

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Mislav Dumančić

ANALIZA KVALITETE USLUGE U UMTS
MREŽI

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

**ANALIZA KVALITETE USLUGE U UMTS
MREŽI**

**ANALYSIS OF QUALITY OF SERVICE IN UMTS
NETWORK**

Mentor: prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Student: Mislav Dumančić

JMBAG: 0035201182

Zagreb, ožujak 2020.

SAŽETAK

U ovome radu napravljena je analiza kvalitete usluge u mobilnim mrežama treće generacije. Detaljno je objašnjena arhitektura mobilne mreže treće generacije te značajke koje omogućuju pružanje usluga korisnicima. Definiran je pojam kvalitete usluge i parametri kvalitete usluge na temelju kojih se njena razina mjeri. Analizirani su zahtjevi pojedinih aplikacija za kvalitetom usluge te su definirane klase po kojima su razne vrste usluga raspoređene. Na samom kraju, opisani su mehanizmi pomoću kojih se osigurava kvaliteta usluge u mobilnim mrežama treće generacije.

KLJUČNE RIJEČI: usluga, kvaliteta usluge, parametri kvalitete usluge, mehanizmi za osiguravanje kvalitete usluge, klase usluge, 3G

SUMMARY

The thesis analyzes the quality of service in third generation mobile networks. The architecture of the third generation mobile network and the features that make it possible to provide customer service are explained in detail. The thesis defines service quality and the parameters by which the level of service is measured. The requirements for quality of service of individual applications are analyzed, and the standards according to which different types of services are allocated are defined. Finally, the thesis describes mechanisms to ensure the quality of service in third generation mobile networks.

KEY WORDS: service, quality of service, quality of service parameters, quality of service assurance mechanisms, service classes, 3G

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Značajke 3G/UMTS mreže	3
2.1. Arhitektura 3G/UMTS mreže	5
2.1.1. Korisnička domena	6
2.1.2. Jezgrena mreža.....	7
2.1.3. Radijska pristupna mreža	10
2.2. FDD i TDD tehnike odašiljanja	11
2.2.1. Frekvencijsko područje.....	11
2.2.2. UTRA FDD.....	12
2.2.3. UTRA TDD	13
2.2.4. Kodiranje.....	13
2.2.5. HSDPA, HSUPA, HSPA+.....	14
3. Analiza parametara kvalitete usluge	16
3.1. Propusnost.....	18
3.2. Gubitak paketa	19
3.3. Kašnjenje.....	20
3.4. Varijacija kašnjenja.....	21
4. Zahtjevi aplikacija za kvalitetom usluge i klase usluge.....	23
4.1. Zahtjevi aplikacija za kvalitetom usluge.....	23
4.2. Klase usluge	25
4.2.1. Konverzacijska klasa	26
4.2.2. Streaming klasa.....	27
4.2.3. Interaktivna klasa	28
4.2.4. Pozadinska klasa	28
5. Mehanizmi za osiguravanje kvalitete usluge	29
5.1. QoS mehanizmi u UMTS jezgrenoj mreži.....	30
5.1.1. UMTS kontrola pristupa poziva.....	32
5.1.2. QoS diferencijacija između UE	32
5.1.3. Korištenje <i>DiffServ</i> -a na sloju 3	33
5.1.4. Korištenje MPLS-a na slojevima 2 i 3	35
5.1.5. Ugovor o kvaliteti usluge.....	36
5.2. QoS mehanizmi u UMTS terestrijalnoj mreži	36

5.2.1. Kontrola radio pristupa	37
5.2.2. Alokacija i upravljanje radijskim resursima	38
5.2.3. Kontrola radijskog opterećenja	39
5.2.4 Sinkronizacija i raspoređivanje	39
6. Zaključak.....	40
Literatura.....	41
Popis kratica.....	44
Popis slika	48
Popis tablica.....	49

1. Uvod

Razdoblje mobilnih mreža druge generacije obilježio je veliki porast popularnosti mobilnih uređaja. Paralelno s porastom popularnosti mobilnih uređaja, radilo se na tome da se prva računala povežu na Internet. Internet i porast popularnosti mobilnih terminalnih uređaja su bili savršeni temelji za razvoj novih usluga i aplikacija koje su se temeljile na multimediji. Prije samog razvoja tih usluga i aplikacija, bilo je potrebno razviti mrežu koja će podržavati rad svih usluga i pružiti dovoljno dobru podršku kako bi korisnici bili zadovoljni njihovom kvalitetom.

Mobilne mreže treće generacije predstavljaju sustav koji je upravo to omogućio. Pojavom novih usluga javili su se veći zahtjevi za njihovom kvalitetom i to je bio najveći izazov pri dizajniranju ovog sustava. Upravo će se o tome govoriti u ovom radu.

Naslov završnog rada je: Analiza kvalitete usluge u UMTS mreži. Rad je podijeljen u šest cjelina:

1. Uvod
2. Značajke 3G/UMTS mreže
3. Analiza parametara kvalitete usluge
4. Zahtjevi aplikacija za kvalitetom usluge i klase usluge
5. Mehanizmi za osiguravanje kvalitete usluge
6. Zaključak.

U drugom poglavlju su definirane osnovne značajke mobilne mreže treće generacije koje su zaslužne za kvalitetan rad ove mreže. Opisana je arhitektura same mreže te njene domene, frekvencijsko područje, procesi kodiranja i prespajanja poziva te tri tehnologije koje omogućuju velike brzine prijenosa podataka.

U trećem poglavlju su opisani osnovni parametri kvalitete usluge. Pomoću tih parametara se definira razina kvalitete usluge aplikacija i usluga koje UMTS mreža podržava.

Nakon definiranja parametara, u četvrtom poglavlju su definirani zahtjevi aplikacija za kvalitetom usluge. Podatkovne, glasovne i video aplikacije predstavljaju tri osnovne vrste aplikacija i svaka vrsta aplikacija ima vlastite zahtjeve za kvalitetom usluge. Također, u ovom poglavlju su definirane klase usluga.

U petom poglavlju su analizirani mehanizmi kojima se osigurava kvaliteta usluge unutar UMTS mreže. Mehanizmi za osiguravanje kvalitete usluge se razlikuju za različite dijelove mreže i oni su analizirani i podijeljeni ovisno o tome da li djeluju u jezgrenoj ili pristupnoj mreži.

2. Značajke 3G/UMTS mreže

Proces prelaska s mobilnih mreža druge generacije (eng. second generation – 2G) na mobilne mreže treće generacije (eng. third generation - 3G) nije se dogodio direktno, već su tomu posredovale dvije tehnologije koje se nazivaju GPRS (eng. General Packet Radio Service) i EDGE (eng. Enhanced Data Rates for GSM Evolution). GPRS ili 2.5G je stvoren kako bi nadgradio postojeće mobilne mreže druge generacije. Glavna karakteristika koju je GPRS uveo je komutacija paketa, u odnosu na GSM (eng. Global System for Mobile Communications) koji je primarno koristio komutaciju kanala. Upravo je komutacija paketa omogućila postizanje većih brzina prijenosa i povećanje kapaciteta sustava, što je rezultiralo prvim povezivanjem računala na Internet. EDGE ili 2.7G je predstavljao unaprijeđeni GPRS zbog toga što je dodatno povećao brzine prijenosa podataka i kapacitet sustava.

Pojava Interneta predstavljala je osnovu za stvaranje novih multimedijских aplikacija i raznih usluga koje se baziraju na paketnom prijenosu podataka bežičnim putem i zato se krenulo u stvaranje 3G mreže. Unatoč tome što je 2G mreža omogućila pristup Internetu, brzine prijenosa podataka su bile premale i samo korištenje Interneta i raznih usluga nije postiglo željeni učinak. Upravo zbog toga, cilj je bio da se na temeljima koje su postavile tehnologije EDGE i GPRS stvori mobilna mreža koja omogućuje da korisnici istovremeno mogu koristiti Internet i razne multimedijске usluge sa svojih terminalnih uređaja. Rezultat toga je UMTS (eng. Universal Mobile Telecommunications System) Forum, stvoren 1996. godine u Europi, kako bi se ubrzao proces definiranja potrebnih standarda za stvaranje 3G mreže. Pored UMTS Foruma u Europi, Sjedinjene Američke Države, Japan i Južna Koreja također provode razna istraživanja usmjerena prema definiranju potrebnih standarda za mobilne mreže treće generacije [1].

Veliki napredak se dogodio 1996. godine kada su ARIB (eng. Association of Radio Industries and Businesses) i ETSI (eng. European Telecommunications Standards Institute) odabrali WCDMA (eng. Wideband Code Division Multiple Access) radijsku tehnologiju kao tehnologiju na kojoj će se bazirati rad UMTS-a. Paralelno s njima, NTT DoCoMo šalje ponude najvećim svjetskim proizvođačima telekomunikacijske opreme s kojom zatražuje izgradnju prvih prototipa WCDMA sustava kojom proizvođači moraju donijeti odluku hoće li se fokusirati na istraživanja WCDMA sustava ili će zaobići tržište Japana. Kako bi se izbjegle takve situacije, 1998. godine od strane raznih normizacijskih tijela iz cijeloga svijeta pokrenut je globalni projekt pod nazivom 3GPP

(eng. Third Generation Partnership Project) čiji je cilj bio definiranje specifikacija za UMTS sustave i radio sučelje UTRA (eng. UMTS Terrestrial Radio Access).

Prema [2] zahtjevi koji su definirani i koje svaki UMTS sustav mora podržavati su:

- brzine do 2 Mbps u zatvorenom području i gradskim područjima
- brzine do 144 kb/s u bilo kojim uvjetima
- brzine do 64 kb/s u pokretnim mobilnim mrežama.

Pored toga što je 3GPP bio zadužen za standardizaciju i normizaciju, još se morao riješiti problem neograničenog kretanja iz mreže u mrežu. Upravo zbog toga su razne udruge za normizaciju bile prisiljene uskladiti svoje norme s ITU (eng. International Telecommunication Union) normama kako bi one bile u skladu s inicijativom IMT - 2000 (eng. International Mobile Telecommunications - 2000) čiji je cilj bio stvaranje mreže za globalnu upotrebu.

Osnovni zahtjevi prema IMT-2000 navedeni u [3] koje sustav mora zadovoljavati su:

- nove multimedijske usluge
- neograničeno kretanje iz mreže u mrežu
- visok stupanj kvalitete usluge
- sigurnost podataka
- mogućnost migracije sustava druge generacije u sustave treće generacije
- standardizacija terminala.

Zbog stalnog porasta broja korisnika na Internetu i terminalnih uređaja, bilo je potrebno nadograditi osnovne zahtjeve koje je zadao IMT-2000. Nadogradnju zahtjeva proveo je 3GPP kroz svoje dokumente: *UMTS Release 99*, *UMTS Release 4*, *UMTS Release 5*, *UMTS Release 6* i *UMTS Release 7*.

3GPP je kroz *Release 4* definirao da će se mreža bazirati na IP (eng. Internet Protocol) protokolu, umjesto do tada korištenog asinkronog moda prijenosa. Uvođenje IP protokola kao prijenosne tehnologije dovelo je u pitanje kako će se efikasno koristiti mala širina pojasa između transportne mreže i čvora B uz poštivanje svih uvjeta vezanih za kašnjenje. Zbog toga, u 3GPP-u se prema [4] diskutiralo o dva rješenja:

- Segmentacija velikih okvira i umetanje segmenata kako bi se spriječilo, na primjer, odgađanje malih paketa zbog velikih paketa.
- Multipleksiranje svih malih paketa unutar IP okvira.

3GPP kroz *Release 5* predstavlja IP multimedijske mehanizme koji se baziraju na SIP protokolu (eng. Session Initiation Protocol). Pored utjecaja na multimedijski pozivni poslužitelj i *gateway*, upotreba SIP-a utječe na rukovanje QoS-om (eng. Quality of Service) u jezgrenoj mreži UMTS-a na sljedeća 3 načina:

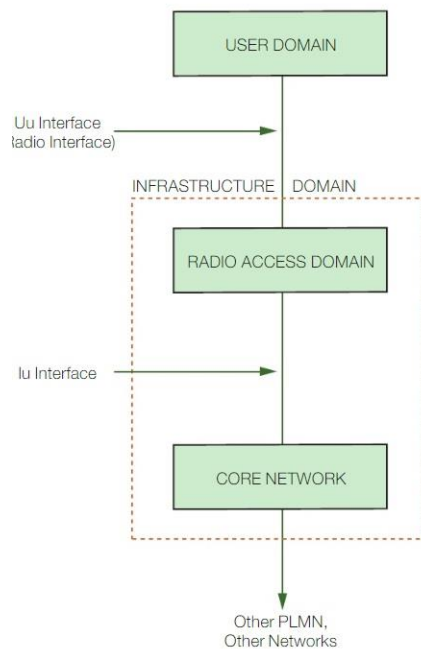
- Rezervacija resursa unutar domene koja se bazira na komutaciji paketa će biti sinkronizirana sa kontrolom multimedijskih poziva (eng. MultiMedia Call Control – MMCS).
- GGSN (eng. Gateway GPRS Support Node) će morati terminirati signalizaciju RSVP (eng. Resource Reservation Protocol) protokola.
- Čvorovi servisne domene utječu na QoS prilikom poziva putem MMCS-a.

Release 6 i *Release 7* se primarno fokusiraju na razvoju naprednih metoda prijenosa podataka, te na generalnom poboljšanju mehanizama kojima se provode QoS usluge kroz mrežu.

2.1. Arhitektura 3G/UMTS mreže

Prilikom stvaranja UMTS sustava bilo je bitno da je on što je moguće fleksibilniji zbog toga što se nije znalo kakvi će se zahtjevi i norme pojaviti u budućnosti. Upravo zbog toga je sustav dizajniran na modularan način, što znači da je sustav podijeljen u više manjih dijelova. Time je omogućeno da mrežni čvorovi mogu imati implementacije novih funkcionalnosti i definirana su otvorena sučelja koja su se nalazila između tih čvorova. Važan faktor prilikom stvaranja arhitekture UMTS mreže je taj da se može obaviti migracija s GSM mreže uz male troškove [5].

UMTS mreža se dijeli na dvije fizičke domene: korisničku i infrastrukturnu kako je prikazano na slici 1. Infrastrukturnu domenu čine jezgrena mreža i radio pristupna mreža. Važna značajka u standardizaciji UMTS-a je da unutarnje funkcije domena nisu definirane, već su definirana sučelja između njih, te su otvorenog tipa. UMTS mreža može biti podijeljena u više podmreža koje mogu funkcionirati zasebno ili zajedno, ali gdje svaka ima vlastiti identitet. Takva mreža se opisuje kao PLMN (eng. Public Land Mobile Network) i može biti povezana s drugim mrežama.



Slika 1. UMTS domene

Izvor: [5]

2.1.1. Korisnička domena

Korisnička domena opisuje opremu koja je potrebna da bi korisnik pristupio UMTS uslugama.

Korisnička domena je sastavljena od dvije pod domene, a one su:

- USIM (eng. User Services Identity Module)
- ME (eng. Mobile Equipment).

USIM domena se sastoji od podataka i procedura koji omogućuju ME da se sigurno identificira, i povezana je s ME preko Cu sučelja.

ME domena provodi radio transmisije i sadrži aplikacije. ME domena se dijeli na:

- MT (eng. Mobile Termination) - radio funkcije
- TE (eng. Terminal Equipment) - *end - to - end* aplikacije.

Funkcionalnost MT je potpuno nova u UMTS-u jer ima mogućnost komunikacije s pristupnom mrežom preko novog Uu radio sučelja.

2.1.2. Jezgrena mreža

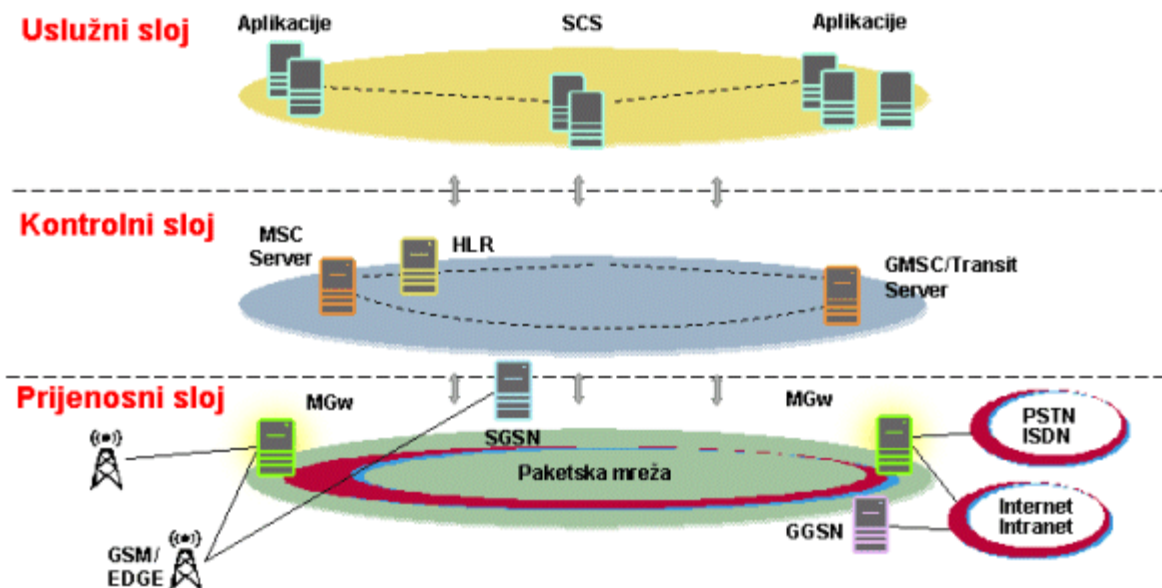
Jezgrena mreža pripada infrastrukturnoj domeni u kojoj su elementi mreže funkcionalno grupirani kako bi obavljala procese komutacije i usmjeravanja poziva i podatkovnih veza k vanjskim mrežama.

Jezgrena mreža UMTS-a nije toliko drugačija u odnosu na jezgrenu mrežu GSM-a, te se ona može realizirati nadogradnjom postojeće GSM jezgrene mreže. Za razliku od jezgrene mreže, radio pristupna mreža UMTS/WCDMA sustava predstavlja revoluciju u odnosu na pristupnu mrežu GSM sustava, dok jezgrena mreža predstavlja evoluciju postojeće GSM mreže.

Ključna značajka UMTS/WCDMA sustava, koja se najviše odnosi na jezgrenu mrežu je slojevita arhitektura mreže. Prijašnje mreže su bile vertikalno ustrojene, pri čemu je svaka mreža imala svoju zasebnu prijenosnu mrežu, svoju upravljačku logiku i bila je dizajnirana za točno određeni tip usluge. Horizontalan ustroj mreže znači da više mreža dijeli istu prijenosnu mrežu, da su određene usluge dostupne bez obzira u kojoj mreži se korisnik nalazi jer postoji zajednička uslužna mreža, ali će svaka mreža imati svoju upravljačku logiku [6].

Prema [6] jezgrena mreža UMTS/WCDMA sustava ima realiziranu slojevitost prikazanu na slici 2, koja je horizontalno ustrojena te je ona realizirana kroz tri sloja:

- uslužni sloj (eng. service layer)
- upravljački sloj (eng. control layer)
- prijenosni sloj (eng. connectivity layer).



Slika 2. Slojevita arhitektura UMTS/WCDMA sustava

Izvor: [6]

Uslužni sloj je dio okvira uslužne mreže, dok upravljački i prijenosni sloj čine jezgrenu mrežu. Upravljački sloj se sastoji od elemenata koji s jedne strane predstavljaju sučelje prema uslužnoj mreži, a s druge strane upravljaju prijenosom informacija koji se odvija u prijenosnom sloju te ga nadziru. Također, prijenosni sloj je zadužen za povezivanje jezgrene mreže s drugim vanjskim mrežama.

Jezgrena mreža, ako se govori o načinu prijenosa podataka se dijeli na:

- domenu komutacije kanalima
- domenu komutacije paketima
- elemente koji su zajednički za obje domene.

Domena komutacije kanala sadrži sljedeće elemente:

- MSC poslužitelj (eng. Mobile Switching Centre)
- MGw (eng. Media Gateway - MGw).

Domena komutacije kanala sadrži MSC poslužitelj koji predstavlja osnovni upravljački element te domene i zadužen je za upravljanje pozivima (uspostavljanje, nadziranje i raskidanje poziva),

upravljanje dodatnim uslugama, upravljanje i prikupljanje tarifnih i obračunskih podataka, upravljanje funkcijama vezanim za mobilnost pretplatnika i za upravljanje radom medijskih pristupnika.

Medijski pristupnik je središnji element prijenosnog sloja i zadužen je za funkcionalnosti kao što su: eliminacija jeke, enkodiranje/dekodiranje govora iz PCM modulacije (eng. Pulse Code Modulation - PCM) u AMR (eng. Adaptive Multirate) kodek i obratno, omogućavanje poziva između više od dva pretplatnika te interaktivne poruke pretplatnicima. Također, zadužen je za prilagođavanje podataka koji se prenose različitim prijenosnim tehnologijama. Medijski pristupnik je logički smješten na rubovima prijenosnog sloja i ima ulogu sučelja prema drugim vanjskim i pristupnim mrežama.

Osnovni elementi domene komutacije paketa su:

- SGSN čvor (eng. Serving GPRS Support Node)
- GGSN čvor.

Ovi čvorovi imaju gotovo istu ulogu kao i u GSM/GPRS sustavu. SGSN čvor sadrži funkcije za kontrolu podatkovnih sesija, funkcije lociranja i praćenja pretplatnika te funkcije upravljanja i prikupljanja tarifnih i obračunskih podataka. GGSN čvor predstavlja vezu prema vanjskim podatkovnim mrežama, a sadrži i funkcije kontrole podatkovnih sesija, funkciju dodjele IP adresa i funkcije za potvrdu vjerodostojnosti korisnika.

Elementi koji su zajednički za obje domene su:

- registar vlastitih pretplatnika (eng. Home Location Register - HLR)
- centar za provjeru vjerodostojnosti (eng. Authentication Centre - AuC)
- fleksibilan registar brojeva (eng. Flexible Numbering Register - FNR).

HLR čvor predstavlja središnju bazu podataka koja sadrži podatke o pretplatnicima kao što su vrsta pretplate, dodatne usluge, lokacija pretplatnika, itd. AuC čvor predstavlja bazu podataka koja zajedno sa HLR čvorom sudjeluje u potvrdi vjerodostojnosti pretplatnika. Funkcionalnosti ova dva čvora su najčešće integrirane u jednom fizičkom čvoru. FNR čvor predstavlja bazu podataka koja sadrži vezu između IMSI broja (eng. International Mobile Subscriber Identity) i MSISDN (eng.

Mobile Station ISDN Number) mobilnih pretplatnika i tako se omogućuju funkcionalnosti kao što su zadržavanje pretplatničkog broja prilikom promjene operatora.

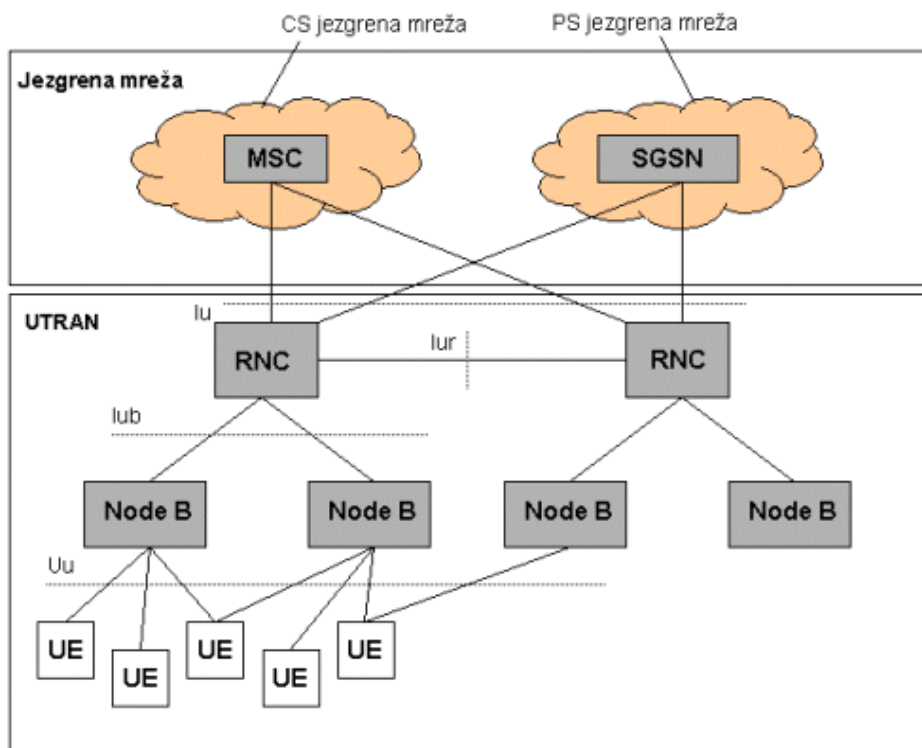
2.1.3. Radijska pristupna mreža

Radijska pristupna mreža je uz jezgrenu mrežu dio infrastrukturne domene UMTS-a i ona je zadužena za upravljanje sa svim funkcionalnostima. UMTS koristi širokopojasni višestruki pristup s kodnom raspodjelom i ta metoda pristupa na zračnom sučelju je zahtijevala novu pristupnu mrežu UTRAN (eng. UMTS Terrestrial RAN) te je jezgrena mreža zahtijevala minimalne modifikacije da bi se prilagodila UTRAN-u [7].

Prema [7] uvedena su dva nova elementa u UTRAN, a ona su:

- modul za upravljanje baznim stanicama (eng. Radio Node Controller - RNC)
- čvor B - bazna stanica u UTRAN-u (eng. Node B).

Arhitektura radijsko pristupne mreže u UMTS sustavu prikazana je na slici 3:



Slika 3. Arhitektura radio pristupne mreže

Izvor: [6]

Radijska pristupna mreža sastoji se od sljedećih komponenata:

- radijska - bazna stanica (eng. Radio Base Station - RBS)
- modul za upravljanje baznim stanicama
- korisnička oprema (eng. user equipment - UE)
- koncentrador tj. komponenta koja se koristi za koncentriranje prometa prema modulu za upravljanje baznim stanicama, a nalazi se između RBS-a i RNC-a.

Sučelja koja su definirana u radijskoj pristupnoj mreži su:

- Uu - sučelje između korisničke opreme i radijske bazne stanice (UTRA FDD zračno sučelje)
- Iub - sučelje između radijske bazne stanice i modula za upravljanje baznim stanicama
- Iur - sučelje između dva modula za upravljanje baznim stanicama
- Iu - sučelje između modula za upravljanje baznim stanicama i jezgrene mreže.

2.2. FDD i TDD tehnike odašiljanja

Glavna razlika između GSM i UMTS mreže je u prijenosu podataka na zračnom sučelju. UMTS koristi WCDMA radio tehnologiju za postizanje veće spektralne učinkovitosti i propusnosti, te većina pozitivnih značajki višestrukog pristupa s kodiranom raspodjelom po vremenu i učestalosti dolazi iz širokopojasnosti i nekih karakteristika cjelokupnog sustava, a ne iz karakteristika pojedine radio veze.

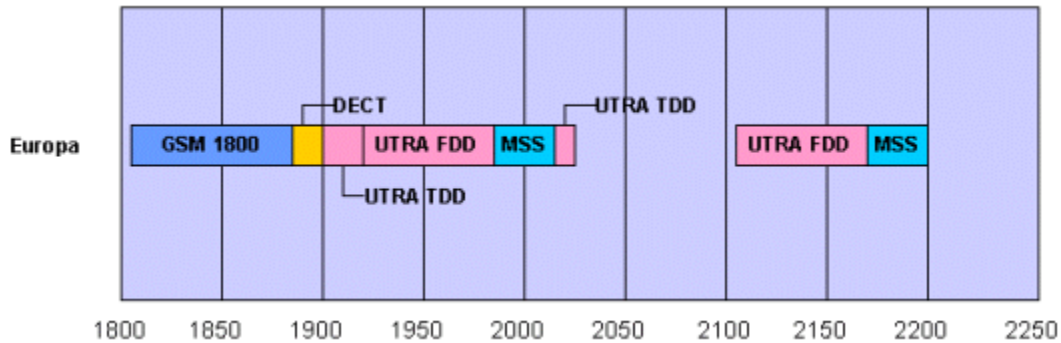
Prema [5] dvije tehnike odašiljanja koje UTRA koristi su:

- UTRA FDD (eng. UTRA Frequency Division Duplex)
- UTRA TDD (eng. UTRA Time Division Duplex).

2.2.1. Frekvencijsko područje

Prilikom razvoja 3G mreže WARC-92 (eng. The World Administrative Radio Congress) definirao je frekvencijsko područje od 230 MHz na globalnoj razini. Od toga, 2x60 MHz je bilo određeno za FDD i 35 MHz za TDD i dio spektra je ostavljen za satelitske usluge [2].

Uvođenjem novog sustava, došlo je do potrebe za dodatnim frekvencijskim spektrom u Europi pa je za UTRA FDD definirano područje od 1920 - 1980 MHz u uzlaznoj vezi, i područje od 2110 - 2170 MHz u silaznoj vezi kao što je prikazano na slici 4.



Slika 4. Frekvencijsko područje za UTRA FDD

Izvor: [6]

2.2.2. UTRA FDD

UTRA FDD predstavlja tehniku odašiljanja s frekvencijskim dupleksom koja se koristi kada se koriste različite frekvencije za uzlaznu i silaznu vezu, ali obje koriste isti vremenski interval. UTRA FDD za odašiljanje koristi W-CDMA tehnologiju višestrukog pristupa.

Značajke UTRA FDD tehnike navedene u [8] su:

- FDD tehnika koja koristi W-CDMA
- silazna i uzlazna veza koriste različite frekvencije
- svaki radio kanal je podijeljen u 10ms okvire i svaki okvir je podijeljen u 15 vremenskih slotova.

W-CDMA je tehnika višestrukog pristupa kod koje većina pozitivnih značajki višestrukog pristupa s kodiranom raspodjelom po vremenu i učestalosti dolazi iz širokopojasnosti i nekih karakteristika cjelokupnog sustava, a ne iz karakteristika pojedine radio veze.

Prema [9] značajke W-CDMA tehnike višestrukog pristupa su:

- *bandwidth* od 4.4 MHz do 5 MHz
- ne zahtjeva sinkronizaciju baznih stanica
- brzine prijenosa do 2 Mbit/s u lokalnom području
- brzine prijenosa do 384 kbit/s na većem području.

2.2.3. UTRA TDD

UTRA TDD predstavlja tehniku odašiljanja s vremenskim dupleksom koja se koristi kada se koriste iste frekvencije, ali u različitim vremenskim slotovima. UTRA TDD za odašiljanje koristi TD-CDMA (eng. Time Division - Code Division Multiple Access) i TD-SCDMA (eng. Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) tehnologije višestrukog pristupa.

TD-CDMA je tehnika koja se koristi kada postoji velika količina čipova. Silazna i uzlazna veza koriste istu frekvenciju jer se time omogućuje udovoljavanje asimetričnim uslugama fleksibilnom alokacijom resursa na silaznoj i uzlaznoj vezi [10].

TD-SCDMA je tehnika koja se koristi kada postoji mala količina čipova. Podržava brzine prijenosa od 1.2 kbit/s do 2 Mbit/s, pokriva područje do 40 kilometara te podržava prijenos pri brzinama do 120 km/h.

Značajke UTRA TDD tehnike definirane u [8] su:

- odvajanje silazne i uzlazne veze u vremenu koristeći radio okvire s 15 slotova
- svaki okvir s 15 slotova traje 10 ms, gdje svaki slot ima 2560 čipova po slotu.

TDD tehnika može biti simetrična ili asimetrična, odnosno okvir može sadržavati jednak broj slotova uzlazne i silazne veze ili bilo koju kombinaciju kako bi se zadovoljile različite potrebe korisnika, ali minimalno jedan slot mora biti za jednu vrstu veze.

2.2.4. Kodiranje

Kodiranje u GSM mrežama se obavljalo tako da je svakom korisniku dodijeljen vremenski odsječak u kojem samo on odašilje podatke, dok u UTRA FDD sustavu svi korisnici odašilju podatke u istom frekvencijskom pojasu u isto vrijeme, odnosno koeficijent ponovnog korištenja frekvencije iznosi 1 i ta značajka omogućuje veliku spektralnu učinkovitost. Svakom korisniku se dodaje jedinstveni kod kojim se kodiraju preneseni podaci, kako bi se korisnici međusobno razlikovali. Prijamnik dekodira primljeni signal i dobiva originalnu informaciju ako poznaje kodnu

sekvencu korisnika. Kodiranje je dvostruko jer se korisnički podaci prvo kodiraju kanalnim ili ortogonalnim kodovima, a onda pseudo-slučajnim (eng. Pseudonoise Sequence - PN) kodovima. Svaki odašiljač dobiva različiti PN kod, a svaki podatkovni kanal različiti ortogonalni kod, kako bi se razlikovale informacije s istog odašiljača. Zbog toga što je širina pojasa koda puno veća nego širina pojasa samih podataka, proces kodiranja proširuje spektar signala i od tuda dolazi da se UTRA FDD naziva sustav s proširenim spektrom gdje se kod primjenjuje direktno na niz podataka. Množenjem koda za proširenje i korisničke informacije, dobivaju se čipovi, odnosno dobiva se prošireni signal. Ortogonalni kodovi se koriste za kodove za proširenje. Odašiljač i prijammnik mogu koristiti isti kod s istim vremenskim odstupanjem, što će rezultirati rekonstrukcijom odaslanog signala na prijammnik, a ako koriste različite kodove, na prijammniku će se dobiti nula [6].

2.2.5. HSDPA, HSUPA, HSPA+

HSDPA (eng. High Speed Downlink Packet Access) predstavlja prijenos podataka velikim brzinama paketskim modom na silaznoj vezi u pristupnom dijelu mreže. Predstavlja poboljšani komunikacijski protokol iz obitelji HSPA (eng. High Speed Packet Access) zato što omogućava veći kapacitet i brzinu prijenosa podataka u UMTS mrežama. Značajka koju HSDPA ima je mogućnost prilagodbe trenutnim radio uvjetima, te ima mogućnost favoriziranja određenih korisnika radi povećanja kapaciteta sustava. Algoritam raspoređuje kapacitet među korisnicima tako da se maksimizira njezin kapacitet, uz paralelno ispunjenje QoS zahtjeva [7].

HSUPA (eng. High Speed Uplink Packet Access) predstavlja prijenos podataka velikim brzinama paketskim modom na uzlaznoj vezi u pristupnom dijelu mreže. Predstavlja poboljšani komunikacijski protokol iz obitelji HSPA zato što omogućava veći kapacitet i brzinu prijenosa u UMTS mrežama. Iako HSUPA pruža znatna poboljšanja u brzini prijenosa podataka uzlaznom vezom, ona su manja nego u silaznoj vezi [11].

HSPA+ (eng. Evolved High Speed Packet Access) predstavlja poboljšanu verziju protokola HSDPA i HSUPA jer nudi brzine prijenosa koje su bliže mobilnim mrežama četvrte generacije.

Prema [12] ciljevi koji su se željeli postići ovim protokolom su:

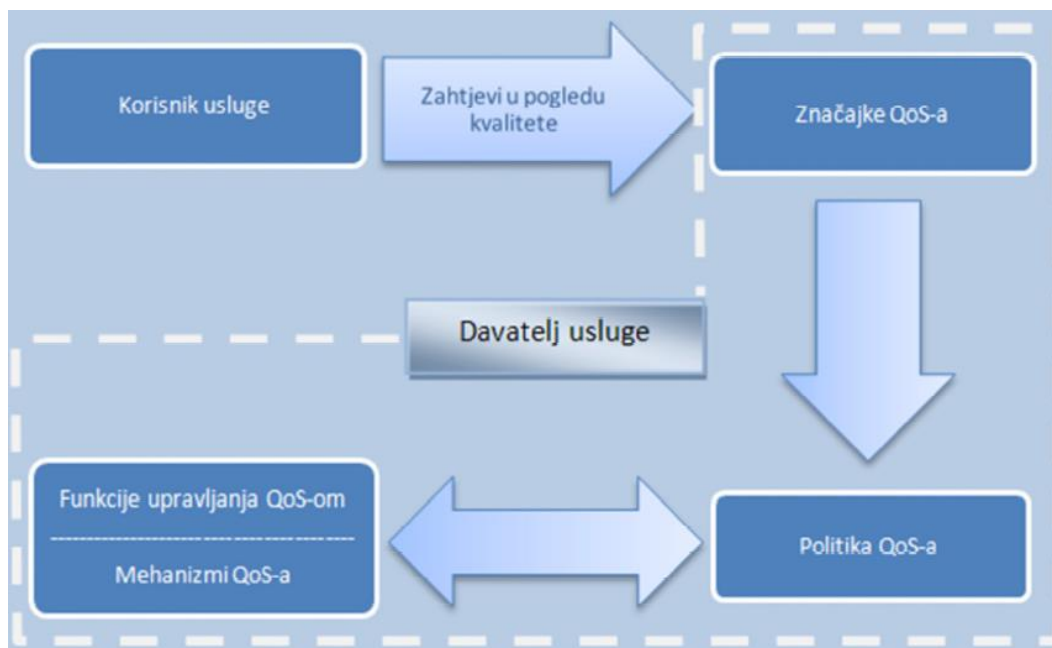
- maksimalno iskorištenje CDMA (eng. Code Division Multiple Access) fizičkog sloja prije nego što se pređe na OFDM (eng. Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

- postizanje performansi koje su usporedive s LTE (eng. Long Term Evolution) tehnologijom u 5 MHz pojasu
- postizanje efikasnog međudjelovanja HSPA+ i LTE-a u istoj mreži
- paketski prijenos podataka za govor i podatke
- kompatibilnost s prijašnjim uređajima korisnika.

3. Analiza parametara kvalitete usluge

QoS ili kvaliteta usluge predstavlja skup performansi usluge koje određuju stupanj zadovoljstva korisnika uslugom. QoS je orijentiran prema korisniku te se definira u točkama pristupa usluzi. Pojam kvalitete usluge je prvotno uveden za vrijeme analogne telefonije i odnosio se na vjerojatnost dostupnosti puta u telekomunikacijskoj mreži. Iako QoS kroz povijest ima puno različitih tumačenja, sva su se slagala u tome da QoS određuje kvalitetu usluge koja se nudi korisniku. Zahtjevi za kvalitetom usluge se razlikuju ovisno o zahtjevima koje određena tehnologija, aplikacija ili mreža ima, a kvaliteta usluge se definira pomoću parametara koji su specifični za tu tehnologiju, aplikaciju ili mrežu [7].

Prilikom upravljanja kvalitetom koriste se izrazi značajke kvalitete usluge i parametri kvalitete usluge. Kada su značajke kvalitete usluge definirane s jasnim granicama, tada se one nazivaju parametrima. Parametri su korisni jer omogućuju izražavanje kvalitete usluge dodjeljivanjem znamenaka koje predstavljaju razinu kvalitete usluge koje ti parametri predstavljaju te ti parametri mogu biti izraženi s više mjernih jedinica. Prije definiranja parametara kvalitete usluge, opisat će se osnovni elementi QoS-a.



Slika 5. Elementi koncepta QoS

Izvor: [7]

Osnovni elementi QoS-a prikazani na slici 5 su:

- korisnik usluge
- značajke QoS-a
- politika QoS-a
- funkcije upravljanja QoS-om
- mehanizmi QoS-a.

Koncept rada QoS-a se bazira na tome da se definiraju korisnikovi zahtjevi na određenom sučelju koji se onda definiraju kao QoS zahtjevi te se izražavaju kao QoS parametri. Značajke QoS-a predstavljaju one dijelove usluge koji se mogu identificirati i kvantificirati. Značajke se definiraju neovisno o načinu na koji se iskazuju, pa se mogu promatrati kao i varijable opisivanja telekomunikacijskog sustava. Funkcija upravljanja QoS-om se odnosi na sve funkcije koje su usmjerene prema zadovoljavanju zahtjeva koje je korisnik istaknuo. Te funkcije su izrađene od mehanizama, a skup pravila na kojem se bazira preslikavanje značajki QoS-a i funkcija upravljanja QoS-om naziva se politika QoS-a. Kada se zaprimi zahtjev za QoS-om, on se analizira i na temelju politike se pokreće neki od mehanizama QoS-a. Rezultati pokretanja mehanizama mogu biti: lokalna obrada koja zadovoljava istaknute zahtjeve za kvalitetom usluge, generiranje novih zahtjeva i njihovo prosljeđivanje drugim entitetima ili pokretanje novih mehanizama.

Nakon upoznavanja s osnovnim konceptom rada QoS-a, mogu se definirati parametri kvalitete usluge kojima se specificira razina kvalitete određene usluge.

Osnovni parametri kvalitete usluge su:

- propusnost
- gubitak paketa
- kašnjenje
- varijacija kašnjenja (eng. jitter).

3.1. Propusnost

Propusnost (eng. throughput) je parametar koji izražava efektivnu brzinu prijenosa podataka izraženu s brojem prenesenih bitova u sekundi. Ta veličina je manja od kapaciteta kanala izraženog s brojem bitova u sekundi. Aplikacije zahtijevaju različite propusnosti, a nedovoljna propusnost dovodi do veće razine kašnjenja. Zbog različitog opterećenja kanala od strane različitih korisnika koji koriste resurse iste mreže, maksimalna propusnost koja može biti osigurana za određeni tok podataka može biti premala za određene multimedijske usluge ako svi tokovi podataka imaju isti prioritet [7,13].

Važnost propusnosti i njene vrijednosti su objašnjene na primjeru telefonskog poziva koristeći kodeke G.711 sa sampliranjem od 64 kb/s i G.729 sa sampliranjem od 8kb/s uz različite veličine intervala uzimanja uzorka govora prikazana je u tablici 1 [14].

Tablica 1. Potrebna propusnost za različite količine prometa

Kodek	Govor po paketu u ms	Potrebna propusnost u kb/s
G.711	10	220.8
G.711	20	174.4
G.711	30	159.0
G.729	10	108.8
G.729	20	62.4
G.729	30	47.0
G.729	40	39.2
G.729	50	34.6
G.729	60	31.4

Izvor: [14]

Telefonski poziv se sastoji od dva toka podataka. Jedan tok se šalje iz uređaja A prema uređaju B, dok drugi tok putuje iz uređaja B prema uređaju A. Glasovni promet je enkapsuliran u pakete koji se šalju mrežom. Količina paketa potrebna da se pohrani glasovni promet ovisi o kodeku kojim se kodiraju podaci. Glasovni promet se šalje pomoću stvarno-vremenskog transportnog protokola (eng. Real-Time Transport Protocol - RTP). RTP protokol podržava način rada uklanjanja tišine. Kada se on koristi, glasovni paketi se ne šalju mrežom ako nema zvuka. U slučaju da se on ne

koristi, slali bi se paketi koji nemaju zvuka u sebi. Takva situacija smanjuje potrebnu širinu pojasa za poziv, ali se ona ne bi trebala koristiti prilikom rezervacije mreže, jer u najgorem slučaju, ako nema tišine u pozivu koristiti će se puna širina pojasa kao i u slučaju da je način rada uklanjanja tišine isključen. Kada se računa potrebna pojasna širina, uzima se veličina RTP paketa i dodaju se zaglavlja mrežnih protokola koji prenose RTP podatke kroz mrežu.

Na primjer, G.711 paketi nose 20 ms govornog prometa i zahtijevaju 64 kb/s propusnosti po strujanju. Paketi su enkapsulirani od strane četiri sloja mrežnih protokola, a oni su: RTP, UDP (eng. User Datagram Protocol), IP i *Ethernet*. Svaki od tih protokola dodaje vlastite informacije u zaglavlje G.711 paketa, i kao rezultat, paket u *Ethernet* okviru, zahtijeva 87.2 kb/s propusnosti po strujanju mrežom. Kako se telefonski poziv bazira na dvosmjernoj komunikaciji, ukupna propusnost bi bila 174.4 kb/s. Ovaj primjer se bazirao na 20 milisekundi govora po paketu, ali tablica 1 prikazuje kako se propusnost mijenja ovisno o različitim veličinama intervala uzimanja uzorka govora.

3.2. Gubitak paketa

Gubitak paketa (eng. packet loss) se javlja kada dođe do prepunjavanja spremnika u čvorovima paketne mreže, zbog toga što paketi čekaju u čvoru na usmjeravanje do sljedećeg čvora. Definicija gubitka paketa se proširuje i na kašnjenje zbog toga što različite aplikacije imaju različite tolerancije na kašnjenje. Kod aplikacija s malom tolerancijom na kašnjenje, ako ono pređe određenu granicu, smatra se da je paket izgubljen.

U tablici 2 su prema [15] prikazane specifične dozvoljene vrijednosti gubitka paketa za zvučne, video i podatkovne aplikacije.

Tablica 2. Specifične dozvoljene vrijednosti gubitka paketa za zvučne, video i podatkovne aplikacije

Aplikacija	Vrsta komunikacije	Količina podataka	Gubitak paketa
Razgovor na mreži	Dvosmjerna	4-64 kbit/s	< 3%
Slanje zvučne poruke	Jednosmjerna	4-32 kbit/s	< 3%
Streaming zvuka visoke kvalitete	Jednosmjerna	16-128 kbit/s	< 1%
Video – telefonija	Dvosmjerna	16-384 kbit/s	< 1%
Slanje video zapisa	Jednosmjerna	16-384 kbit/s	< 1%
Pretraživanje Interneta	Jednosmjerna	10 KB	0%
Interaktivne igre	Dvosmjerna	< 1 KB	0%
Fax	Jednosmjerna	10 KB	< 10 ⁻⁶ BER

Izvor: [15]

3.3. Kašnjenje

Kašnjenje predstavlja vrijeme potrebno da se paket prenese od izvora do odredišta. Kašnjenje se prema [7] sastoji od sljedeće tri vrste kašnjenja:

- kašnjenje zbog transmisije (eng. transmission delay)
- kašnjenje zbog propagacije (eng. propagation delay)
- kašnjenje zbog procesiranja (eng. processing delay).

Kašnjenje uzrokovano transmisijom predstavlja vrijeme koje je potrebno da svi podaci koji se prenose stignu u prijenosni medij.

Kašnjenje uzrokovano propagacijom predstavlja vrijeme koje je potrebno da paketi prođu kroz prijenosni medij, a limitirani su brzinom svjetlosti.

Kašnjenje uzrokovano procesiranjem predstavlja vrijeme potrebno da čvor u mreži procesira određeni signal i usmjeri ga dalje.

Određene komponente kašnjenja su fiksne, dok su druge varijabilne. Komponente koje se odnose na kašnjenja u mreži nisu predvidljive jer ovise o opterećenju čvorova, kao i o mrežnim elementima. Utjecaj na varijabilnosti određenih komponenti ovisi o vremenu čekanja i duljini paketa koja je različita za pojedine aplikacije, dok i iste aplikacije mogu imati različitu duljinu paketa.

U tablici 3 su prikazane specifične dozvoljene vrijednosti kašnjenja za zvučne, video i podatkovne aplikacije.

Tablica 3. Specifične dozvoljene vrijednosti kašnjenja za zvučne, video i podatkovne aplikacije

Aplikacija	Vrsta komunikacije	Količina podataka	Kašnjenje
Razgovor na mreži	Dvosmjerna	4-64 kbit/s	Očekivano < 150 ms Limit < 400 ms
Slanje zvučne poruke	Jednosmjerna	4-32 kbit/s	< 1s za reprodukcije < 2s za snimku
Streaming zvuka visoke kvalitete	Jednosmjerna	16-128 kbit/s	< 10s
Video – telefonija	Dvosmjerna	16-384 kbit/s	Očekivano < 150 ms Limit < 400 ms
Slanje video zapisa	Jednosmjerna	16-384 kbit/s	< 10 s
Pretraživanje Interneta	Jednosmjerna	10 KB	Očekivano < 2 s /stranica Prihvatljivo < 4 s/stranica
Interaktivne igre	Dvosmjerna	< 1 KB	< 200 ms
Fax	Jednosmjerna	10 KB	< 30 s/stranica

Izvor: [15]

3.4. Varijacija kašnjenja

Varijacija kašnjenja se definira kao razlika u kašnjenju između susjednih paketa iste sesije. Mjeri se u vremenskim jedinicama. Varijacija kašnjenja ne ovisi o frekvenciji paketa, te mjeri i

kratkoročne i dugoročne varijacije. Varijacija kašnjenja je važna kod multimedijских usluga, jer direktno utječe na njihove performanse te je zbog toga potrebna mreža sa što manjom varijacijom kašnjenja [7,13].

Prema [7] varijacija kašnjenja može biti podijeljena u sljedeće kategorije:

- maksimalna varijacija kašnjenja
- prosječna varijacija kašnjenja
- medijan varijacije kašnjenja.

U tablici 4 su prikazane specifične dozvoljene vrijednosti varijacije kašnjenja za zvučne, video i podatkovne aplikacije.

Tablica 4. Specifične dozvoljene vrijednosti varijacije kašnjenja za zvučne, video i podatkovne aplikacije

Aplikacija	Vrsta komunikacije	Količina podataka	Varijacija kašnjenja
Razgovor na mreži	Dvosmjerna	4-64 kbit/s	< 1 ms
Slanje zvučne poruke	Jednosmjerna	4-32 kbit/s	< 1 ms
Streaming zvuka visoke kvalitete	Jednosmjerna	16-128 kbit/s	<< 1 ms
Video – telefonija	Dvosmjerna	16-384 kbit/s	/
Slanje video zapisa	Jednosmjerna	16-384 kbit/s	/
Pretraživanje Interneta	Jednosmjerna	10 KB	N.A.
Interaktivne igre	Dvosmjerna	< 1 KB	N.A.
Fax	Jednosmjerna	10 KB	N.A.

Izvor: [15]

4. Zahtjevi aplikacija za kvalitetom usluge i klase usluge

Razvojem mobilnih mreža, paralelno se događao i razvoj novih aplikacija i usluga. UMTS kao mreža je napravila veliki iskorak u odnosu na GSM mrežu, prvenstveno jer je svaki korisnik mogao pristupiti Internetu sa svojim terminalnim uređajem. Pristup Internetu te prijenos podataka komutacijom paketa potaknuo je razvoj novih aplikacija koje su se uvelike bazirale na multimediji. Točno su te aplikacije za razliku od prijašnjih imale puno veće zahtjeve za kvalitetom jer su bile puno osjetljivije na performanse mreže. Zbog različitih zahtjeva za kvalitetom usluge definirane su četiri klase usluge kako bi se ti zahtjevi što efikasnije ispunili.

4.1. Zahtjevi aplikacija za kvalitetom usluge

U telekomunikacijama postoje tri osnovne vrste aplikacija, a one su:

- podatkovne aplikacije
- glasovne aplikacije
- video aplikacije.

Podatkovne aplikacije isključivo koriste podatke za svoj rad. Upravo zbog toga one najviše pozornosti daju točnosti podataka koji se razmjenjuju među korisnicima. Kako bi ti podaci bili točni te kako bi sigurno stigli na odredište, više pozornosti se daje pouzdanosti u prijenosu podataka nego vremenu u kojem oni moraju stići. Iako sve aplikacije nastoje svoje podatke isporučiti u što je kraćem roku, podatkovne aplikacije imaju veći stupanj tolerancije na kašnjenje i propusnost. Podatkovne aplikacije imaju vrlo mali stupanj tolerancije na gubitke paketa. Gubitkom paketa može se ugroziti podatak koji se šalje. Upravo zbog toga se pri prijenosu podataka koriste sustavi za otkrivanje pogrešaka koji su implementirani u protokole kojima se podaci šalju. Najpoznatiji protokoli za prijenos podataka su: TCP (eng. Transport Control Protocol) i UDP. TCP je protokol koji se koristi češće zbog toga što on stvara logičke veze između procesa neke mreže. Time se garantira pouzdanost, isporuka podataka, kontrola zagušenja mreže te su podaci poredani i kontrolira se njihova isporuka. Ako dođe do znatnog kašnjenja pri prijenosu podataka i ako ti podaci budu odbačeni, TCP protokol ima mogućnost ponovnog slanja paketa [16].

Glasovne aplikacije se temelje na prijenosu govora i različitih zvukova putem mreže. Najpoznatija tehnologija glasovnih aplikacija je VoIP (eng. Voice over IP). Glasovne aplikacije su puno

osjetljivije na zahtjeve za kvalitetom usluge. Glasovne aplikacije su veoma osjetljive na kašnjenje jer ono može uzrokovati prekidanje određene usluge koja se odvija putem glasovne aplikacije.

Gubitak paketa se može tolerirati, ali on ne smije biti preko 1%. Glavni problem glasovnih aplikacija je kašnjenje i varijacija kašnjenja. Ako kašnjenja traju više od 100 ms razgovori su vrlo teško razumljivi, s puno prekida, dok kašnjenja dužeg trajanja nisu prihvatljiva. Kašnjenja do 300 ms su prihvatljiva ako se radi o međunarodnim pozivima, dok su kašnjenja do 150 ms prihvatljiva za jedan smjer prijenosa podataka [17].

Video aplikacije koriste vrlo sličan način prijenosa kao i glasovne aplikacije, ali je novost što se uz govor prenosi i slika. Upravo iz tog razloga, najveću osjetljivost video aplikacije imaju na propusnost mreže, koja mora biti velika kako bi se izbjegli gubici podataka. Video aplikacije uvelike utječu na dizajniranje mreža koje nisu predviđene za prijenos slika. Brzina prijenosa kojom korisnik ostvaruje pristup mreži ima veliki utjecaj na dimenzioniranje kapaciteta, a promet koji je proizveden zahtijeva varijabilnu brzinu jer se komprimiranjem postiže prenošenje samo onih uzoraka koji se mijenjaju [13].

Iako je način prijenosa sličan onom u glasovnim aplikacijama, glavnu razliku čini prijenos slike. Upravo zbog toga, video aplikacije koriste oba protokola za prijenos podataka, ovisno o vrsti usluge koja se koristi.

Video na zahtjev (eng. Video On-Demand - VoD) prema [18] koristi TCP protokol zbog sljedećih karakteristika:

- pruža se najbolja moguća slika zbog slanja svakog okvira
- lako praćenje propusnosti od izvora do odredišta
- enkripcija podataka
- pruža mogućnost ponovnog slanja paketa, ako dođe do greške u prijenosu.

VoD može vršiti prijenos od točke do točke (eng. point-to-point) ili od točke do više točaka (eng. point-to-multipoint). VoD koristi dvosmjerni prijenos kako bi korisnici mogli birati željeni sadržaj. Širina prijenosnog kanala može biti manja nego kod dijeljenja videozapisa strujanjem jer VoD ima mogućnosti prijenosa određenog broja paketa na odredište pa tek onda kreće prikazivanje sadržaja. Time se stvara zaliha paketa i dok se ona troši, paralelno stižu novi paketi. Važno je da je zaliha u

svakom trenutku dovoljno velika da se uvijek ima što prikazivati. Zbog ovakvog načina rada, ova usluga nudi najbolju kvalitetu jer osigurava dovoljno vremena za dopunu izgubljenih paketa te omogućuje da svi stignu na vrijeme. Kašnjenje, varijacija kašnjenja i gubitak podataka nemaju veliki utjecaj na kvalitetu [19].

Dijeljenje videozapisa strujanjem (eng. streaming) prema [18] koristi UDP protokol zbog sljedećih karakteristika:

- pruža manju latenciju
- manje vrijeme potrebno za prijenos podataka jer nema retransmisije i čekanja na potvrdu korisnika o prijenosu.

Dijeljenje videozapisa strujanjem također ima određenu zalihu paketa, ali je ona mala te je zbog toga važno da je prijenosni pojas dovoljne širine. Dijeljenje videozapisa strujanjem, kao i VoD, koristi dvosmjernu komunikaciju gdje se u jednom smjeru šalje sadržaj, a u drugom kontrolne informacije. Ako se podaci prenose na više točaka, paketi s podacima se dupliraju. Gubitak paketa uvelike utječe na kvalitetu i on ne bi smio biti veći od 1%. Kašnjenje, kao i gubitak paketa ima veliki utjecaj na kvalitetu te ono ne bi smjelo biti veće od 10 sekundi, dok varijacija kašnjenja nema veliki utjecaj jer postoji spremnik u koji se spremaju podaci [20].

4.2. Klase usluge

Različite usluge imaju različite zahtjeve za kvalitetom usluge. Glavni faktor zbog kojeg su definirane klase usluge je osjetljivost aplikacija na kašnjenje. Upravo ove klase omogućuju da se definira koji tip usluge (eng. Type of Service - TOS) se može koristiti unutar koje klase.

Prema [21] postoje četiri definirane klase usluge u UMTS mreži, a one su:

- konverzacijska klasa
- streaming klasa
- interaktivna klasa
- pozadinska klasa.

Prije opisivanja svake klase zasebno, u tablici 5 su prikazane specifične vrijednosti različitih QoS atributa za svaku klasu posebno. Pružanje tražene kvalitete za određenu klasu zahtijeva da se ovi atributi poštuju [15].

Tablica 5. Atributi nosivih usluga ovisno o svakoj klasi usluge

ATRIBUTI	KLASE USLUGE			
	Konverzacijska	Streaming	Interaktivna	Pozadinska
Maksimalna brzina prijenosa (kb/s)	< 16000	< 16000	< 16000 - zaglavlje	< 16000 - zaglavlje
Nalog za slanje	DA/NE	DA/NE	DA/NE	DA/NE
Maksimalana veličina SDU (oktet)	< 1500 ili 1502	< 1500 ili 1502	< 1500 ili 1502	< 1500 ili 1502
SDU format informacije	RAN WG3	RAN WG3	/	/
Dostava nepravilnih SDU	DA/NE	DA/NE	DA/NE	DA/NE
Preostali BER	$5 \cdot 10^{-2}$, 10^{-2} , $5 \cdot 10^{-3}$, 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}	$5 \cdot 10^{-2}$, 10^{-2} , $5 \cdot 10^{-3}$, 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}	$4 \cdot 10^{-3}$, 10^{-5} , $6 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-3}$, 10^{-5} , $6 \cdot 10^{-8}$
SDU raspon pogrešaka	10^{-2} , $7 \cdot 10^{-3}$, 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5}	10^{-1} , 10^{-2} , $7 \cdot 10^{-3}$, 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5}	10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-6}	10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-6}
Kašnjenje (ms)	100 – max. vrijednost	300 (8) – max. vrijednost	/	/
Garantirana brzina prijenosa	< 16000	< 16000	/	/
Rukovanje prometnim prioritetom	/	/	1,2,3	/
Alokacija prioriteta	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3

Izvor: [15]

4.2.1. Konverzacijska klasa

Konverzacijska klasa se u pravilu koristi za stvarno vremenske (eng. Real Time – RT) usluge gdje kašnjenje ne smije biti veće od 300 ms. Najpoznatija usluga gdje se koristi ova klasa je telefonija,

ali razvojem Interneta i multimedije razvijaju se nove aplikacije koje će zahtijevati ovu klasu usluge kao što je VoIP ili videokonferencija. RT konverzacija se uvijek odvija između krajnjih korisnika i ovo je jedina klasa gdje su zahtjevi za kvalitetom usluge isključivo dani od strane krajnjih korisnika. RT konverzaciju karakterizira to da vrijeme prijenosa mora biti malo, jer bi u suprotnom došlo do neprihvatljive razine kvalitete usluge.

Primjer usluge: telefonija, videotelefonija, video igre.

4.2.2. Streaming klasa

Streaming usluge funkcioniraju na način da na strani korisnika mora postojati mogućnost prikupljanja podataka te prosljeđivanja tih podataka prema aplikaciji. Važno je da prijenos podataka prema aplikaciji bude stalan kako bi se podaci mogli konstantno obrađivati i konvertirati u sliku i zvuk.

Streaming klasa može garantirati dovoljne brzine prijenosa, čime omogućuje korištenje usluga koje su osjetljive na varijaciju kašnjenja, ali mora postojati visoka razina QoS-a radi kontinuiranog strujanja tokova podataka. Na taj način korisnik može gledati sadržaj, iako on nije u potpunosti prenesen. *Streaming* usluge su vrlo asimetrične, što im omogućuje veću toleranciju na kašnjenje, kao i na varijaciju kašnjenja, za razliku od simetričnih usluga. Također, *streaming* usluge su osjetljive na varijaciju kašnjenja, ali postoje mehanizmi koji uklanjaju nedostatke koji su uzrokovani varijacijom kašnjenja i kašnjenjem, kao što je postojanje spremnika koji privremeno pohranjuje podatke i osigurava da se oni prosljeđuju pravilnim redoslijedom.

Kompletno tržište vezano za *streaming* usluge i prateća medijska industrija u pravilu ciljaju dva područja kada se radi o *streaming*-u, a ona su: *streaming* sadržaja putem Web-a i *streaming* sadržaja na zahtjev.

Streaming sadržaja putem Web-a cilja na veliku publiku koja se spaja na medijski poslužitelj putem Interneta, dok se *streaming* na zahtjev često koristi od strane velikih kompanija koje pohranjuju različite sadržaje na svoje poslužitelje koji rade na lokalnoj mreži.

Primjer usluge: *streaming* sportskih događaja, korištenje podataka sa zajedničkog poslužitelja.

4.2.3. Interaktivna klasa

Interaktivne usluge funkcioniraju tako da korisnik podnese određeni zahtjev, te on očekuje odgovor u određenom vremenu. Kašnjenja su ovdje podnošljiva jer se u obzir mora uzeti vrijeme potrebno da zahtjev ode od izvora do odredišta i natrag (eng. Round Trip Time - RTT). Važna značajka je da pri prijenosu podataka mora biti što je manje pogrešaka kako bi korisnik dobio točne informacije.

Primjer usluge: pretraživanje Interneta, interaktivne igre.

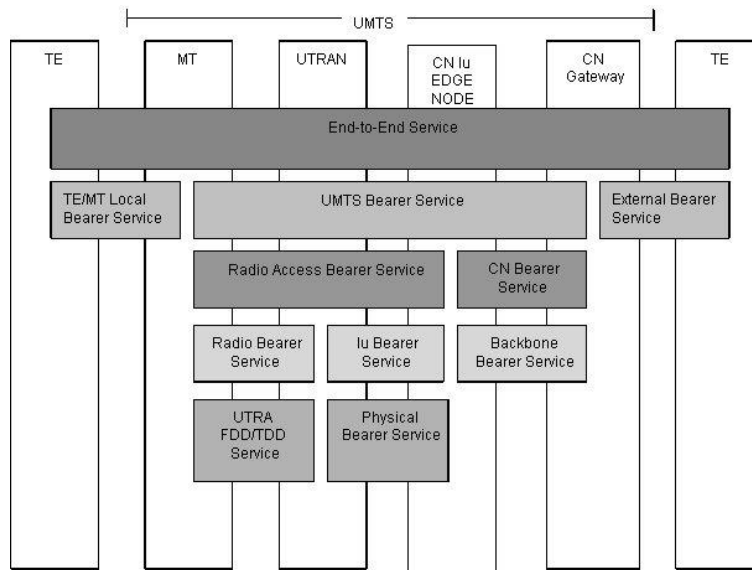
4.2.4. Pozadinska klasa

Pozadinsku klasu karakterizira ne osjetljivost na kašnjenja, te su često kašnjenja od nekoliko sekundi, pa čak i minuta prihvatljiva. Razlog tomu je što se na odredištu podaci ne očekuju u točno određenom vremenu, ali je važno da prijenos podataka prođe sa što manje pogrešaka.

Primjer usluge: slanje poruka (eng. Short Message Service - SMS), slanje elektroničke pošte.

5. Mehanizmi za osiguravanje kvalitete usluge

Mehanizmi za osiguravanje kvalitete usluge moraju bilo koju vrstu komunikacije između korisnika održavati na dovoljno visokoj razini, ovisno o kojem tipu komunikacije se radi. Prije definiranja samih mehanizama na slici 6 je prikazana sama QoS arhitektura UMTS mreže koja ima veliku važnost u shvaćanju samih mehanizama [22].



Slika 6. UMTS QoS arhitektura

Izvor: [22]

UMTS QoS arhitektura se oslanja na nosive usluge koje su okarakterizirane sa QoS atributima u pružanju QoS usluga. Sa točke gledišta UTRAN-a, to znači da se pružaju radijsko pristupne nosive usluge (eng. Radio Access Bearer – RAB) između korisničke opreme i jezgrene mreže. Prema [4] RAB se oslanja na dvije vrste nosivih usluga koje su osigurane od strane UTRAN-a na vanjskim sučeljima:

- radijsko nosive usluge (eng. Radio Bearer services – RB) – između korisničke opreme i UTRAN-a
- Iu nosive usluge – na Iu sučelju između UTRAN-a i jezgrene mreže.

Jezgrena mreža pruža nosive usluge između UTRAN-a i vanjskih fiksnih mreža kao što su Internet i javna telefonska mreža (eng. Public Switched Telephone Network – PSTN).

Svaka nosiva usluga je definirana QoS atributima, ovisno o tome u kojoj prometnoj klasi je korištena. U tablici 3 su prikazani potrebni atributi za svaku od klasa usluga i specifične vrijednosti koje se moraju zadovoljiti[4,15].

UMTS aplikacije ovise o razvoju naprednih *end-to-end* QoS mehanizama. Na radijskoj strani, tehnike kao što su kontrola snage i kontrola radio pristupa uključuju QoS profile koji predstavljaju skup atributa UMTS nosivih usluga. Na razini mreže, efektivna integracija se provodi na svim slojevima, uključujući slojeve 2 i 3 te u svakom UMTS čvoru i popratnoj infrastrukturi. Asinkroni prijenos podataka u mrežama koje se baziraju na komutaciji paketa dovodi do narušavanja vremenskog toka podataka što rezultira pojavom nasumičnih kašnjenja i varijacije u kašnjenju. Kako bi se izbjeglo zagušenje, potrebno je korištenje velikih međuspremnik. Korištenje velikih međuspremnik u UMTS čvorovima bi dovelo do velikih kašnjenja pri radu RT aplikacija [4, 22].

Problemi koji se javljaju u prijenosu kroz UMTS mrežu rješavaju se različitim QoS mehanizmima koji rade na dvije različite razine:

- QoS mehanizmi u UMTS jezgrenoju mreži
- QoS mehanizmi u UTMS terestrijalnoj mreži.

5.1. QoS mehanizmi u UMTS jezgrenoju mreži

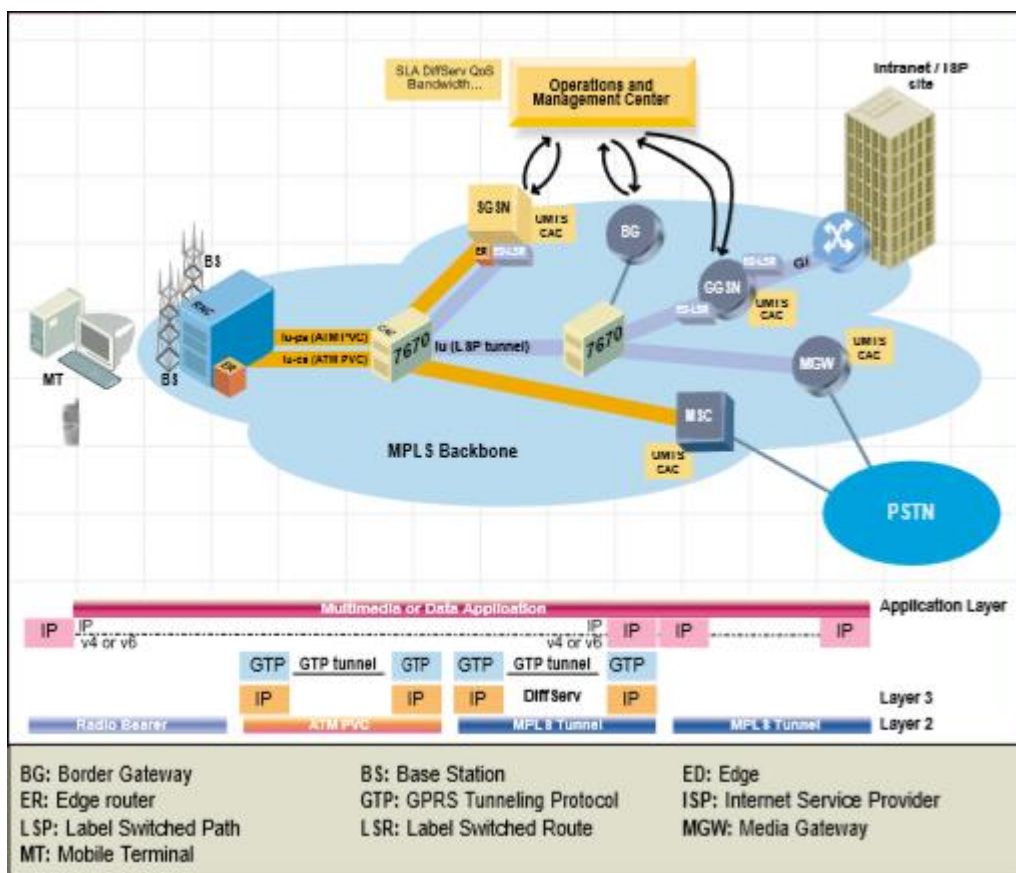
Prije definiranja samih mehanizama, važno je znati kako UMTS jezgrena mreža vrši kontrolu prometa te kako se dodjeljuju potrebni resursi određenoj *end-to-end* usluzi, kako bi se bolje razumio način na koji rade sami mehanizmi.

Postoje 3 osnovna postupka prilikom kontrole prometa u UTMS mreži:

1. Planiranje kapaciteta i dimenzioniranje mreže definiraju konfiguraciju i potreban broj baznih stanica i *gateway*-a u mreži, kao i potrebnu širinu pojasa.
2. Prilikom uspostave poziva, kontrola uspostave poziva (eng. Call Admission Control – CAC) definira može li se uspostaviti novi poziv bez narušavanja kvalitete usluge već postojećih poziva.
3. Mehanizmi za kontrolu toka (eng. Policing), planiranje i kontrolu zagušenja se uključuju svaki puta kada je paket poslan kroz mrežu. Mehanizmi za kontrolu toka i mehanizmi za odluku o prihvaćanju paketa u međuspremnicima su algoritmi koji odlučuju može li paket

pristupiti određenom čvoru kada do njega stigne. Mehanizmi za planiranje odlučuju u kojem trenutku i koji paket može biti poslan kroz mrežu.

QoS značajke koje su podržane od strane UMTS jezgrene mreže omogućuju da jezgrena mreža bira koji mehanizmi su dodijeljeni kojim korisnicima. To je omogućeno kroz cijelu *end-to-end* uslugu kako bi se garantirala alokacija danih resursa, čime se pruža zadovoljavajuća razina kvalitete usluge svim korisnicima u mreži. Na slici 7 je prikazan način rada Alcatel jezgrene mreže u *end-to-end* pristupu.



Slika 7. *End-to-end* pristup u Alcatel jezgrenoj mreži

Izvor: [4]

U aplikacijskom sloju, CAC se primjenjuje u svakom čvoru. Izolacija prometa između korisnika je omogućena od strane GGSN-a i SGSN-a pomoću algoritma za raspoređivanje prometa pod nazivom ponderirano pravedno raspoređivanje (eng. Weighted Fair Queuing - WFQ) i ponderirana pravedna alokacija kapaciteta međuspremnik (eng. Weighted Fair Buffer Allocation – WFBA) te

se provodi održavanje od strane GGSN-a. Na sloju 3 koristi se klasični IP mehanizam za diferencijaciju usluga, dok se na sloju 2 koristi MPLS protokol (eng. Multi Protocol Label Switching) na Gn i Gi sučeljima dok se asinkroni mod prijenosa (eng. Asynchronous Transfer Mode – ATM) koristi na Iu sučelju. Mreža i platforme za kontrolu servisa obavljaju i rezervaciju QoS-a.

Mehanizmi za održavanje kvalitete usluge u UMTS jezgrenoj mreži su:

- UMTS kontrola pristupa poziva
- QoS diferencijacija između UE
- korištenje *DiffServ*-a na sloju 3
- korištenje MPLS-a na slojevima 2 i 3
- SLA (eng. Service Level Agreements).

5.1.1. UMTS kontrola pristupa poziva

CAC se odvija na svakom čvoru u jezgrenoj mreži te on odgovara na dva pitanja: „Može li čvor primiti novi poziv?“ i „Hoće li čvor zadovoljiti QoS zahtjeve novog poziva i postojećih poziva?“

UMTS CAC je implementiran korištenjem jednostavnog i fleksibilnog koncepta ekvivalentnih pojasnih širina. Bazira se na tome da predvidi mrežne resurse potrebne da bi se pružila tražena razina QoS-a i da se definira koji su resursi dostupni. Ako su resursi dostupni, oni se rezerviraju, a ako nisu dostupni aktivira se mehanizam kojim se umanjuje potrebna razina QoS-a. CAC se primjenjuje prilikom svake aktivacije PDP protokola (eng. Packet Data Protocol), svaki put kada se QoS modificira, prilikom javljanja prekapčanja i relokacije SRNS podsustava (eng. Serving Radio Network Subsystem). Kako bi se garantirala dovoljna razina usluge na svim slojevima, a ne samo na aplikacijskom sloju, CAC uzima u obzir i dostupne resurse na IP transportnom sloju.

5.1.2. QoS diferencijacija između UE

Postoje razni mehanizmi kojima se izolira promet koji dolazi od strane UMTS korisničke opreme, a oni su:

- GGSN održavanje
- diferencijacija čekanja u redu
- WFBA.

5.1.2.1. GGSN kontrola toka

GGSN predstavlja rubni čvor u UMTS mreži, stoga prima dolazni promet i provjerava da li je brzina silazne veze prilagođena QoS atributima dodijeljene nosive usluge. On sadrži uređaj za prilagodbu prometa kojim se garantira prometna usklađenost. Druga uloga mu je filtriranje dolaznog prometa prema identifikatoru usluge toka podataka (eng. Traffic Flow Templates – TFT). TFT se koristi kako bi se razlikovao promet koji ide na istu PDP adresu, ali ima različite QoS zahtjeve.

5.1.2.2. Diferencijacija čekanja u redu

Tehnike planiranja, kao WFQ i WRR (eng. Weighted Round Robin) se koriste kako bi spriječile sve sporne pokušaje pristupa nekom resursu. Time se osigurava da svaki PDP ima minimalanu alociranu širinu pojasa. Mehanizmi za pravedno raspoređivanje imaju funkciju pružanja implicitne kontrole toka jer je širina pojasa alocirana proporcijalno sa važnosti određene aplikacije. Implicitna kontrola toka se provodi kada dođe do zagušenja u mrežnom elementu, te ona dijeli širinu pojasa na pravedan način. Implicitna kontrola toka je nužna za osiguravanje kvalitete usluge u slučaju kada postoji manjak resursa, kako bi se kontroliralo ponašanje korisnika u mreži sukladno sa onim što je definirano u ugovoru. U slučaju da nema implicitne kontrole toka, korisnik koji se ne ponaša sukladno sa definiranim pravilima bi negativno utjecao na kvalitetu usluge koja se pruža ostalim korisnicima.

5.1.2.3. Mehanizam za unaprjedno odbacivanje paketa

WFBA, poznat kao i mehanizam za unaprjedno odbacivanje paketa koji uzima u obzir važnost paketa (eng. Weighted Random Early Discard – WRED) se koristi za odbacivanje paketa na inteligentan i proaktivan način. WRED je vrlo koristan, jer omogućuje TCP-u da brzo i efikasno reagira na zagušenja. Proces se odvija na način da se međuspremnik dijeli na pravedan način između korisničke opreme. Dio međuspremnika koji je alociran na korisnika ovisi o UMTS QoS atributima nosivih usluga prikazanih u tablici 2. Prebukiranje međuspremnika po PDP kontekstu je dozvoljeno, ovisno koliko je međuspremnik okupiran. Novi paket se prihvaća samo kada korisnička oprema već ne koristi previše prostora u međuspremniku.

5.1.3. Korištenje *DiffServ*-a na sloju 3

QoS diferencijacija usluga je potrebna kako bi se osiguralo odgovarajuće rukovanje UMTS prometom unutar mreže. *DiffServ* (eng. Differentiated Services) se koristi na sloju 3, odnosno na

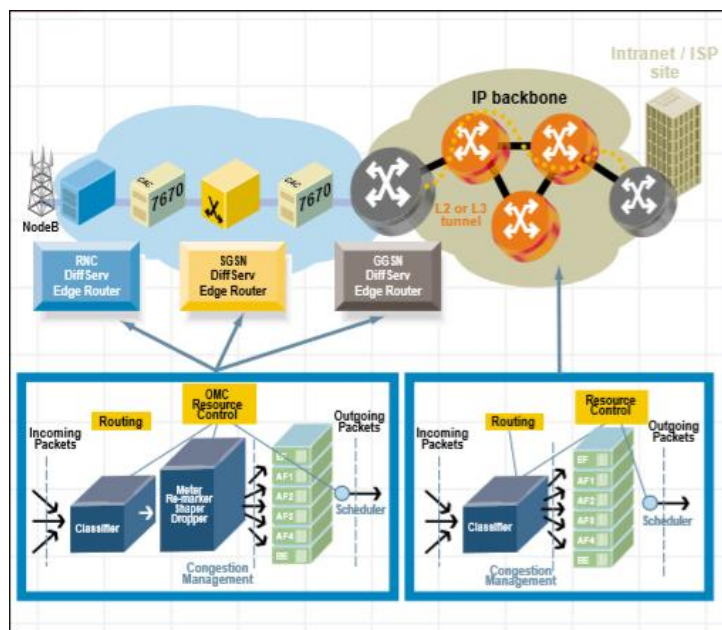
IP transportnom sloju. IP *DiffServ* oktet sadrži DSCP (eng. Differentiated Services Code Point) kojima identificira i odabire određeni PHB (eng. Per-Hop behaviour) koji IP datagram prima na određenom čvoru. DSCP se nalazi u IP zaglavlju svakog paketa.

Glavne prednosti *DiffServ*-a su:

- *DiffServ* ne treba dodatnu signalizaciju na IP razini. Sve potrebne QoS informacije se nalaze u postojećim UMTS signalizacijskim porukama koje se izmjenjuju unutar PLMN mreže.
- Alokacija mrežnih resursa je predviđena po agregiranom toku.
- *DiffServ* je uglavnom implementiran u IP jezgrenim mrežama. Osigurava interoperabilnost PLMN mreže sa ostalim mrežama.

5.1.3.1. *DiffServ* arhitektura

GGSN, SGSN, RNC i *gateway* se ponašaju kao *DiffServ* krajnji usmjerivači. Kao takvi, provode klasifikaciju, agregaciju, raspoređivanje prometa te određivanje prioriteta. *Meter* prati da se prijenos podataka vrši unutar granica definiranih ugovorom. *Shaper* odgađa prijenos paketa dok ne zadovolje granice dogovorene ugovorom, a ukoliko ne dođe do prilagodbe od strane korisnika, *dropper* u potpunosti odbacuje pakete. Svi ostali usmjerivači u mreži imaju implementirane QoS mehanizme koji se temelje na DSCP polju u IP zaglavlju. Ti mehanizmi se koriste kako bi aktivirali kontrolu zagušenja i čekanje u redu po klasama. Arhitektura *DiffServ*-a je prikazana na slici 8.



Slika 8. DiffServ arhitektura

Izvor: [4]

5.1.3.2. Mapiranje UMTS QoS klasa u DiffServ klase

Mapiranje je definirano između UMTS QoS klasa i IP DiffServ klase:

- AF (eng. Assured Forwarding) - usluga s osiguranom isporukom
- EF (eng. Expedited Forwarding) - usluga s ubrzanim prosljeđivanjem
- BEF (eng. Best Effort Forwarding) - usluga najbolje namjere.

EF karakterizira malo kašnjenje, mali *jitter* i mali gubitak podataka. AF pruža različite razine osigurane isporuke. Definirane su četiri različite klase osigurane isporuke i u svakoj od njih su definirane tri prednosne razine ispuštanja paketa. Razina kvalitete prosljeđivanja ovisi o dodijeljenom prostoru u spremniku i dodijeljenoj širini pojasa u određenoj AF klasi. Mapiranje može biti provedeno od strane operatora, iako je omogućeno zadano mapiranje.

5.1.4. Korištenje MPLS-a na slojevima 2 i 3

Generalna ideja je da se pruži podrška QoS mehanizmima na sloju 3 i svim slojevima iznad, ali pošto QoS mora biti osiguran kroz cijelu *end-to-end* uslugu, podrška za QoS mehanizme mora biti osigurana i na nižem sloju 2. Iako se to često provodi putem dimenzioniranja mreže, taj postupak

je skup i ne osigurava potpunu zaštitu od zagušenja. Alternativa tome je korištenje MPLS-a. Glavna prednost korištenja MPLS-a je mogućnost labavog spajanja između transmisijskih tehnologija i različitih QoS sustava pruženih od strane viših slojeva. MPLS omogućava korištenje bilo koje transportne mreže.

Korištenjem MPLS-a, SGSN, GGSN i *gateway*-i predstavljaju usmjerivače na rubu mreže. Dinamički su stvorene LSP putanje (eng. Label Switched Path – LSP) bazirane na IP tablicama usmjerenja te se njihove širine pojasa mogu promijeniti ovisno o potrebama korisnika.

5.1.5. Ugovor o kvaliteti usluge

UMTS PLMN mreža predstavlja *DiffServ* domenu, kao što može i svaka druga mreža koja se bazira na komutaciji paketa. Svaka *DiffServ* domena ima definiran PHB i on može varirati između različitih domena. Kako bi se u tim situacijama garantirala *end-to-end* kvaliteta usluge, potrebno je definirati SLA između UMTS mreže i vanjske mreže. Kako bi SLA bio proveden u potpunosti, osigurani su alati za dimenzioniranje broja, tipova i širine pojasa sučelja u čvorovima. Alati za nadzor se koriste unutar svakog čvora kako bi se kontroliralo korištenje resursa na svakom čvoru i na svakom sučelju.

5.2. QoS mehanizmi u UMTS terestrijalnoj mreži

RAB usluge su dinamički kreirane da podržavaju jednu ili više aplikacija za određenog mobilnog korisnika. UTRAN je zasebno povezan sa mrežama koje se baziraju na komutaciji kanala kroz Iu-cs sučelje i sa mrežama koje se baziraju na komutaciji paketa kroz Iu-ps sučelje. Može podržavati jedan ili više RAB-a po domeni i po korisniku istovremeno, gdje svaki RAB ima vlastite QoS zahtjeve. UTRAN sudjeluje u provedbi QoS-a u *end-to-end* usluzi na način da se svaki RAB karakterizira sa QoS atributima koji su definirani prema karakteristikama korištene aplikacije. Karakteristike aplikacije se prevode u QoS RAB attribute od strane jezgrene mreže. UTRAN samo prima RAB QoS attribute iz jezgrene mreže kada se kreira određeni RAB i brine da taj RAB ne izađe iz zadanih QoS parametara. RAB se uvijek kreira na zahtjev jezgrene mreže koja zadržava vlasništvo nad RAB-om dok god on postoji. Kada se definiraju QoS parametri na koje UTRAN mora paziti, oni jedino mogu biti promijenjeni na zahtjev jezgrene mreže. Ovaj postupak je uvelike zastupljen u mobilnim terminalima gdje postoji puno promjena u radijskim uvjetima prilikom prelaska iz jedne u drugu ćeliju.

Zbog korištenja WCDMA gdje svi korisnici dijele iste resurse u frekvencijskim i vremenskim domenama, ključno je da se održi mala količina radijskih smetnji kroz sustav. Upravo zbog toga, kontrola snage regulira prijenosnu snagu na način da ona nije jako visoka kako bi se očuvao prometni kapacitet UMTS ćelije i da nije jako niska kako bi se izbjeglo puno pogrešaka u prijenosu.

Također, nadziranje QoS-a je vrlo važno kako bi se osiguralo da su svi QoS zahtjevi zadovoljeni. Oblikovanje prometnog toka i izbjegavanje zagušenja su ključni u zadovoljavanju QoS zahtjeva. Primjer toga je odgađanje NRT (eng. Not Real Time) prometa koji ima manji prioritet u odnosu na RT promet sa visokim prioritetom.

Mehanizmi kojima se osigurava kvaliteta usluge u UTRAN-u su:

- RAC (eng. Radio Admission Control) - kontrola radio pristupa
- alokacija i upravljanje radijskim resursima
- kontrola radijskog opterećenja
- sinkronizacija i raspoređivanje.

5.2.1. Kontrola radio pristupa

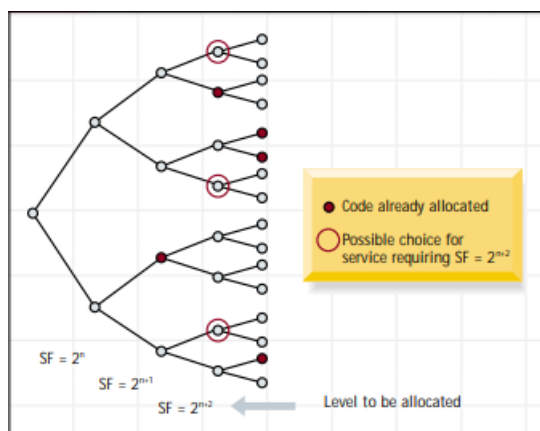
Osnovna uloga RAC-a je da omogućava ili onemogućava pristup radijskim resursima. Koristi se svaki puta kada resursi moraju biti podijeljeni na dodatnog korisnika ili dodatni RAB te kada korisnik prelazi iz jedne u drugu ćeliju. Kada je RAB uspostavljen, RNC pridružuje RAB QoS attribute na značajke radijske nosive usluge i nakon toga se poziva RAC funkcija. Karakteristike radijske nosive usluge se određuju na temelju: prometne klase, zahtjeva za brzinom prijenosa, zahtjeva kojima se definira dozvoljeno kašnjenje, parametara kojima se određuju prometni prioriteti, itd.

RAC u UMTS sustavima sa ograničenim interferencijama ima ulogu provjere hoće li prihvaćanje novog RAB-a povećati smetnje do neprihvatljive granice, što bi za rezultat imalo nemoguće održavanje kvalitete radijske usluge u svim već uspostavljenim pozivima. Također, mora se paziti i na prometno opterećenje jer se prihvaćanjem novog RAB-a ne smije negativno utjecati na propusnost jer bi to dovelo do razine QoS-a koja je ispod zadovoljavajuće granice.

QoS zahtjevi koji ne mogu biti zadovoljeni se odbijaju od strane UTRAN-a, ili se stavljaju na čekanje ukoliko postoje raspoloživi kapaciteti za čekanje.

5.2.2. Alokacija i upravljanje radijskim resursima

Upotreba *channelization* kodiranja i *scrambling* kodiranja na radijskom fizičkom sloju je vrlo važna kako bi se odvojili različiti izvori prometa koji dijele isto frekvencijsko područje. Alociranjem radijskih resursa, alociraju se *channelization* i *scrambling* kodovi kada to zatraži RAC funkcija. *Channelization* kodovima se postiže proširenje spektra i alociraju se u skladu s brzinom prijenosa. Što je veća brzina prijenosa, faktor proširenja (eng. Spreading Factor – SF) je niži. Kodovi mogu biti raspoređeni u obliku stabla, prikazano na slici 9. Kada se kod alocira na korisnika, viši ili niži kodovi faktora proširenja na istoj grani ne mogu biti alocirani na drugog korisnika, jer se na odredištu ne bi mogli pravilno dekodirati odgovarajući signali.



Slika 9. Princip stabla

Izvor: [4]

Upravljanje kodovima pomoću principa stabla je posebno važno za servise koji se temelje na velikim brzinama prijenosa kako bi se minimizirala mogućnost pojave nedostatka kodova. Na primjer, rekonstrukcija stabla se provodi kada se želi promijeniti kod već uspostavljenih poziva s ciljem maksimiziranja prometnog kapaciteta UMTS ćelije u pogledu brzine prijenosa i broja korisnika.

5.2.3. Kontrola radijskog opterećenja

Ovom funkcijom se održava stabilnost u radijskoj mreži kontrolom opterećenja i rješavanjem preopterećenja ukoliko do njega dođe. Kontrola opterećenja garantira da neki algoritmi, kao što je kontrola snage, ostanu stabilni u trenucima kada se javi preopterećenje. U takvim situacijama javljaju se 2 efekta. Na uzlaznom linku, mobilni uređaji mogu povećati svoju prijenosnu snagu kako bi prebrodili smetnje, ali to pogoršava situaciju. To se uobičajeno zove „*party effect*“. Slična situacija se javlja i na silaznom linku. Preopterećenje se prepoznaje praćenjem razine smetnji i prometnog volumena. Izbjegavanje zagušenja se postiže upotrebom algoritama za prevenciju zagušenja u koordinaciji sa RAC-om.

5.2.4 Sinkronizacija i raspoređivanje

Mehanizmi sinkronizacije su definirani unutar UTRAN-a kako bi se zadovoljili vremenski zahtjevi za svaki RAB. Vremenska prilagodba se odvija između čvora B i RNC-a kako bi se kašnjenje kroz UTRAN održalo ispod granične vrijednosti, što ovisi o transportnom kanalu koji se koristi u UTRAN-u, koji ovisi o RAB QoS atributima. Na primjer, govorne usluge zahtjevaju kašnjenje do 5ms, a NRT podatkovne usluge toleriraju veća kašnjenja, ali ipak ograničena i to između 50 i 100 ms. Kada se radi o NRT prometu, kontrola toka se može se odvijati između čvorova UTRAN-a. U slučaju prometa na silaznoj vezi, raspoređivanje kapaciteta na radijskom sučelju je kontrolirano od strane RNC-a, koji definira vrijeme transmisije za svaki blok.

6. Zaključak

Mobilne mreže treće generacije su prve mreže po kojima se moglo naslutiti da će u budućnosti terminalni uređaji i općenito sva telekomunikacijska tehnologija postati stalan sudionik u životu ljudi. Pojavom Interneta i stavljanjem velike važnosti na multimedijски sadržaj, otvorio se potpuno novi smjer za razvoj usluga i aplikacija koje korisnici terminalnih uređaja mogu koristiti. Zadovoljstvo korisnika sa uslugom koja mu se nudi je najvažniji faktor u svijetu telekomunikacija te je zbog toga bilo izuzetno bitno da se osigura dovoljna kvaliteta usluge kako bi korisnici bili zadovoljni. Promjena načina prijenosa podataka s komutacije kanala na komutaciju paketa je prva promjena kojom su se omogućile dovoljne brzine podataka za kvalitetan rad multimedijских usluga.

Uvođenjem novog načina prijenosa podataka, jedino je preostalo definiranje načina pomoću kojih će se postići tražena kvaliteta usluge. Upravo zbog toga su definirani parametri kvalitete usluge čije vrijednosti predstavljaju specifične granice koje mreža mora zadovoljiti za aplikacije koje se njome koriste.

Pojavom multimedijskog sadržaja, aplikacije su se naglo proširile sa onih koje prenose samo govor, na one koje prenose i audio i video zapise te se pojavio veliki broj novih usluga na Internetu. Različite vrste aplikacija i njihove usluge imaju različite potrebe za kvalitetom usluge. Kako bi se lakše definirale specifične vrijednosti za pojedine usluge, one su podijeljene u klase.

Definiranjem parametara kvalitete usluge i podjelom usluga na klase, bilo je potrebno stvoriti mehanizme za osiguranje kvalitete usluge kako bi usluge na mreži pravilno radile. Mehanizmi za osiguranje kvalitete usluge u različitim dijelovima mreže provode razne operacije kojima se želi postići što je manje nepravilnosti na mreži, odnosno kojima se želi korisnika mreže učiniti zadovoljnim. Upravo ti mehanizmi omogućuju 3G mrežama pokrivenost na globalnoj razini, prijenos multimedije i efikasno korištenje Interneta. Ove značajke su sve ono na čemu se temelje i mobilne mreže četvrte generacije i na čemu će se temeljiti IoT koncept. Zato se može reći da su mobilne mreže treće generacije postavile temelje za telekomunikacijski svijet koji postoji danas i još napredniji koji se očekuje implementacijom IoT koncepta.

Literatura

- [1] Korhonen J. Introduction to 3G Mobile Communications. London: Artech House; 2003: 1-8.
- [2] Dahlman E, Parkvall S, Sköld J, Beming P. 3G Evolution. Burlington: Academic Press; 2008: 6.
- [3] Etoh M. Next Generation Mobile Systems 3G and Beyond. Chichester: Wiley; 2005: 20.
- [4] Baudet S, Besset-Bathias C, Frene P, Giroux N. QoS implementation in UMTS networks. Alcatel Telecommunications Review - 1st Quarter 2001. Preuzeto sa: <https://pdfs.semanticscholar.org/e866/b4808a512f0d4abf89de3feac754db4118.pdf> [Pristupljeno: 15.08.2019.].
- [5] Digitalna biblioteka Scribd. Preuzeto sa: <https://www.scribd.com/document/17298925/the-UMTS-Architecture> [Pristupljeno: 15.08.2019.].
- [6] Malić N. Univerzalni sustav pokretnih telekomunikacija. Ericsson Revija Br.2/2003. Preuzeto sa: https://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_2_2003/univerzalni_sustav.htm#2 [Pristupljeno: 15.08.2019.].
- [7] Mrvelj Š. Mobilne mreže. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2019. Preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/1862399/mod_resource/content/3/mobilne%20mre%C5%BEE%2020182019.pdf [Pristupljeno: 16.08.2019.].
- [8] Portal za učenje pojmova iz područja telekomunikacija. Preuzeto sa: <https://www.ques10.com/p/2963/umts-architecture-and-utra-fdd-and-tdd-modes-1/> [Pristupljeno: 16.08.2019.].
- [9] ElectronicsNotes. Preuzeto sa: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/3g-umts/what-is-umts-wcdma-tutorial.php> [Pristupljeno: 16.08.2019.].
- [10] Technopedia. Preuzeto sa: <https://www.techopedia.com/definition/24282/wideband-code-division-multiple-access-wcdma> [Pristupljeno: 17.08.2019.].
- [11] ElectronicNotes. Preuzeto sa: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/3g-hspa/hsupa-high-speed-uplink-packet-access.php> [Pristupljeno: 17.08.2019.].

- [12] ElectronicDesign. Preuzeto sa:
<https://www.electronicdesign.com/communications/understanding-hspa-cellular-technology#3>
[Pristupljeno: 18.08.2019].
- [13] Sawhney RS. Performance Evaluation of QoS parameters in UMTS Network Using Qualnet; 2010. Preuzeto sa: <http://airccse.org/journal/ijdps/papers/1110ijdps06.pdf>
[Pristupljeno: 19.08.2019.].
- [14] Cisco. Solution Design Guide for Cisco Unified Contact Center Express, Release 11.6. Preuzeto sa:
https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/voice_ip_comm/cust_contact/contact_center/crs/express_11_6_2/design/guide/uccx_b_ccx-solution-design-guide-1162/uccx_b_ccx-solution-design-guide-1162_chapter_01000.html#UCCX_RF_E0EE7B88_00 [Pristupljeno: 19.08.2019.].
- [15] Sarraf C, Ousta F, Kamel N, Zuki M. Mapping of QoS between UMTS and WiMAX in Tight Coupling Heterogeneous Wireless Network. International Journal of Soft Computing and Software Engineering; 2012; 2(3): 8-10. Preuzeto sa:
https://pdfs.semanticscholar.org/de02/b2f949fd0251c826b0a2f8b33540859eb2e8.pdf?_ga=2.214409879.1486726348.1581690080-807060054.1581690080 [Pristupljeno: 19.08.2019.].
- [16] SearchNetworking. Preuzeto sa: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/TCP>
[Pristupljeno: 20.08.2019].
- [17] International Telecommunication Union. Recommendation G.114. One-way transmission time; 2003. Preuzeto sa: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114-200305-I/en> [Pristupljeno: 23.08.2019.].
- [18] dlesTechnologies blog. Preuzeto sa: <https://www.oodlestechnologies.com/blogs/Why-UDP-is-preferred-for-Live-Streaming/> [Pristupljeno: 23.08.2019.].
- [19] Grganić D. Analiza QoS zahtjeva pojedinih aplikacija u višesložnim mrežama. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2015. Preuzeto sa:
<https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A270/datastream/PDF/view> [Pristupljeno: 25.08.2019].

[20] International Telecommunication Union. Recommendation G.1010. End-user multimedia QoS categories; 2001. Preuzeto sa: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1010-200111-I> [Pristupljeno: 26.08.2019.].

[21] Salonen J, Toskala A, Holma H. UMTS Services and Applications; 2002. Preuzeto sa: https://www3.diism.unisi.it/~giambene/reti_di_telecomunicazioni_materiale/materiale_didattico/Vecchio_Ordinamento_e_Specialistica/UMTS_Services.pdf [Pristupljeno: 03.09.2019.].

[22] Chioariu C. QoS in UMTS; 2004. Preuzeto sa: http://kom.aau.dk/group/04gr995/Share/QoS_In_UMTS.pdf [Pristupljeno: 03.09.2019.].

Popis kratica

- 2G (Second Generation of Wireless Cellular Technology) mobilne mreže druge generacije
- 3G (Third Generation of Wireless Cellular Technology) mobilne mreže treće generacije
- 3GPP (Third Generation Partnership Project) organizacija za izradu tehničkih specifikacija za mobilne mreže treće generacije
- AF (Assured Forwarding) sigurno prosljeđivanje
- AMR (Adaptive Multirate) kodek za kompresiju zvučnih zapisa
- ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) asocijacija za radio industriju i tržište
- ATM (Asynchronous Transfer Mode) asinkroni mod prijenosa
- AuC (Authentication Center) centar za provjeru vjerodostojnosti
- BEF (Best Effort Forwarding) *Best Effort* prosljeđivanje
- CAC (Call Admission Control) kontrola uspostave poziva
- CDMA (Code Division Multiple Access) tehnika višetrukog pristupa sa kodnom raspodjelom
- DiffServ (Differentiated Services) mrežna arhitektura koja sadrži mehanizam za klasifikaciju i raspoređivanje mrežnog prometa
- EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) poboljšana brzina prijenosa za GSM evoluciju
- EF (Expedited Forwarding) ubrzano prosljeđivanje
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute) Europski telekomunikacijski institut za standarde
- FNR (Flexible Numbering Register) fleksibilan registar brojeva
- GGSN (Gateway GPRS Support Node) čvor u UMTS jezgrenoj mreži koji povezuje jezgrenu mrežu sa vanjskim mrežama
- GPRS (General Packet Radio Service) opća paketska radio usluga
- GSM (Global System for Mobile Communications) globalni sustav za mobilne komunikacije
- HLR (Home Location Registry) registar vlastitih pretplatnika
- HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) prijenos podataka velikim brzinama paketskim modom na silaznoj vezi u pristupnom dijelu mreže
- HSPA+ (Evolved High Speed Packet Access) poboljšana verzija protokola HSDPA i HSUPA
- HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) prijenos podataka velikim brzinama paketskim modom na uzlaznoj vezi u pristupnom dijelu mreže

IMSI (International Mobile Subscriber Identity) oznaka identiteta korisnika

IMT-2000 (International Mobile Telecommunications – 2000) inicijativa za stvaranje mreže za globalnu upotrebu

ITU (International Telecommunication Union) Međunarodna telekomunikacijska unija

LSP (Label Switched Path) dinamički stvorene putanje kroz MPLS mrežu

LTE (Long Term Evolution) tehnologija na kojoj se baziraju mobilne mreže četvrte generacije

ME (Mobile Equipment) mobilna oprema

MGw (Media Gateway) uređaj za konverziju multimedijских podataka između različitih tehnologija

MMCS (MultiMedia Call Control) tehnika za kontrolu multimedijских poziva

MPLS (Multi Protocol Label Switching) tehnika rutiranja koja prosljeđuje promet sa jednog na drugi čvor

MSC (Mobile Switching Centre) poslužitelj koji omogućava mobilnost prilikom trajanja poziva

MSISDN (Mobile Station ISDN Number) broj koji identificira mobilni uređaj na globalnoj razini

MT (Mobile Termination) dio ME domene za određivanje troškova korištenja mobilne opreme

NRT (Not Real Time) usluge koje ne rade u stvarnom vremenu

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) frekvencijsko multipleksiranje ortogonalnih podnosioca

PCM (Pulse-Code Modulation) pulsno-kodna modulacija

PDP (Packet Data Protocol) paketski protokol u bežičnim mrežama

PLMN (Public Land Mobile Network) javna zemaljska mobilna mreža

PN (Pseudonoise Sequence) pseudo-slučajni kodovi

PSTN (Public Switched Telephone Network) javna telefonska mreža

QoS (Quality of Service) kvaliteta usluge

RAB (Radio Access Bearer) radijsko pristupne nosive usluge

RB (Radio Bearer) radijski nosilac

RBS (Radio Base Station) radijska bazna stanica

RNC (Radio Network Controller) modul za upravljanje baznim stanicama

RSVP (Resource Reservation Protocol) protokol za rezervaciju resursa

RT (Real Time) stvarno vremenske usluge

RTT (Round Trip Time) vrijeme potrebno da zahtjev ode od izvora do odredišta i obrnuto

SF (Spreading Factor) faktor širenja

SGSN (Serving GPRS Support Node) čvor u UMTS jezgrenoj mreži koji kontrolira mobilnost i autentifikaciju korisnika

SIP (Session Initiation Protocol) protokol za uspostavljanje, održavanje i prekidanje poziva

SLA (Service Level Agreements) tehnika definiranja razina usluge

SMS (Short Message Service) tehnologija slanja poruka

SRNS (Serving Radio Network Subsystem) podsustav koji kontrolira vezu između UE i UTRAN-a

TCP (Transport Control Protocol) protokol za kontrolu prijenosa podataka

TD-CDMA (Time Division – Code Division Multiple Access) tehnologija višestrukog pristupa usmjerena na asinkrone usluge

TD-SCDMA (Time Division – Synchronous Code Division Multiple Access) tehnologija višestrukog pristupa usmjerena na sinkrone usluge

TE (Terminal Equipment) terminalna oprema

TFT (Traffic Flow Templates) predlošci za protok prometa

TOS (Type of Service) tipovi usluga

UDP (User Datagram Protocol) protokol za prijenos podataka u sustavima koji toleriraju kašnjenje

UE (User Equipment) korisnička oprema

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) univerzalni mobilni telekomunikacijski sustav

USIM (User Services Identity Module) tehnologija za specificiranje identiteta korisnika

UTRA FDD (UTRA Frequency Division Duplex) tehnika odašiljanja s frekvencijskim dupleksom

UTRA TDD (UTRA Time Division Duplex) tehnika odašiljanja s vremenskim dupleksom

UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access) UMTS radio sučelje

UTRAN (UMTS Terrestrial RAN) pristupna mreža u UMTS-u

WARC-92 (The World Administrative Radio Congress) kongres za globalno definiranje frekvencijskih područja

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) tehnika višestrukog pristupa s kodnom raspodjelom

WFBA(Weighted Fair Buffer Allocation) ponderirana pravedna alokacija kapaciteta međuspremnik

WFQ (Weighted Fair Queuing) ponderirano pravedno raspoređivanje

WRED(Weighted Random Early Discard) mehanizam za unaprijedno odbacivanje paketa koji uzima u obzir važnost paketa

WRR (Weighted Round Robin) tehnika raspoređivanja pristupa čvoru

Popis slika

Slika 1. UMTS domene.....	6
Slika 2. Slojevita arhitektura UMTS/WCDMA sustava.....	8
Slika 3. Arhitektura radio pristupne mreže.....	10
Slika 4. Frekvencijsko područje za UTRA FDD.....	12
Slika 5. Elementi koncepta QoS.....	16
Slika 6. UMTS QoS arhitektura.....	29
Slika 7. <i>End-to-end</i> pristup u Alcatel jezgrenoj mreži.....	31
Slika 8. <i>DiffServ</i> arhitektura.....	35
Slika 9. Princip stabla.....	38

Popis tablica

Tablica 1. Potrebna propusnost za različite količine prometa.....	18
Tablica 2. Specifične dozvoljene vrijednosti gubitka paketa za zvučne, video i podatkovne aplikacije.....	20
Tablica 3. Specifične dozvoljene vrijednosti kašnjenja za zvučne, video i podatkovne aplikacije.....	21
Tablica 4. Specifične dozvoljene vrijednosti varijacije kašnjenja za zvučne, video i podatkovne aplikacije.....	22
Tablica 5. Atributi nosivih usluga ovisno o svakoj klasi usluge.....	26