće. Zbog toga, brzi prijenos u HSUPA sustavu radi na sličan način kao funkcija rasporeda paketa za R99 verziju UMTS sustava. RNC informira sve mobilne stanice o maksimalnoj snazi koju smiju koristit za prijenos. Ako razina interferencije dosegne vrijednost koja može prouzročiti nestabilnost sustava, tada se, razina prijenosne snage smanjuje za sve mobilne stanice. Usporedba svojstava DCH kanala (R99), HS – DSCH i E – DSH prikazana je tablicom 1.

4.3 Usluge UMTS sustava

Sljedeće četiri klase usluga definirane su, prema [1], u UMTS sustavu:

- konverzacijske
- *streaming*
- interaktivne
- pozadinske.

Glavni čimbenici koji utječu na podjelu usluga u klase uključuju njihovu osjetljivost na kašnjenje prilikom prijenosa, prijenosnu brzinu i prihvatljiv broj izgubljenih bita.

Na primjer, govorna usluga je tradicionalni telefonski razgovor u kojem sudjeluju dvije ili više osoba. U pravilu, prijenos se događa naizmjence i promet je generiran u dva smjera, simetrično. Maksimalno dopušteno kašnjenje uvjetovano je ljudskom percepcijom i eksperimentalno je dokazano da ne bi smjela biti veća od 250 ms. Video-telefonija je nastavak tradicionalne telefonske usluge. U slučaju takve usluge zahtjevi u vezi BER-a su daleko veći i prijenos između sudionika odvija se neprestano.

Usluga *streaming-a,* često opisivana kao „ poslužitelj – korisnik“ usluga, koristi se, na primjer, za gledanje televizijskog programa ponuđenog od neke *web* stranice. Prijenos se vrši s kašnjenjem od nekoliko sekundi i prenesi signal je zadržan na strani korisnika. Taj mehanizam osigurava da svako kašnjenje u prijenosu bude neprimjetno za krajnjeg korisnika. Dopuštena vrijednost kašnjenja za takvu uslugu može biti i nekoliko stotina sekundi. Promet u aplikacijama koje koriste *streaming* je stalan i asimetričan.

Interaktivne usluge koriste se u svim aplikacijama kako bi omogućile korisniku da dobije željene podatke s određene lokacije u mreži. Primjeri za interaktivne usluge uključuju pretraživanje *web* sadržaja, korištenje usluga koje se temelje na lokaciji korisnika, zabavu, preuzimanje sadržaja, ili pristup traženom poslužitelju.

Najčešće pozadinske (*background*) usluge su elektronička pošta ili poruke. Takav prijenos može se odvijati u pozadini; njihovo kašnjenje je beznačajno i može iznositi više minuta.

U tablici 2 prikazane su osnovne informacije veza za zahtjeve određenih klasa usluga.

Tablica 2. Osnovne klase usluge UMTS sustava i njihovi osnovni parametri

Tabela 2:Klase usluge UMTS sustava i njihovi osnovni parametri prijenosa

Značajke usluga	Govor	*Streaming*	Interaktivne	Pozadinske
Max. prijenosna brzina (kbit/s)	< 2048	< 2048	< 2048	< 2048
Zajamčena prijenosna brzina (kbit/s)	< 2048	< 2048	N / A	N / A
Simetričnost	DA	NE	NE	NE
Kašnjenje	100 – 250 ms	250 s	N / A	N / A

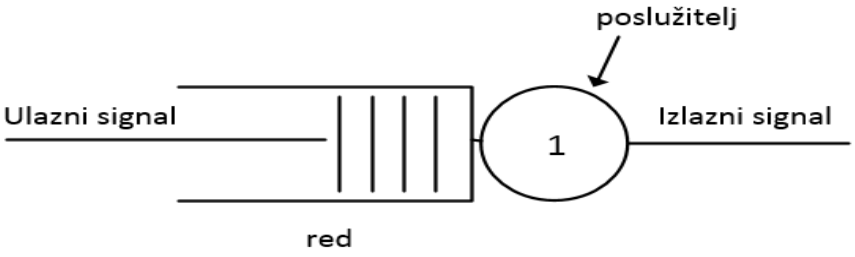
Izvor:[1]

5 MODELI ČVOROVA U PAKETSKIM MREŽAMA

5.1 Osnovne značajke sustava posluživanja

5.1.1 Parametri sustava posluživanja

Sustav posluživanja je sustav dizajniran za usluživanje svakog poziva (zahtjeva) koji dolaze u sustav slučajno (ili ne) u nekom vremenu. Klasična telefonska centrala i IP usmjerivač primjeri su sustava s čekanjem u redu. Teorija redova čekanja/teorija posluživanja bavi se stohastičkim procesima koji se odvijaju u sustavima s čekanjem u redu. Glavni zadatak je napraviti analitičke metode koje omogućavaju identifikaciju i određivanje parametara koje opisuju čekanje u redu kao što su duljina reda, broj poslužitelja itd. Također zadatak je i pronalaženje ovisnosti između tih parametara i učinkovitosti karakteristika za sustave sa čekanjem u redu (na primjer, prosječno vrijeme čekanja za pozive u redu, ili prosječan broj zauzetih poslužitelja) [1].



Slika 13: Osnovni model sustava posluživanja s čekanjem
Izvor:[1]

Slika 13 prikazuje temeljni model sustava s čekanjem. Model sadrži poslužitelj, ulazni tok, izlazni tok i red. Svaki uređaj koji poslužuje pozive zove se poslužitelj. Kada je poslužitelj zauzet, pozivi čekaju u redu da budu posluženi. Ulazni tok je slijed poziva koji dolaze u sustav da budu posluženi, dok je izlazni tok slijed poziva koji izlaze iz sustava. Pozivi su usluženi u sustavu od poslužitelja ili od grupe poslužitelja. U svrhu opisa sustava s čekanjem neophodno je odrediti statističku distribuciju definiranog vremenskog intervala između sljedećih nadolazećih poziva u sustav i distribuciju vremena posluživanja koja opisuje vremensku distribuciju za usluživanje nadolazećih poziva [1].

5.1.2 Klasifikacija sustava s čekanjem

Klasifikacija sustava sa čekanjem može biti bazirana na različitim kriterijima. Najčešća klasifikacija sustava prikazana je prema [1]:

1. prema broju poslužitelja:
    - jedan poslužitelj – broj poslužitelja ograničen je na samo jedan. Na slici 13 prikazan je primjer s jednim poslužitelja
    - više poslužitelja – broj poslužitelja veći je od jednog
2. prema tome događa li se čekanje ili gubitci:
    - sustav s gubitcima – pozivi koji dolaze u sustav kada su svi poslužitelji zauzeti napuštaju sustav posluživanja i time postaju izgubljeni pozivi
    - sustav s čekanjem – pozivi koji dolaze u sustav kada su svi poslužitelji zauzeti ne napuštaju sustav nego odlaze u red za čekanje sve dok se neki od poslužitelja ne oslobodi
3. prema duljini reda (broju poziva u redu):
    - ograničen:

      -> s obzirom na broj mjesta u redu

      -> s obzirom na provedeno vrijeme po pozivu u redu – „sustavi s nestrpljivim korisnicima“
    - neograničen
4. prema disciplini posluživanja:
    - sustavi bez prioriteta:

      -> prvi došao, prvi poslužen (*First In-First Out* – FIFO)

      -> zadnji došao, prvi poslužen (*Last In-First Out* – LIFO)

      -> posluživanje sa slučajnim redoslijedom (*Service In Random Order* – SIRO)
    - sustavi s prioritetima:

      -> s prekidom

      -> bez prekida.

5.1.3 Kendallove oznake

Teorija redova čekanja/teorija posluživanja koristi standardizirani sustav, tzv. Kendallove oznake, za opisivanje modela redova čekanja koji odgovaraju određenom sustavu posluživanja. Sustav posluživanja može se opisati skraćeno slovima *A* / *B* / *N* / *K* / *S*. Slova odgovaraju, prema [1], sljedećim izrazima:

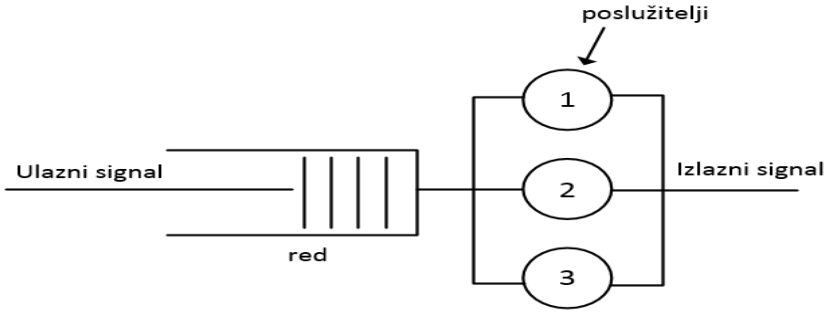
A –distribucija vremena između nadolazećih poziva

B – raspodjela zauzeća poslužitelja / vremena posluživanja

N – broj poslužitelja

K – kapacitet reda (broj mjesta u redu)

S – broj izvora prometa.



Slika 14:M/M/3 sustav čekanja u redu
Izvor:[1]

Pretpostavlja se ako je kapacitet reda i / ili broj izvora prometa neograničen, tada su te vrijednosti izostavljene, što znači, oznaka ∞ na odgovarajućim pozicijama *Kendall-ovih* oznaka obično se ne uvodi. U oznakama, (slova *A* i *B*), proces dolazaka i distribucija vremena posluživanja, slova zapisa, opisuju vrstu primijenjene distribucije u sustavu. Najčešće korištene distribucije s tim zapisima su, prema [1], sljedeće:

M – eksponencijalna distribucija

D – deterministička distribucija (gdje je fiksna duljina međudolaznih intervala)

E_k – *Erlangova* distribucija s k, kao broj nasumično eksponencijalno distribuiranih varijabli

G – proizvoljna distribucija.

Na primjer, M/M/3 sustav označava sustav čekanja u redu s tri poslužitelja, neograničeni red, eksponencijalno vrijeme posluživanja i eksponencijalna distribucija međudolaznih vremena poziva (slika 14).

Nadalje u ovom poglavlju govoriti će se o osnovnim sustavima redova sa čekanjem pa je prije toga neophodno definirati takozvana „Pravila redova“, koja čine mogućim povezivanje intenziteta dolazaka poziva, prosječnog vremena čekanja u redu i prosječnog broja poziva u redu (sustavu).

5.2 Little – ov zakon

Pravila koja vladaju u sustavima posluživanja s čekanjem prikazuju se pomoću osnovnih formula. Formule sadržavaju najvažnije karakteristike tog sustava kao što je prosječan broj poziva u sustavu (ili u redu), ukupno vrijeme kašnjenja[11] (*delay*) za pozive u sustavu ili redu, i prosječan intenzitet toka poziva ponuđenog sustavu. Prosječno ukupno vrijeme kašnjenja poziva u sustavu je zbroj prosječnih vremena čekanja u redu i prosječno vrijeme posluživanja. Isto tako, prosječan broj poziva u sustavu sastavljen je od prosječnog broja poziva u redu i prosječnog broja posluživanih poziva.

Sljedeći zapisi povezani su s gore navedenim parametrima:

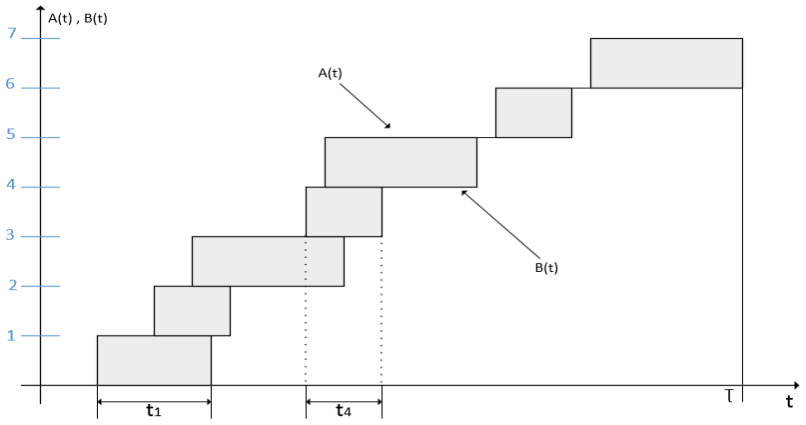
L – prosječan broj poziva u sustavu

W – prosječno vrijeme zadržavanja poziva u sustavu

Q – prosječan broj poziva u redu

T – prosječno vrijeme čekanja poziva u redu.

[11] Pod kašnjenjem se podrazumijeva vrijeme koje poziv (paket) provede u sustavu tj. vrijeme koje provede od ulaska u sustava do napuštanja sustava.



Slika 15:Prikaz procesa dolazaka poziva i posluživanja u sustavu s čekanjem
Izvor:[1]

Na slici 15 prikazani su dolasci poziva i uslužni procesi. Sljedeći zapis je primijenjen:

$A(t)$ – broj poziva koji dolaze u sustav u vremenu (0, t)

$B(t)$ – broj poziva koji izlaze iz sustava u vremenu (0, t)

t_i – vrijeme provedeno u sustavu za *i*-ti poziv

τ –razdoblje promatranja.

Ako je sustav u stabilnom stanju, tada je prosječan broj poziva koji dolaze u sustav i prosječan broj poziva koji je otišao iz sustava jednak. Oba toka imaju isti intenzitet, jednak λ. Funkcije $A(t)$ i $B(t)$ koje, utvrđuju broj poziva koji dolaze i odlaze u sustav, su diskretne funkcije. Prema tome, u danom trenutku, t, njihova razlika $Z(t) = A(t) - B(t)$ određuje broj poziva u sustavu. Ako su vrijednosti $A(t)\ i\ B(t)$ jednake (spajaju se u jednu liniju na slici 15) to znači da u sustavu nema poziva (zahtjeva).

Razmotreni vremenski interval τ i izračunati prosječni broj L poziva u sustavu; taj broj može biti određen kao integral funkcije $Z(t)$ podijeljen dužinom vremenskog intervala τ:

$$L = \frac{1}{\tau}\int_0^{\tau} Z(t)dt \qquad (1)$$

Tako izračunati integral zatamnjeno područje na slici 15. Slika je sastavljanja od pravokutnika, od kojih je visina svakog jednaka jedinici, gdje je baza jednaka ukupnom

vremenskom kašnjenju poziva u sustavu. Prema kraju razmatranog vremenskog segmenta τ neki od pravokutnika samo su djelomično ušli u zatamnjeno područje. Kako god, s odgovarajuće dugim vremenom τ ta činjenica neće imati značaj. Zato je potrebno napisati sljedeće:

$$L = \frac{1}{\tau}\int_0^{\tau} Z(t)dt = \frac{1}{\tau}\sum_i t_i \tag{2}$$

Množenjem i dijeljenjem desne strane jednadžbe (2) po intenzitetu λ, dobiva se:

$$L = \frac{1}{\tau\lambda}\left(\sum_i t_i\right)\lambda \tag{3}$$

Vrijednost $\tau\lambda$ je prosječan broj poziva koji pristižu u sustav unutar vremena τ. Tako, ako se podijeli zbroj svih vremena t_i sa prosječnom broju poziva $\tau\lambda$, tada se dobiva ukupno prosječno zadržavanje u sustavu:

$$W = \frac{1}{\tau\lambda}\left(\sum_i t_i\right) \tag{4}$$

Zamjenom vrijednosti (4) u jednadžbu (3) dobiva se *Little – ova* formula:

$$L = \lambda W \tag{5}$$

Jednadžba (5) izražava *Little - ov* princip da je prosječan broj poziva u sustavu jednak produktu intenziteta poziva i prosječnog vremena koji poziv provede u sustavu.

Moguće je iz (5) izvući *Little - ov* drugi zakon koji se odnosi samo na red i glasi: prosječan broj poziva u redu jednak je produktu intenziteta poziva i prosječnog vremena provedenog u redu:

$$W = \lambda T \tag{6}$$

Little – ov drugi zakon izveden je na isti način kao i prvi. Za tu svrhu, za izvođenje jednadžbe (6) umjesto da se koristiti funkciju $B(t)$ iz slike 15, može se razmotriti funkcija $C(t)$ koja označava broj poziva koji odlaze iz reda (ali ne i iz sustava) u vremenu (0, t). Nadalje je pretpostavljeno da se poziv ne usmjerava u red na čekanje (uslužen je odmah) tada je broj poziva u redu tijekom vremenskog intervala jednak nuli.

Little – ove formule su jako važne u teoriji prometa. One se odnose na bilo koji sustav čekanja s redom bez obzira na (prema [1]):

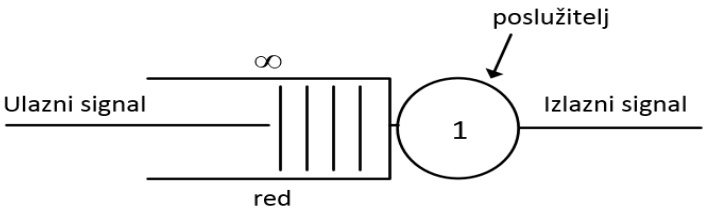
- vrstu toka poziva ponuđenog sustavu
- distribuciju vremena posluživanja
- disciplinu posluživanja.

5.3 Model M/M/1 sustava s jednim poslužiteljem i neograničenim redom

5.3.1 Pretpostavke modela

Promatrani sustav sastavljen od jednog poslužitelja, prikazan na slici 16, koji poslužuje dani tok poziva prema sljedećim pretpostavkama kako je navedeno u [1]:

- poslužitelj je slobodan za svaki proizvoljan poziv ukoliko nije zauzet
- nadolazeći pozivi kreiraju *Poissonov* tok s intenzitetom λ
- vrijeme posluživanja određeno je eksponencijalnom distribucijom s parametrom μ (intenzitet posluživanja)
- poziv koji nije primljen na posluživanje čeka u redu pod *FIFO* disciplinom; red je neograničen, što znači da neograničen broj poziva može čekati na posluživanje u redu.



Slika 16:M/M/1 sustav s čekanjem
Izvor:[1]

5.3.2 Dijagram procesa posluživanja

Gore iznesene pretpostavke definiraju proces rađanja – i – umiranja (*birth-and-death process*) kako je prikazano na slici 17. Stanja sustava određena su prema broju poziva koji čekaju na posluživanje i ona koja su poslužena:

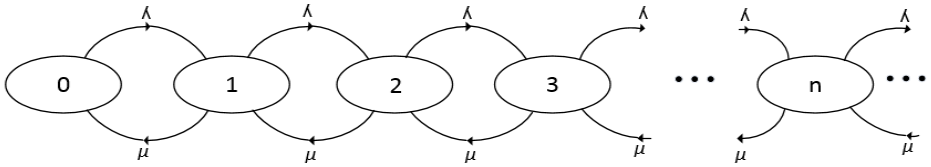
- stanje „0“ – poslužitelj je slobodan
- stanje „1“ – poslužitelj je zauzet (poslužuje jedan poziv) i nema poziva u redu
- stanje „2“ – jedan poziv je poslužen i jedan poziv čeka redu

  .

  .

  .

- stanje „n“ – jedan poziv je poslužen, a $n-1$ poziva čekaju u redu.



Slika 17:Markovljev proces ravnoteže u M/M/1 sustavu
Izvor:[1]

5.3.3 Karakteristike M/M/1 sustava

U ovom poglavlju bit će određene najvažnije prometne karakteristike (kroz formule) za cijeli M/M/1 sustav i za red u sustavu M/M/1.

Prosječan broj poziva u sustavu prema [1] može se odrediti pomoću sljedećeg izraza:

$$L = \frac{A}{1-A} \tag{7}$$

Analizirajući jednadžbu (7) primjetno je da prosječan broj poziva u sustavu teži beskonačnosti kada intenzitet prometa teži jedinici.

Prema istom izvoru prosječno vrijeme zadržavanja poziva u sustavu W može se odrediti, poznavajući prosječan broj poziva u sustavu, izražen jednadžbom (7), a primjenjujući *Little – ovu* formulu (5):

$$W = \frac{A}{\lambda(1 - A)} \tag{8}$$

Da bi se odredio prosječan broj poziva u redu, primjenjuju se slijedeća rasuđivanja. Broj poziva jednak je razlici između broja poziva u sustavu i broja poziva koja su trenutno uslužena. To znači da, na temeljnom teoremu sume prosječnih vrijednosti, prosječan broj poziva u redu Q je također jednak razlici između prosječne vrijednosti broja poziva u sustavu L i prosječne vrijednosti Y poziva koji su usluženi:

$$Q = L - Y \tag{9}$$

Prosječno vrijeme koje poziv provede u redu može biti određen temeljnom *Little* – *ovom* drugom formulom (6):

$$T = \frac{A^2}{\lambda(1 - A)} \tag{10}$$

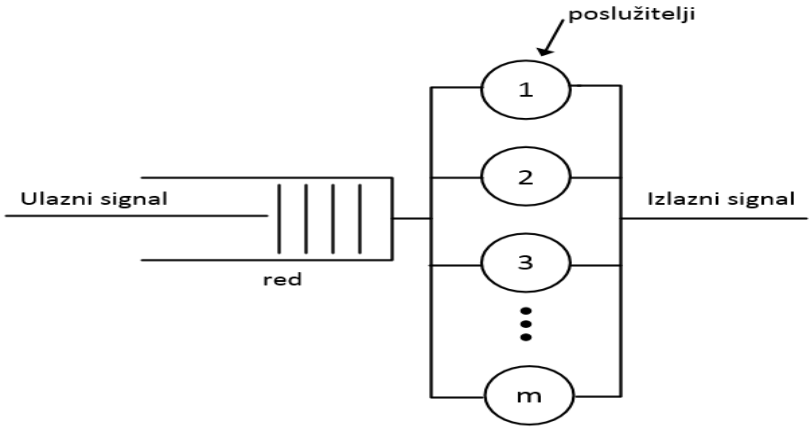
5.4 Model M/M/m sustava s *m* poslužitelja i neograničenim redom čekanja

5.4.1 Pretpostavke modela

Uzevši u obzir, sada, sustav s čekanjem u redu s više poslužitelja s neograničenim redom, može poprimiti sljedeće tvrdnje prema [1]:

- sustav ima m poslužitelja
- red u sustavu je neograničen
- sustavu je ponuđen *Poissonov* tok poziva s intenzitetom λ
- vrijeme posluživanja jednog poziva ima eksponencijalnu karakteristiku s parametrom μ
- pozivi u blokiranom stanju (svi poslužitelji su zauzeti) čekaju u redu pod *FIFO* disciplinom posluživanja.

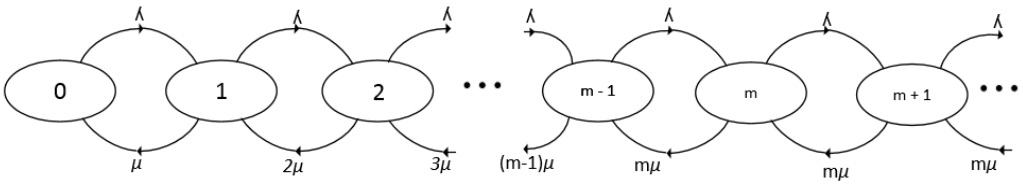
Slika 18 prikazuje blok dijagram sustava koji se razmatra. U literaturi ovaj model često se još naziva i *Erlangov* model s čekanjem u redu.



Slika 18:M/M/m sustav s čekanjem
Izvor:[1]

5.4.2 Dijagram procesa posluživanja

Dijagram procesa rađanja – i – umiranja za ovaj sustav prikazan je na slici 19. Stanja u sustavu definirana su prema broju poziva koji čekaju na posluživanje i koji su usluženi, tj.:



Slika 19:Markovljev proces ravnoteže (dijagram rađanja - i - umiranja) u M/M/m sustavu
Izvor:[1]

- stanje „0“ – nema poziva, red čekanja je slobodan
- stanje „1“ – jedan poslužitelj je zauzet, nema poziva u redu

…

- stanje „*m-1*“ – *m* poslužitelja je zauzeto ($1 \leq m-1 \leq m$), nema poziva u redu

…

- stanje „*m*“ – svih *m* poslužitelja je zauzeto, nema poziva u redu
- stanje „$m+1$“ – svih *m* poslužitelja je zauzeto, jedan poziv je u redu

…

- stanje „$m+x$“ – svih *m* poslužitelja je zauzeto, *x* poziva je u redu.

Imajući na umu, kao i s modelom M/M/1 (s neograničenim redom), preduvjet za „stabilnu“ duljinu reda je $A/m = \times < 1$, gdje je $A = \lambda/\mu$ (što znači da bi intenzitet prometa ponuđen jednom poslužitelju trebao biti manji od 1 *Erlanga*). U ovom slučaju kada je $A/m > 1$, duljina reda teži neograničenom prema beskonačnom.

Jednadžba stanja:

$$[P_0]_\infty = \frac{1}{\sum_{i=0}^{m-1}\frac{A^i}{i!} + \frac{A^m}{m!}\times\frac{m}{m-A}} \tag{11}$$

Vjerojatnost zauzeća svih poslužitelja:

$$E_{2,m}(A) = \frac{\frac{A^m}{m!}\times\frac{m}{m-A}}{\sum_{i=0}^{m-1}\frac{A^i}{i!} + \frac{A^m}{m!}\times\frac{m}{m-A}} \tag{12}$$

5.4.3 Prometne karakteristike M/M/m sustava

Preostale karakteristike učinkovitosti M/M/m sustava sa čekanjem u redu mogu se odrediti koristeći sljedeće ovisnosti:

- prosječan broj poziva u redu:

$$Q = \sum_{i=m+1}^{\infty} i\,[P_i]\infty = \frac{A^{m+1}[P_0]\infty}{m \times m!\,(1-X)2} = \frac{\times\,[P_m]\infty}{(1-X)2} \tag{13}$$

gdje je $X = A/m$;

- prosječan broj poziva u sustavu:

$$L = Q + Y = Q + A \tag{14}$$

- prosječno vrijeme zadržavanja poziva u sustavu:

$$W = \frac{L}{\lambda} \tag{15}$$

- prosječno vrijeme zadržavanja poziva u redu:

$$T = \frac{Q}{\lambda} \tag{16}$$

5.5 Sustav M/D/1

Za određivanje parametara M/D/1 sustava u obzir dolaze *Pollaczek – Kninczin* formule koje karakteriziraju sljedeće tvrdnje prema [1]:

- poslužitelj je slobodan za bilo koji proizvoljan poziv ukoliko nije zauzet
- nadolazeći pozivi formiraju *Poissonov* tok dolazaka s intenzitetom λ
- vrijeme posluživanja je fiksno i iznosi $1/\mu$
- poziv koji nije poslužen čeka u redu pod *FIFO* disciplinom
- red je neograničen.

Budući da je posluživanje konstantno, tada bi varijacije trebale biti jednake nuli. S obzirom na to dobiva se sljedeći izraz:

$$L = \frac{A}{1-A}\left[1 - \frac{A}{2}\right] \tag{17}$$

$$W = \frac{1/\mu}{1-A}\left[1 - \frac{A}{2}\right] \tag{18}$$

Sustav M/D/1 često se koristi za analizu poslužitelja i čvorova u paketskim mrežama.

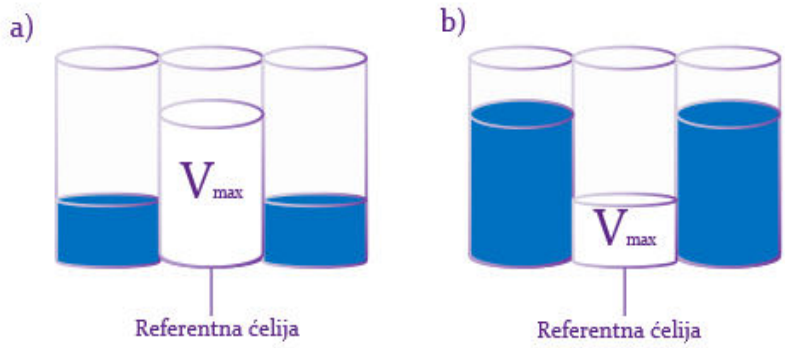
6 MODELIRANJE I DIMENZIONIRANJE RADIO SUČELJA

6.1 Modeliranje raspodjele resursa u radio sučelju

Jedna ćelija mobilnog sustava može biti tretirana kao grupa s konstantnim ili varijabilnim kapacitetom s potpunom dostupnošću, ovisno o mogućim utjecajima okoliša i opterećenja na radio sučelje. Radio sučelje u GSM sustavu može se razmotriti kao primjer tvrdog kapaciteta dok su radio sučelja UMTS i LTE sustava primjer mekog kapaciteta.

6.1.1 Tvrdi i meki kapacitet mobilnih sustava

U GSM sustavu, maksimalni broj korisnika uslužen od jedne ćelije je nedvosmisleno određen i ovisi isključivo o broju korištenih frekvencijskih kanala. GSM sustav je prvobitno bio namijenjen samo za govorne usluge, stoga svaki prometni model može biti konstruiran na bazi grupe s potpunom dostupnošću. Valja istaknuti da se GSM sustav, u određenim okolnostima, može uzeti kao sustav mekog kapaciteta. Takva situacija može se dogoditi, na primjer, kada operator mobilne mreže ima dodijeljenih samo nekoliko kanala (frekvencijskih) u određenom području i mobilna mreža se u tom području sastoji od vrlo malog broja baznih stanica potpuno opremljenih s predajnicima. U tom slučaju pripreme frekvencijskog plana za razmatrano područje, ne uzimajući u obzir odgovarajući omjer razine signala i smetnji, nije moguća [1].



Slika 20:Fenomen mekog kapaciteta
Izvor:[1]

Prometno opterećenje radio sučelja susjedne ćelije, dakle, ima utjecaj na mogućnost posluživanja novih poziva u spomenutoj ćeliji. UMTS i LTE sustavi također mogu poslužiti kao primjer sustava mekog kapaciteta. Meki kapacitet ukazuje na mogućnost mijenjanja kapaciteta ćelije, ovisno o vanjskim smetnjama, od kojih je važan element stupanj

opterećenja susjedne ćelije. Ideja o ovisnosti kapaciteta sustava opterećenja susjednih ćelija prikazana je na slici 20, te pokazuje referentnu ćeliju u obliku cilindra okruženog s dvije susjedne ćelije. Visina tekućine u cilindru prikazuju popunjenost ćelije. Na slici 20.a relativno mala popunjenost susjednih ćelija omogućuje da referentna ćelija održi gotovo najveći mogući kapacitet ćelije. Povećavanje prometa u susjednim ćelijama uzrokuje smanjenje maksimalnog kapaciteta referente ćelije (slika 20.b).

6.1.2 Raspodjela resursa u mobilnim sustavima s tvrdim kapacitetom

U tradicionalnim sustavima (u kojima ograničenja šuma i interferencije nisu uzeti u obzir), raspodjela resursa sastoji se u dodavanju brzine prijenosa koje se odnose na pozive pojedinih klasa,

$$\sum_{i=1}^{M} N_i r_i \ \leq \ V_{[kbps]} \tag{19}$$

gdje je M broj prometnih klasa ponuđenih sustavu, r_i je potrebna brzina prijenosa prometnog izvora klase i, dok je N_i maksimalni broj prometnih izvora klase i koje sustav može poslužiti.

Kapacitet sustava isto tako može biti izražen prema broju raspodijeljenih jedinica, takozvanih osnovnih jedinica propusnosti (*Basic Bandwidth Units* - BBU). U slučaju višeuslužnih mobilnih sustava, usluživanje više prometnih klasa s različitom brzinom prijenosa (r), pretpostavlja se da bi vrijednost BBU trebala biti jednaka najvećem zajedničkom djelitelju (NZD) zahtijevanog resursa od pojedinog tokova poziva. U slučaju radio sučelja ćelijskog sustava s tvrdim kapacitetom, može se napisati:

$$r_{BBU} \ = \ NZD_{(r_1, r_2, \ldots, r_M)} \tag{20}$$

kapacitet sučelja može biti izražen u BBU kao:

$$V \ = \left[\frac{V_{[kbps]}}{r_{BBU}}\right] \tag{21}$$

isto tako, broj BBU potrebnih za poziv zadane klase može se izraziti:

$$t_i = \left[\frac{r_i}{r_{BBU}}\right] \tag{22}$$

ako svi prometni izvori zahtijevaju istu prijenosnu brzinu r, tada se kapacitet sustava može izraziti pomoću broja jedinica za dodjelu tih mjesta od BBU, na primjer:

$$V = \left[\frac{V_{[kbps]}}{r}\right] \tag{23}$$

6.1.3 Raspodjela resursa u mobilnim sustavima s mekim kapacitetom

UMTS sustav može biti smatran kao primjer sustava s mekim kapacitetom. Radio sučelje izolirane ćelije UMTS mreže ima, teoretski, veliki kapacitet *linka*. Dostupni kapacitet sučelja ograničen je prihvatljivom razinom interferencije u frekvencijskom kanalu. U svakom mobilnom sustavu s proširenim spektrom signala, kapacitet radio sučelja ograničen je kao rezultat pojave nekoliko vrsta interferencija: istokanalna interferencija unutar ćelije (dolazi od korisnika koji koriste isti frekvencijski kanala u isto vrijeme unutar ćelije), vanjska istokanalna interferencija unutar ćelije (dolazi od korisnika koji koriste isti frekvencijski kanala u isto vrijeme unutar susjedne ćelije), interferencije susjednih kanala (dolazi prilikom korištenja susjednih frekvencija kanala istog ili drugog mobilnog operatora) i svih mogućih šumova i smetnji nastalih od drugih okolnih izvora. Iz istog razloga, porast opterećenja u radio sučelju popraćena je rastom interferencije generirane od strane drugih korisnika usluga (u toj ćeliji ili u drugim ćelijama). Da bi se osigurala prihvatljiva razina usluge, potrebno je ograničiti broj zauzetih resursa za izvore prometnih usluga. Maksimalno korištenje resursa radio sučelja u UMTS mreži, bez smanjivanja kvalitete usluge, je oko 50 – 80%. Meki kapacitet radio sučelja je poznat i kao kapacitet ograničene interferencije.

Primjer su ćelijski sustavi s uslugama mekog kapaciteta (UMTS) prometa više brzine koji mogu biti sastavljeni od više klasa, od koje svaka zahtjeva određenu brzinu za posluživanje vlastitog poziva. Stoga, u analizi radio sučelja potrebno je razmotriti klasu

poziva i potrebnu brzinu poziva za tu klasu. Ukratko, radio sučelje UMTS sustava može se razmotriti kao diskretna višeuslužna mreža.

U radio sučelju UMTS sustava točan prijem signala na prijemniku moguć je jedino onda kada je E_b/N_0 prikladan. To znači da će premala vrijednost E_b/N_0 prijemniku onemogućiti dekodiranje prijemnog signala, dok će tu istu ali previsoku vrijednost korisnici istog radio kanala percipirati kao interferenciju.

6.1.4 Raspodjela jedinica u radio sučelju

U sustavima s mekim kapacitetom, dostupna propusnost sustava se razlikuje od teoretskog kapaciteta izolirane ćelije. Kapacitet takve ćelije može se mijenjati od maksimuma (kapacitet izolirane ćelije koji nije izložen vanjskim utjecajima) do određenog minimuma kapaciteta, kada je utjecaj opterećenja susjedne ćelije maksimalan. U razmatranom sustavu, upotreba brzine kao mjera raspodjele nije baš pogodna. Puno je pogodnija u situacijama kada se mjeri razina raspodjele resursa u drugim jedinicama pogodnijim za mobilne sustave s mekim kapacitetom.

Jednadžbe:

$$\eta_{UL} = \left(1 + \delta_j\right) \sum_{i=1}^{M} N_i \, L_i \quad [12] \tag{24}$$

$$\eta_{DL} = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N_i} \left(1 - \xi_j + \delta_j\right) L_i \quad [13] \tag{25}$$

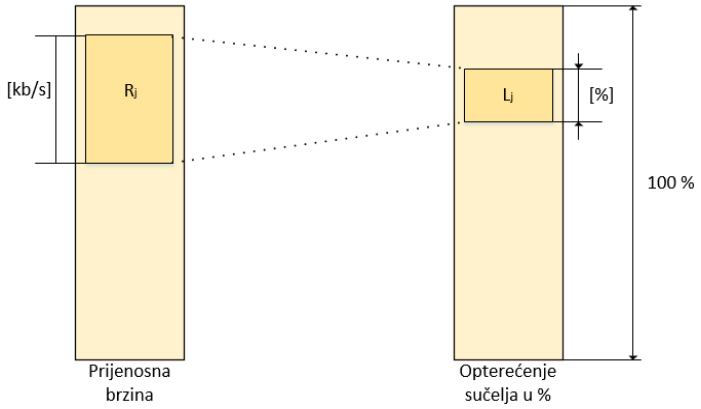
jasno ukazuju da mjera raspodjele resursa može biti postotak iskorištenosti radio sučelja pozivima svih prometnih klasa (gdje je η kapacitet radio sučelja za uzlaznu i silaznu vezu).

Dakle, raspodjela radio sučelja ne temelji se na dodavanju brzine prijenosa, nego na dodavanju faktora opterećenja pojedinih ćelija. Shema mijenjanja raspodjele resursa,

[12] Jednadžba opisuje ukupno opterećenje za uzlaznu vezu, gdje je parametar δ_j definiran kao omjer interferencije drugih ćelija i interferencije vlastite ćelije za *j*-tog korisnika.

[13] Jednadžba opisuje ukupno opterećenje za silaznu vezu, gdje parametar ξ_j ukazuje na stupanj interferencije između korisnika iste ćelije ili drugih ćelija kroz primjenu kanalnih kodova baziranih na ortogonalnoj varijabli faktora širenja za *j*-tog korisnika.

izraženih u kb/s, u raspodjeli resursa izraženih u postotku popunjenosti radio sučelja prikazana je slikom 21.



Slika 21:Raspodjela resursa u radio sučelju
Izvor:[1]

Ćelijski sustav s mekim kapacitetom podrazumijeva usluge s više prometnih klasa s različitim faktorima opterećenja. Takav sustav može se razmatrati kao sustav s više brzina (*eng. Multi-rate system*) u kojem bi vrijednost BBU trebala biti manja ili jednaka najvećem zajedničkom djelitelju od resursa koji zahtijevaju zasebno strujanje poziva. U slučaju WCDMA radio sučelja u UMTS mreži, može se napisati:

$$L_{BBU} = NZD(L_1, L_2, \dots, L_M) \tag{26}$$

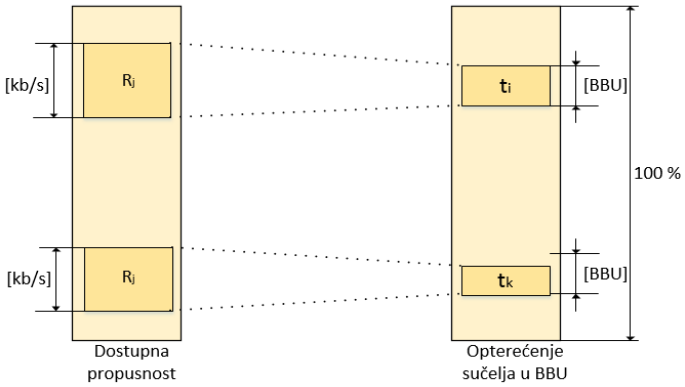
kapacitet sučelja može se izraziti pomoću broja BBU:

$$V = \left[\frac{\eta}{L_{BBU}}\right] \tag{27}$$

gdje je η kapacitet radio sučelja za uzlaznu ili silaznu vezu. Na sličan način može se izraziti broj BBU potrebnih za poziv u danoj klasi:

$$t_i = \left[\frac{L_i}{L_{BBU}}\right] \tag{28}$$

Slika 22 pokazuje način mijenjanja raspodjele resursa izraženih u kb/s u raspodjelu resursa izraženih u BBU, prema definiciji (28). Slika prikazuje poziv iz dviju klasa usluge i njihove odgovarajuće vrijednosti u opterećenju radio sučelja izražene u kb/s.



Slika 22:Raspodjela resursa u radio sučelju više stope
Izvor:[1]

6.2 Ćelijski sustav s tvrdim i mekim kapacitetom koji poslužuje samo jednu vrstu usluge

6.2.1 Ćelijski sustav s tvrdim kapacitetom koji poslužuje samo jednu vrstu usluge

U ovom poglavlju bit će prikazani modeli koji se koriste za utvrđivanje prometnih karakteristika radio sučelja u mobilnim mrežama s tvrdim kapacitetom. Početna točka za ovo poglavlje su modeli potpune dostupnosti.

Sljedeće važne oznake su:

E – vjerojatnost blokiranja za pozive ponuđene ćelijskom radio sučelju

B – vjerojatnost gubitaka za pozive ponuđene ćelijskom radio sučelju

A – intenzitet prometa ponuđen ćelijskom radio sučelju

L – faktor interferencije opterećenja uvođen s jednim pozivom u ćelijskom radio sučelju (izraženo u postocima)

η – pretpostavljen kapacitet ćelijskog radio sučelja, izražen u postocima

V_h - broj dostupnih kanala u ćelijskom radio sučelja (tvrdi kapacitet)

V – broj dostupnih kanala u ćelijskom radio sučelju, jednak V_s (meki kapacitet) ili V_h ovisno o modelu razmatranja

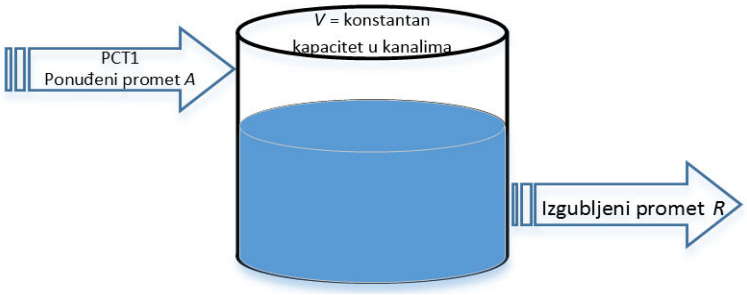
$\boldsymbol{\delta}$- omjer interferencije drugih ćelija i interferencije vlastite ćelije u silaznoj/uzlaznoj vezi

ξ – faktor ortogonalne varijable (u silaznoj vezi)

Y_V – intenzitet prometa nošen ćelijskim radio sučeljem

R – intenzitet odbijenog prometa u ćelijskom radio sučelju

y_V - intenzitet prometa nošen jednim kanalom ćelijskog radio sučelja.



Slika 23:Model koji poslužuje PCT1[14] promet u radio sučelju s tvrdim kapacitetom
Izvor:[1]

6.2.2 Erlangov model radio sučelja s tvrdim kapacitetom

Ovaj model odnosi se na GSM sustav i sustave koji ga prethode, a to su oni sustavi u kojima je broj pristupnih kanala u ćelijskom radio sučelju konstantan. Isto tako, može se pretpostaviti da je usluga poziva jedne klase ekskluzivna, što znači da svaki poziv zahtjeva jedan kanala za uspostavu konekcije.

Slika 23 prikazuje ovdje razmatrani model. Sve prometne karakteristike: vjerojatnost blokiranja, vjerojatnost gubitaka, preneseni i ponuđeni promet – proizlaze iz *Erlangove* formule. U ovom modelu pretpostavlja se da je $V = V_h$.

- Vjerojatnost blokiranja:

$$E_V(A) = E = B = \frac{A^V}{V!} / \sum_{i=0}^{V} \frac{A^i}{i!} \tag{29}$$

- Intenzitet prometa u ćeliji:

[14] Sasvim slučajan promet prvog tipa (*Pure Chance Traffic Type One* – PCT1) – vrsta prometa u kojem se pretpostavlja da su vremena posluživanja eksponencijalno distribuirana i proces dolazaka je *Poissonov* proces. Ovakav tip prometa naziva se još i *Erlangov* promet.

$$Y_V = A[1 - E] \tag{30}$$

- Intenzitet prometa nošen jednim kanalom radio sučelja u ćeliji:

$$y_V = Y_V/V \tag{31}$$

- Srednja vrijednost intenziteta izgubljenog prometa *R* (koji je različiti od intenziteta ponuđenog i prenesenog prometa):

$$R = A - Y_V = AE \tag{32}$$

6.2.3 Ćelijski sustav s mekim kapacitetom koji poslužuje samo jednu vrstu usluge

Ovo poglavlje prikazuje modele radio sučelja u mobilnim mrežama s mekim kapacitetom. Osnova predloženih modela radio sučelja su modeli potpune dostupnosti.

6.2.4 Erlangov model radio sučelja s mekim kapacitetom

Ovaj model primjenjuje se na mobilne sustave s mekim kapacitetom, u kojem je broj BBU ponuđen radio sučelju ćelije varijabilan i ovisan o vanjskim uvjetima (prometu susjednih ćelija). Pretpostavlja se da su ćelijske usluge isključivo jedna klasa poziva, što znači, da svaki poziv zahtjeva jedan BBU za uspostavu konekcije. Slika 24 vizualno prikazuje model ćelije koja se razmatra.

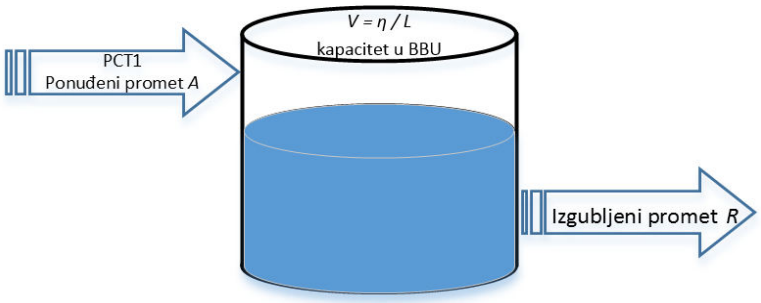
Za određivanje svojstva sustava, nužno je provoditi postupke za određivanje ekvivalentnog kapaciteta sustava:

- ekvivalentni kapacitet sustava za uzlaznu vezu u BBU:

$$V_{UL} = \left[\frac{\eta}{L\,(1 + \delta)}\right] \tag{33}$$

- ekvivalentni kapacitet sustava za silaznu vezu u BBU:

$$V_{DL} = \left[\frac{\eta}{L\,(1 - \xi + \delta)}\right] \tag{34}$$



Slika 24:Model koji poslužuje PCT1 promet u radio sučelju s mekim kapacitetom
Izvor:[1]

Nakon navedenog, preostale karakteristike sustava mogu biti određene na sličan način kao i na prijašnjem modelu, uz pretpostavku da je $V = V_{UL}$ za uzlaznu vezu i da je $V = V_{DL}$ za silaznu vezu.

U navedenom modelu, „mekoća“ radio sučelja određena je prihvaćenim koeficijentom δ i ortogonalnim faktorom ξ (silazna veza). Nadalje, u ovom određenom slučaju, modelira se sustav s mekim kapacitetom jednak sustavu s tvrdim kapacitetom, u kojem kapacitet ovisi isključivo o prihvaćenim vrijednostima koeficijenata δ i ξ.

7 ZAKLJUČAK

Uvođenje treće generacije mobilnih sustava donijelo je velike promijene u arhitekturi koja je podijeljena u slojeve te omogućuje da su pojedine usluge dostupne bez obzira na mrežu u kojoj se korisnik trenutačno nalazi, a ono što je specifično za svaku mrežu je vlastita upravljačka logika.

U odnosu na zastarjele analogne sustave, kod digitalnih sustava, snaga koju troši predajnik mobilne stanice je puno manja, te mobilna stanica može prema potrebi mijenjati snagu predajnog signala čime se produljuje vijek autonomnog rada mobilne stanice. Prilikom dizajniranja sustava treće generacije uvedeni su algoritmi nadzora pristupa koji pospješuju rad baznih stanica prilikom prekapčanja pokretne korisničke opreme. UMTS uvodi nove usluge poput *streaminga*, pozadinskih aplikacija, interaktivnih usluga i dr., a sve to je omogućeno zbog većih brzina prijenosa podataka paketskim modom.

HSDPA tehnologija uvodi nove mehanizme poput adaptivne modulacije i kodiranja, hibridni automatski zahtjev za ponavljanjem, više - kodni prijenos a sve u svrhu prijenosa podataka brzinama od 1.8 Mb/s, 3.6 Mb/s. 7.2 Mb/s i 14.4 Mb/s, što je više nego dotada.

UMTS tehnologija primjer je sustava s mekim kapacitetom u trećoj generaciji mobilnih sustava i kao takva pogodna je za kontrolu opterećenja referentnih ćelija što rezultira boljom propusnošću i većom kvalitetom korisničkog signala. Uvedeni su modeli potpune dostupnosti koji predstavljaju fleksibilnost kapaciteta ćelije ovisno o vanjskim utjecajima.

Uvođenjem 3G sustava mobilna telefonija bilježi veliki porast broja korisnika u svijetu zbog boljih i zanimljivijih usluga nego prije. Osim govora, korisnik ima mogućnosti koristiti usluge poput video telefonije, brzi pristup Internetu, itd., uz puno veće brzine nego u dosadašnjim mobilnim sustavima.

Popis literature

[1] Stasiak M, Glabowski M, Wisniewski A, Zweierzykowski P. Modeling and Dimensioning of Mobile Network: From GSM to LTE, 2011; p.15-42, 191-234

[2] Docstoc. Radio Interface Figure 14.13 IMT – 2000 Terrestrial Radio Interfaces.
Dostupno s:
http://www.docstoc.com/docs/68247051/Radio-Interface-Figure-14.13-IMT-2000-Terrestrial-Radio-Interfaces
(preuzeto: 10.7.2015.)

[3] S-UMTS int he Wireless Information Society: The Challenges Ahead, 2009. godina.
Dostupno s:
http://cordis.europa.eu/infowin/acts/analysys/products/thematic/newmobile/5-sumts.htm
(preuzeto: 11.7.2015.)

[4] Atdi: General Consideration in Wimax Technologies.
Dostupno s: http://www.atdi.us.com/generalWimax.php
(preuzeto: 12.7.2015.)

[5] Malić N: Univerzalni sustav pokretnih telekomunikacija [Internet]. Ericsson: Revija – Časopis Dioničkog Društva, 2003. godine.
Dostupno s: http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_2_2003/univerzalni_sustav.htm
(preuzeto: 13.7.2015.)

[6] http://www.telfor.rs/telfor2006/Radovi/03_RK_02.pdf (preuzeto: 12.8.2015.)

[7] Rappaport T.S, *Wireless Communications: Principles and practice*, Second Edition, Prentice Hall, 2002.
(preuzeto: 12.8.2015.)

Popis ilustracija

Slika 1:Tehnike radio prijenosa zemaljski bazirane u IMT-2000 sustavu 4
Slika 2:Frekvencijski plan UMTS sustava, [3] 5
Slika 3:Duplex za FDD i TDD način prijenosa.....5
Slika 4:Mrežna arhitektura UMTS sustava pod verzijom R99.....6
Slika 5:Usporedba postojeće i nove mreže.....8
Slika 6:Prikaz slojevite arhitekture UMTS/WCDMA sustava 9
Slika 7:Arhitektura pristupne mreže UMTS sustava 11
Slika 8:Mehanizmi kontrole snage u WCDMA sustavu 13
Slika 9:Primljeni odnos signala i interferencije u baznoj stanici 13
Slika 10:Prikaz mekog prekapčanja.....15
Slika 11:Mekše prekapčanje 15
Slika 12:Djelovanje brze retransmisije od čvora B (HSDPA/HSUPA) 20
Slika 13: Osnovni model sustava posluživanja s čekanjem.....23
Slika 14:M/M/3 sustav čekanja u redu 25
Slika 15:Prikaz procesa dolazaka poziva i posluživanja u sustavu s čekanjem 27
Slika 16:M/M/1 sustav s čekanjem.....29
Slika 17:Markovljev proces ravnoteže u M/M/1 sustavu.....30
Slika 18:M/M/m sustav s čekanjem.....32
Slika 19:Markovljev proces ravnoteže (dijagram rađanja - i - umiranja) u M/M/m sustavu ..32
Slika 20:Fenomen mekog kapaciteta 35
Slika 21:Raspodjela resursa u radio sučelju 39
Slika 22:Raspodjela resursa u radio sučelju više stope.....40
Slika 23:Model koji poslužuje PCT1 promet u radio sučelju s tvrdim kapacitetom 41
Slika 24:Model koji poslužuje PCT1 promet u radio sučelju s mekim kapacitetom 43

Popis kratica

3G (Third Generation) treća generacija prijenosa podataka

3GPP (Third Generation Partnership Project) treća generacija partnerskog projekta

AC (Admission Control) kontrola pristupa mreži

AMC (Adaptive Modulation and Coding) adaptivna modulacija i kodiranje

AMPS (Advanced Mobile Phone System) napredni mobilni sustav

AuC (Authenication Centre) centar za provjeru vjerodostojnosti

BLER (Block Error Rate) intenzitet pogrešno prenesenih blokova

CDMA (Time Division Multiple Access*)* višestruki pristup s vremenskom raspodjelom

CN (Core Network) jezgrena mreža

CQI (Channel Quality Indicator*)* pokazatelj razine signala

CRNC (Controlling Radio Network Controller) kontroler modula za upravljanjem radio postajama

CS (Circuit Switched) domena komutacije kanala

DRNC (Drift Radio Network Controller) RNC pod od čijim nadzorom se nalaze bazne stanice (Node B) koje su potencijalni kandidati na koje će se UE prespojiti kada ne bude više imao zadovoljavajuće uvjete na području bazne stanice na kojoj se trenutno nalazi

E–DCH (Enhanced Dedicatet Channal) poboljšani namjenski kanal

EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) prijenos podataka u GSM mreži većim brzinama

FDD (Frequency Division Duplex) *duplex* sa frekvencijskom podjelom kanala

FDMA (Frequency Division Multipe Access) višestruki pristup s frekvencijskom podjelom

FIFO (First In-First Out) prvi došao, prvi poslužen

FNR (Flexible Numbering Register) registar fleksibilnog numeriranja

GGSN (Gateway GPRS Support Node) usmjereni GPRS čvor podrške

GPRS (General Packet Radio Services) opće paketne radijske usluge

HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) hibridni automatski zahtjev za ponavljanjem

HLR (Home Location Register) registar vlastitih korisnika

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) prijenos podataka velikom brzinom paketnim modom u pristupnoj mreži na silaznoj vezi

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) prijenos podataka velikom brzinom paketnim modom u pristupnoj mreži na uzlaznoj vezi

HS – DPCCH (High-Speed Dedicated Physical Control Channel) fizički nadzorni kanal

HS – DSCH (High Speed Downlink Shared Channel) kanal velike brzine na silaznoj vezi dijeljen između više korisnika

HS – PDSCH (High-Speed Physical Downlink Shared Channel) fizički silazni dijeljeni kanal

HS – SCCH (High-Speed Shared Control Channel) zajednički kontrolni kanali

IMSI (International Mobile Subsriber Identitty) identitet mobilnih korisnika na međunarodnoj razini

IMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000) međunarodni mobilni telekomunikacijski sustav 2000

IP (Internet Protocol) Internet protokol

IS-136 (Interim Standard–136) privremeni standard 136

ITU (International Telecommunication Union) međunarodni telekomunikacijski savez

LC (Load Control) kontrola mrežnog opterećenja

LIFO (Last In-First Out) zadnji došao, prvi poslužen

MC CDMA (Multi-Carrier Code Division Multiple Access) višestruki pristup s kodnom podjelom s više nositelja

MGw (Media Gateway) medijski pristupnik

MSC (Mobile Switching Centre) komutacijsko čvorište mobilne mreže

MSISDN (Mobile Station International Subscriber Directory Number) međunarodni imenik korisničkih brojeva mobilnih stanica

NMT (Nordic Mobile Telecommunication) mobilne komunikacije skandinavskih zemalja

PC (Power Control) kontrola snage

PCT1 (Pure Chance Traffic Type One) sasvim slučajan promet prvog tipa

PCT2 (Pure Chance Traffic Type Two) sasvim slučajan promet drugog tipa

PN Code (Pseudo Noise Code) kod pseudo-šum

PS (Packet Switched) domena komutacije paketima

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) kvadraturna amplitudna modulacija

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) diskretna kvadraturna fazna modulacija

RBS (Radio Base Station) radio – bazna stanica

RNC (Radio Network Controller) modul za upravljanje radio postajama

SGSN (Serving GPRS Support Node) čvor podrške posluživanja GPRS usluge

SIR (Signal to Interference Ratio) odnos signala i interferencije

SIRO (Service In Random Order) posluživanje slučajnim redoslijedom

SRNC (Serving RNC) poslužiteljski RNC

TDD (Time Division Duplex) vremenska podjela kanala

TDMA (Time Division Multiple Access) višestruki pristup s vremenskom raspodjelom

TTI (Time Transmission Interval) vremenski interval prijenosa

UE (User Equipment) korisnička oprema

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) univerzalni mobilni telekomunikacijski sustav

UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access) UMTS zemaljski radio pristup

UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network UMTS zemaljska radio pristupna mreža

UWC-136 (*Universal Wireless Communication* 136) univerzalne bežične komunikacije 136

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) višestruki širokopojasni pristup s kodnom raspodjelom

Popis tablica

Tabela 1:Komparacija svojstava DCH kanala (R99), HS – DSCH (HSDPA) i E – DSH (HSUPA) ..20
Tabela 2:Klase usluge UMTS sustava i njihovi osnovni parametri prijenosa.....22

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

METAPODACI

Naslov rada: Modeliranje i dimenzioniranje radio sučelja u 3G mobilnim mrežama

Autor: Eugen Fiak
Mentor: izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Naslov na drugom jeziku (engleski):
Modelling and Dimensioning of the Radio Interface in 3G Mobile Networks

Povjerenstvo za obranu:

- doc. dr. sc. Niko Jelušić , predsjednik
- izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj , mentor
- dr. sc. Marko Matulin , član
- prof. dr. sc. Zvonko Kavran , zamjena

Ustanova koja je dodjelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu
Zavod: Zavod za informacijsko komunikacijski promet
Vrsta studija: sveučilišni
Naziv studijskog programa: Promet
Stupanj: preddiplomski
Akademski naziv: univ. bacc. ing. traff.
Datum obrane završnog rada: **15. rujna 2015.**

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **Modeliranje i dimenzioniranje radio sučelja u 3G mobilnim mrežama**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 08.09.2015

(potpis)