

*Rezime:*

*Kvalitet usluga QoS (Quality of Service) – multimedijalnih telekomunikacionih mreža razmatran je preko nivoa performansi, kategorija parametara kvaliteta, translacije parametara, kao i zahteva za saobraćaj i kvalitet prenosa u telekomunikacionoj mreži. Prezentirani su parametri kvaliteta govornih i audio signala, video signala, grafičkih dokumenata i podataka. Analizirani su QoS parametri kvaliteta ATM multimedijalnih mreža. QoS predstavlja jedan od važnih polaznih elemenata u projektovanju i realizaciji multimedijalnih mreža. S obzirom na to da je QoS određen skupom od nekoliko desetina parametara, problem je kako će se njime upravljati ako u mreži dođe do degradacije kvaliteta. U radu je predložen originalni algoritamski postupak za analizu i upravljanje QoS-om multimedijalne mreže.*

*Ključne reči: multimedijalne telekomunikacione mreže, kvalitet usluga, analiza kvaliteta, upravljanje kvalitetom, parametri kvaliteta.*

---

**MULTIMEDIA COMMUNICATIONS QUALITY OF SERVICE  
ANALYSIS**

*Summary:*

*This paper present the analysis of the multimedia communication quality of service (QoS) and a new concept for the QoS management. One of the main questions with respect to the real-time multimedia information over traditional and next generation networks is the quality of service, and how to manage the QoS. This paper offers one possible solution.*

*Key words: multimedia networks, Quality of Service – QoS, quality analysis, quality management, parameters of quality.*

---

**Uvod**

Multimedijalne telekomunikacione mreže, za razliku od klasičnih monomedijalnih mreža (telefonska mreža, mreža za prenos podataka, telegrafska mreža, telefaks mreža, mobilna telefonska mreža, mreža za distribuciju video signala, itd.), omogućavaju korisniku komunikaciju sa jednim ili više učesnika istovremeno, razmenom informacija u više medija kao što su: govor, audio signali, štampani ili ru-

kom pisani tekst, podaci, grafika, video slike i slično, pri čemu se takve poruke mogu računarski procesirati. U takvoj komunikaciji korisnik raspolaze jednim kanalom veze potrebnog propusnog opsega, kapaciteta (informacionog protoka) i kvaliteta. Poseban značaj u multimedijalnoj komunikaciji ima *kvalitet usluga* (u daljem tekstu QoS). Taj značaj ogleda se u sledećem:

– pri projektovanju multimedijalnih mreža QoS definiše kriterijume za ocenu

možnosti date telekomunikacione strukture (sistema veza) za izgradnju multimedijalne mreže;

– zahtevani parametri QoS-a direktno utiču na cenu realizacije multimedijalne telekomunikacione ili računarske mreže.

## Opšte o kvalitetu usluga

### Definicije QoS-a

Pri projektovanju i realizaciji multimedijalne mreže ili određenih multimedijalnih aplikacija nezaobilazan je izbor određenog QoS-a. Analiza ponašanja određene mreže u eksploataciji, izbor algoritama rutiranja saobraćaja i implementacija nekog algoritma za sinhronizaciju zasnivaju se na željenom QoS-u. Ne postoji jedinstvena definicija QoS-a, već više definicija koje opisuju tehničke performanse prenosa multimedijalnih poruka u zavisnosti od karakteristika date mreže i vrste multimedijalne aplikacije. Preporukom E.800 Međunarodne unije za telekomunikacije (ITU-T) kvalitet usluga se definiše kao efekat performansi usluge kojim je određen stepen zadovoljstva korisnika datom uslugom [1]. Na sličan način, u dokumentu Foruma za multimedijalne telekomunikacije (oznake MMCF/95-010), QoS se definiše kao skup karakteristika usluge koje određuju stepen zadovoljstva korisnika ponuđenom telekomunikacionom uslugom.

Preporukom ITU-T X.902 kvalitet usluga se definiše kao skup zahteva u pogledu kvaliteta koji opisuju grupno ponašanje jednog ili više objekata medija [2].

U ATM (Asynchronous Transfer Mode – asinhroni način transfera) leksikonu QoS se definiše kao termin koji se

odnosi na skup parametara za opisivanje ATM karakteristika kvaliteta, koje karakterišu saobraćaj na konkretnom virtualnom putu ATM veze. U ovom slučaju parametre kvaliteta čine: verovatnoća gubitka ćelija, broj pogrešno prenetih ćelija, stepen pogrešno ubačenih ćelija, kašnjenje ćelija u prenosu, varijacija kašnjenja ćelije, kapacitet transfera ćelija, verovatnoća bitske greške (BER) i drugi. Uočava se da je kod ATM-a QoS definisan skupom parametara koji se mogu kvantitativno meriti.

### Zahtevi za QoS

U tehničkom pogledu QoS predstavlja skup merljivih performansi, odnosno karakteristika multimedijalne mreže, među kojima su najznačajnije sledeće:

– raspoloživost (Availability). U idealnom slučaju mreža treba da bude raspoloživa u 100% radnog vremena, što u realnim uslovima eksploatacije nije ostvarivo. Kvalitetnim se smatraju one mreže čija raspoloživost iznosi 99,9999% radnog vremena („šest devetki“), što odgovara jednom prekidu u trajanju 2,6 sekundi mesečno [3];

– efektivni kapacitet ili propusna sposobnost (Throughput). Ovaj parametar označava efektivnu brzinu prenosa podataka, izraženu brojem prenetih informacionih bita u sekundi. Ova veličina je manja od kapaciteta kanala i bitskog protoka u mreži. U multimedijalnim mrežama definiše se efektivna propusna sposobnost, odnosno, najniža brzina prenosa informacija;

– gubitak paketa (Packet loss) u mreži nastaje kada dođe do prepunjava-  
nja bafera u komutacionim sistemima i ruterima, kao posledica čekanja paketa u redovima za usmeravanje, odnosno ruti-

Upoređenje karakteristika multimedijalnog saobraćaja i saobraćaja u tradicionalnim mrežama

Karakteristike saobraćaja	Saobraćaj u tradicionalnim mrežama	Multimedijalni saobraćaj
Brzina prenosa	mała	velika
Osobine saobraćaja	„naletni“	izrazito „naletni“
Zahtevi za pouzdani prenos	bez gubitaka	mali gubici
Zahtevi za kašnjenje	nema	malo, npr. 20–30 ms
Način komunikacije	tačka-tačka	između više tačaka (multipoint)
Vremenska zavisnost prenosa	nema	sinhronizovan prenos

ranje. Do gubitaka paketa, takođe, može doći ako se usled grešaka u prenosu paket usmeri na pogrešno odredište. U mrežama sa dobro rešenim upravljanjem gubitak paketa prosečno iznosi manje od 1% mesečno;

– kašnjenje (Latency). Vreme potrebno da se paketska poruka prenese od izvora do odredišta definiše se kao kašnjenje. Veličina kašnjenja zavisi od niza faktora kao što su: kašnjenje pri kodovanju – dekodovanju i kompresiji – dekompresiji, kašnjenje zbog paketizacije, kašnjenje u prenosu, kašnjenje propagacije po različitim medijima prenosa, kašnjenje pri komutaciji, kašnjenje zbog čekanja u baferima, kašnjenje pri reasembliranju poruke, itd.;

– varijacija kašnjenja (Jitter). Na pojavu džitera, ili varijacije kašnjenja, utiču brojni faktori kao što su: varijacija dužine redova čekanja paketa, varijacija vremena obrade paketa, varijacija trajanja vremena reasembliranja paketa, itd.

### Karakteristike multimedijalnog saobraćaja

Kvalitet usluga i efikasnost upravljanja kvalitetom QoS-om znatno zavise od karakteristika multimedijalnog saobraćaja. Priroda multimedijalnog saobraćaja zavisi od toga da li se prenos u mreži obavlja konstantnim ili promenljivim bit-skim protokom, a takođe i u kojoj meri je saobraćaj osetljiv na kašnjenje složenih multimedijalnih poruka koje se prenose i drugih elemenata.

U tabeli 1 prikazane su razlike između multimedijalnog saobraćaja i saobraćaja u tradicionalnim telekomunikacionim mrežama.

U multimedijalnim mrežama zahtevaju se velike brzine prenosa u odnosu

na tradicionalne mreže, a saobraćaj je izrazito „naletni“, što znači da u kratkim vremenskim intervalima treba preneti veoma veliku količinu informacija. Od multimedijalnih mreža zahteva se prenos poruka (govor, video slika) u realnom vremenu, a pri tome se mora obezbediti sinhronizovani prenos. Zahtevi za bitske brzine prenosa i osetljivost u prenosu različitih tipova informacija u multimedijalnoj komunikaciji prikazani su u tabeli 2.

Multimedijalne aplikacije u realnom vremenu znatno se razlikuju po karakteristikama od aplikacije tradicionalnih računarskih, odnosno telekomunikacionih mreža. Razlike se ogledaju u:

– većoj osetljivosti na promene QoS parametara u odnosu na klasične aplikacije. Multimedijalne aplikacije u realnom vremenu (tabela 2) osetljive su na kašnjenje i greške, odnosno gubitak segmenata poruke. Kod multimedijalnih aplikacija nije moguća primena metoda i tehnika za korekciju grešaka nastalih u prenosu;

– velikom broju multimedijalnih informacija u realnom vremenu koje generišu kontinualan saobraćaj u dužem pe-

Zahtevi za protok i osetljivost u prenosu različitih tipova informacija

Karakteristike saobraćaja	Tip informacije	Bitski protok (b/s)	Osetljivost na kašnjenje	Osetljivost na greške
Kontinualni dupleksni saobraćaj (dijalog, kooperacija)	- telefonija, govor - video „licem u lice“ (H.261, H.263, MPEG-1)	5,3k-64k 128k-2M	mala mala	velika srednja
Kontinualni simpleksni saobraćaj (distribucija, kooperacija)	- Hi Fi audio - standardni TV video (MPEG-2) - studijski kvalitet TV video signala (pokret, JPEG)	192 k – 1,4 M do 10M 20M – 50M	velika srednja srednja	srednja mala mala
Naletni saobraćaj (razmena poruka, transakcije, distribucija, kooperacija)	- slike visoke rezolucije - podaci (transfer fajlova) - upravljački podaci	64k – 8M 64k i veći 16k	velika velika mala	srednja srednja mala

JPEG (Joint Photographic Expert Group)

MPEG (Motion Picture Expert Group)

RPC (Remote Procedure Call)

riodu. Zbog toga mreža mora u kontinuitetu da obezbedi potrebne resurse;

- specifičnostima multimedijalnog saobraćaja koje se ogledaju u njegovoj „naletnosti“, odnosno nepredvidivosti u smislu pojave zahteva za posluživanje. To otežava proceduru dodele potrebnih resursa zahtevanoj vezi. Tako, na primer, dodela resursa na bazi prosečne bitske brzine ne može da obezbedi zahteve QoS-a, a dodela resursa na bazi maksimalnih brzina dovodi do smanjenja efikasnosti mreže. To se, svakako, odnosi na mreže koje podržavaju komunikaciju promenljivim brzinama.

### Nivoi kvaliteta usluga

U određenoj mreži nivo kvaliteta njenih QoS performansi (tabela 3) može biti:

- garantovan, u slučaju kada multimedijalna mreža obezbeđuje korisniku garantovan kvalitet usluga. Garantovani QoS obezbeđuje se analizom tzv. „worst-case“ saobraćaja i rezervacijom resursa potrebnih za realizaciju zahtevanog QoS-a. U slučaju kada se QoS ovako obezbe-

đuje, mreža će imati mali stepen iskorišćenja resursa;

- statistički, u slučaju kada je mala verovatnoća da zahtevani QoS neće biti realizovan. Statistički QoS se realizuje na bazi analize statističkih parametara saobraćaja, na osnovu koje mreža sprečava degradaciju QoS-a ispod unapred definisanog nivoa;

- prediktivni, kada mreža pokušava da obezbedi QoS uz mogućnost neuspelih pokušaja. Nadgledanjem stepena iskorišćenja resursa mreže i QoS performansi

Tabela 3

### Nivoi QoS performansi

Nivo QoS performansi	Realizacija zahtevanog QoS parametara Q	QoS pouzdanost	Korišćenje resursa
Garantovan	Q je garantovan	velika	malo
Statistički	mala verovatnoća da Q neće biti realizovan	velika	malo
Prediktivni	mreža pokušava da obezbedi Q uz mogućnost neuspešnih pokušaja	velika	malo
„Best-effort“	Q se ignoriše pri obezbeđivanju usluge	mala	veliko

vrši se adaptacija u skladu sa promenjenim uslovima u mreži, kako bi se time ostvario zahtevani QoS;

– „best-effort“, u slučaju kada se QoS ignoriše pri obezbeđivanju usluge, a tipičan primer su tradicionalne LAN/WAN mreže. Ovakav QoS nije pogodan za distribuirane mreže, zbog toga što ne uzima u obzir specifične zahteve određene aplikacije koje zahteva odgovarajući nivo QoS-a.

U tabeli 4 prikazani su nivoi kvaliteta različitih usluga, kao što su: prenos govora i audio signala, prenos video signala, prenos dokumenata i grafike i prenos podataka.

#### Kategorizacija i translacija QoS parametara

S obzirom na složenost problema određivanja i obezbeđenja QoS razlikuju se kategorije QoS-a. U tabeli 5 prikazana

Tabela 4

#### Nivoi kvaliteta usluga

Službe	Nivo kvaliteta usluga
Prenos audio signala	telefonski govorni signal (300×3400 Hz) MPEG kvalitet govornog signala Hi-Fi kvalitet audio signala CD-kvalitet audio signala studijski kvalitet audio signala
Prenos video signala	slika male rezolucije (128 × 220 piksela) VCR (Video Cassete Recorder) kvalitet TV studijski kvalitet slike TV visoke definicije (HDTV) MPEG-1 kvalitet slike MPEG-2 kvalitet slike MPEG-4 kvalitet slike
Prenos dokumenata i grafike	grafički dokumenti male rezolucije dokumenti preneti faksimilom grupe 3 dokumenti preneti faksimilom grupe 4 mirne slike i dokumenti visoke rezolucije (256 nijansi) mirne slike u boji visoke rezolucije
Prenos podataka	prenos fajlova sa kašnjenjem prenos fajlova sa ograničenim kašnjenjem

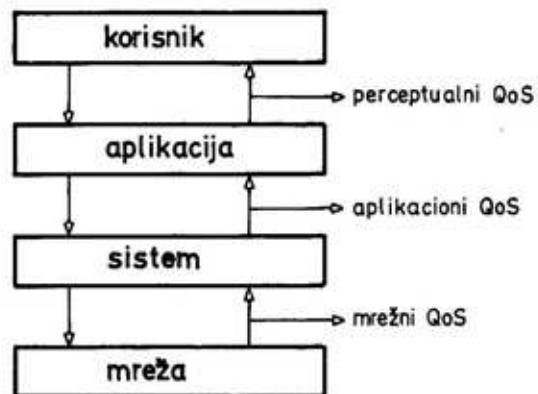
#### Kategorizacija QoS parametara

Kategorija	Primeri parametara
Performanse	kašnjenje od kraja do kraja, bitska brzina
Format	video rezolucija, brzina prenosa rama, šema kompresije, memorijski medij
Sinhronizacija	kašnjenje između audio i video sekvenci
Cena	cena veze i prenosa
Korisnik	subjektivni kvalitet slike i zvuka

je podela QoS parametara u pet kategorija sa primerima njihove primene.

Složenost QoS-a ogleda se, pored ostalog, u postojanju razlika između parametara koji se odnose na aplikaciju i mrežnih QoS parametara. Poseban značaj ima veza između tih parametara, odnosno pretvaranje (mapiranje) korisničkih – aplikativnih QoS parametara u mrežne QoS parametre.

Na slici 1 prikazana je translacija percepcijskih u aplikativne, a aplikativnih u mrežne QoS parametre i obratno. Jedna opšta klasifikacija QoS-a prikazana je na slici 2. Vidi se da je QoS definisan prema određenom korisniku (percepcija, aplikacija) i prema sistemu (terminal, mreža, prenos). Mapiranjem se postiže



Sl. 1 – Translacija QoS parametara





Sl. 2 – Klasifikacija QoS-a

povezivanje, odnosno translacija jednog u drugi QoS.

Multimedijalna mreža mapira aplikativne QoS zahteve u skup parametara koji opisuju multimedijalni terminal, protokole i mrežu. Karakteristike terminala i mrežnih elemenata koji su angažovani u procesu multimedijalne komunikacije definišu se preko *aplikativnih QoS parametara*. Tako, na primer, kvalitet video signala definiše se brzinom prenosa ramova (15 ili 30 ramova/s), veličinom rama (visina x širina) izraženom u pikselima i drugim.

Parametri koji se koriste za opis kvaliteta individualnih medijuma, od kojih se formira multimedijalna poruka, nazivaju se *parametrima kvaliteta medijuma*. Parametri kvaliteta medijuma mogu se podeliti na „interfrejm“ i „intrafrejm“ parametre. Prva grupa parametara odnosi se na karakteristike homogenog niza određenog medijuma, kao što su veličina odmerka, brzina odmeravanja, protok, itd. Druga grupa parametara omogućava opisivanje razlika u kvalitetu pojedinih odmeraka medijuma, kao što je kašnjenje ili pomak između dva medijuma, npr. između govornog i video signala.

Prenosni sistem multimedijalne mreže konfigurira se *mrežnim QoS parametrima*, koji opisuju zahteve koji se odnose na kvalitet mrežne infrastrukture, odnosno mrežnih resursa [3].

### Analiza parametara kvaliteta usluga

Pri projektovanju multimedijalnih (računarskih, telekomunikacionih) mreža, kroz projektne zahteve, definišu se aplikacije koje treba da budu obezbeđene korisnicima mreže [4]. Svaki tip aplikacije zahteva određenu širinu propusnog opsega kanala u multimedijalnoj mreži.

Na slici 3 prikazani su potrebni propusni opsezi za različite multimedijalne aplikacije kao što su: govorni i audio signali, video pošta, video konferencija, video na zahtev uz primenu kompresije (MPEG algoritam), standardna TV video slika i virtuelna realnost.

Po pravilu, preko multimedijalne mreže prenose se različiti tipovi signala. U tabeli 6 prikazana su tri tipa signala, i to:

- audio signali (uskopojasni govor, širokopojasni govor, CD audio signali);



QoS zahtevi za prenos audio signala

QoS parametar	Opseg	Opis
Kašnjenje od kraja do kraja	0–150 ms 150–400 ms	prihvatljivo za većinu aplikacija degradacija kvaliteta kod nekih aplikacija
Gubitak paketa	$\leq 10^{-2}$	telefonija
Propusni opseg	16 kb/s 32 kb/s 64 kb/s 128 kb/s 192 kb/s	telefonija audio konferencija } CD audio kvalitet komprimovani MPEG audio signali
Brzina odmeravanja	8 kHz 16 kHz	telefonski kvalitet govora CD audio kvalitet

Tabela 8

QoS zahtevi za prenos video signala

QoS parametar	Opseg	Opis
Bitska brzina	64 kb/s–2 Mb/s 1–2 Mb/s 2–4 Mb/s 3–6 Mb/s 140–166 Mb/s 25–34 Mb/s 500 Mb/s $\geq 1$ Gb/s	H.261 video konferencijski sistemi MPEG-1 VCR kvalitet MPEG-2 komprimovani studijski TV kvalitet nekomprimovani TV HDTV, MPEG-2 kompresija HDTV, kompresija sa gubicima HDTV, nekomprimovani
Gubitak paketa	$\leq 10^{-2}$ $\leq 10^{-11}$	nekomprimovani video komprimovani video
Kašnjenje od kraja do kraja	250 ms 200 ms	video telefonija JPEG video prenos
Džiter	10 ms 5 ms	video telefonija JPEG video prenos
Faktor kompresije	2:1 50:1	HDTV, kompresija bez gubitaka HDTV, kompresija sa gubicima

– mirna slika, grafika (faksimil grupe 4, VGA, XGA);

– video signali (HDTV, NTSC, PAL, CIF, CIF-2, QCIF, QCIF-2).

U tabeli 6 prikazani su: širina frekvencijskog opsega, brzina odmeravanja pri konverziji analognih signala u digitalni oblik, bitska brzina potrebna za prenos nekomprimovanih signala i maksimalni mogući stepen kompresije za pomenute tipove signala. Za svaki tip signala definišu se posebni QoS zahtevi, odnosno QoS parametri kvaliteta.

U tabeli 7 prikazani su QoS parametri: kašnjenje od kraja do kraja veze, granična dozvoljena verovatnoća gubitka paketa govornog signala, propusni opseg za odgovarajući nivo kvaliteta usluge i brzina odmeravanja pri analogno-digitalnoj konverziji govornih signala. QoS parametri dati su za različite aplikacije, odnosno nivoe usluga.

U tabeli 8 prikazani su QoS zahtevi za prenos video signala u multimedijalnim telekomunikacionim mrežama.



Parametri kvaliteta govornog signala

Parametri kvaliteta	Definicija kvaliteta i zahtevi										
MOS (Mean Opinion Score – srednja subjektivna ocena)	Subjektivna mera kvaliteta dobijena testiranjem grupe slušalaca. Kreće se od ocene 5 (odličan) do 0 (neprihvatljivo). Tipične vrednosti za VoIP kreću se između 3,5 do 4,2										
PSQM (Perceptual Speech Quality Measure – percepcijska mera kvaliteta govora)	Objektivna mera za kvalitet govornog signala. Dobija se pri prenosu govornog test-signala kroz mrežu. Porede se referentni i primljeni test-signalni.										
QDU (Quantization Distorsion Unit – izobličenja signala pri kvantovanju)	Mera izobličenja govornog signala, koje nastaje pri kvantovanju i kodovanju.										
R-faktor	Koristi se za ocenjivanje kvaliteta govora pri prenosu kroz mrežu od usta do uha. Primenjuje se za procenu MOS rezultata.										
Kašnjenje govornog signala pri obradi i prenosu kroz komunikacionu mrežu	<table> <tr> <td>0 do 25 ms</td> <td>odličan kvalitet</td> </tr> <tr> <td>25 do 150 ms</td> <td>dobar kvalitet</td> </tr> <tr> <td>150 do 300 ms</td> <td>zadovoljava</td> </tr> <tr> <td>300 do 450 ms</td> <td>degradiran</td> </tr> <tr> <td>veće od 450 ms</td> <td>neprihvatljiv kvalitet</td> </tr> </table>	0 do 25 ms	odličan kvalitet	25 do 150 ms	dobar kvalitet	150 do 300 ms	zadovoljava	300 do 450 ms	degradiran	veće od 450 ms	neprihvatljiv kvalitet
0 do 25 ms	odličan kvalitet										
25 do 150 ms	dobar kvalitet										
150 do 300 ms	zadovoljava										
300 do 450 ms	degradiran										
veće od 450 ms	neprihvatljiv kvalitet										
Varijacija kašnjenja (džiter)	<table> <tr> <td>Video konferencija</td> <td>do 130 ms,</td> </tr> <tr> <td>Govorni signal ispred video signala</td> <td>&lt; 20 ms</td> </tr> <tr> <td>Govorni signal iza video signala</td> <td>&lt; 120 ms</td> </tr> <tr> <td>MPEG govorni signal</td> <td>&lt; 0,1 ms</td> </tr> </table>	Video konferencija	do 130 ms,	Govorni signal ispred video signala	< 20 ms	Govorni signal iza video signala	< 120 ms	MPEG govorni signal	< 0,1 ms		
Video konferencija	do 130 ms,										
Govorni signal ispred video signala	< 20 ms										
Govorni signal iza video signala	< 120 ms										
MPEG govorni signal	< 0,1 ms										

U ovom slučaju QoS parametri su: bitska brzina za različite nivoe kompresije ili percepcijskog kvaliteta video signala, dozvoljena verovatnoća gubitka paketa komprimovanog i nekomprimovanog video signala, kašnjenje u prenosu od kraja do kraja veze, dopuštena vrednost džitera, kao i opseg faktora kompresije televizijskog video signala visoke definicije (HDTV).

Pored QoS parametara prenosa signala definišu se tzv. *percepcijski parametri QoS-a*.

U tabeli 9 prikazani su percepcijski parametri kvaliteta govornog signala.

Parametri kvaliteta govornog signala [5] koji omogućavaju ocenu vernosti, razumljivosti i drugih karakteristika su:

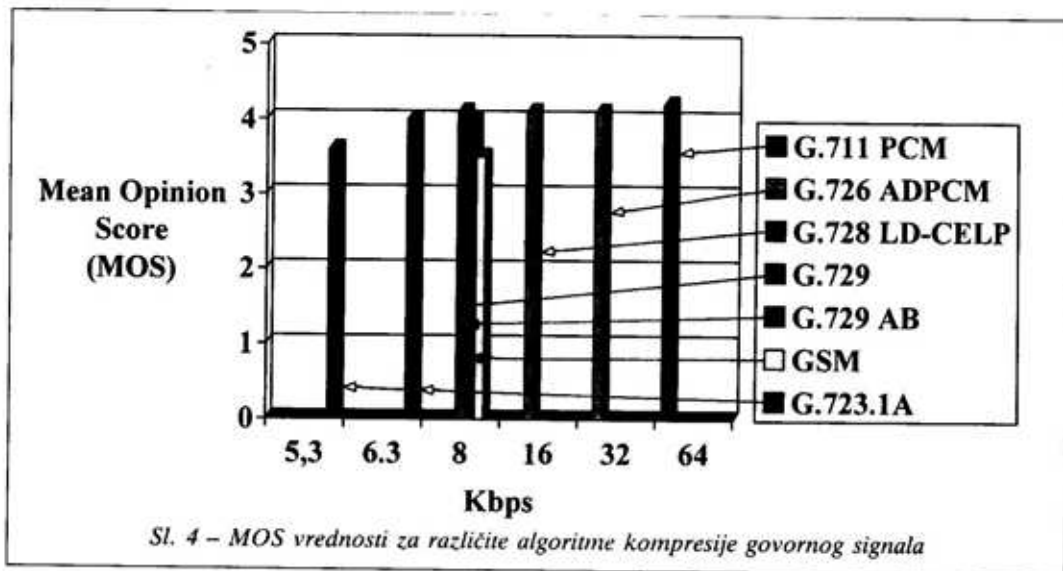
- MOS – Mean Opinion Score, predstavlja meru za kvalitet govora, odnosno subjektivnu ocenu kvaliteta koja se dobija testiranjem grupe slušalaca. Vrednost MOS-a kreće se od ocene 5

(odlično) do ocene 0 (neprihvatljivo). Vrednosti MOS parametara za različite algoritme kompresije – dekompresije govornog signala prikazane su na slici 4 [6];

- PSQM – Perceptual Speech Quality, predstavlja objektivnu meru za kvalitet govora koji se dobija pri prenosu ispitnog test-govornog signala kroz mrežu i njegovog poređenja sa referentnim signalom na odredištu;

- QDU – Quantization Distortion Unit, predstavlja meru izobličenja, koje je nastalo pri kvantizaciji, odmeravanju i kodovanju govornog signala. Ne predstavlja najpogodniju meru kvaliteta za performanse modernih najnovijih algoritama za kompresiju i kodno predstavljanje govornih signala;

- R – faktor, predstavlja metodu ocenjivanja kvaliteta prenosa govora u datoj telekomunikacionoj mreži. Obično se koristi za procenu MOS rezultata. Kategorije kvaliteta prenosa govora pred-



Sl. 4 – MOS vrednosti za različite algoritme kompresije govornog signala

Tabela 9b

Kategorije kvaliteta prenosa govora prema ITU-T G.109

Opseg R – vrednosti	100–90	90–80	80–70	70–60	60–0
Kategorija kvaliteta prenosa govora	najbolji (best)	visok (high)	srednji (medium)	nizak (low)	vrlo slab (very poor)

stavljene opsezima vrednosti R-faktora prikazane su u tabeli 9b [7];

– Delay – kašnjenje kojim se definišu dozvoljena granična kašnjenja govora u odnosu na zahtevani kvalitet. U tabeli 9 prikazani su nivoi kvaliteta (ocene kvaliteta) u zavisnosti od veličine kašnjenja;

– Jitter – džiter predstavlja varijaciju kašnjenja u mreži. Nastaje u slučaju kada se paketi govornog signala (slično važi i za druge multimedijalne poruke, odnosno pakete) prenose sa različitim kašnjenjem.

Za određene multimedijalne aplikacije definiše se granično kašnjenje i maksimalni džiter paketa od kraja do kraja veze. U tabeli 10 prikazane su dozvoljene granične vrednosti kašnjenja i džitera za neke audio i video službe. Vrednosti

intermedijalnog kašnjenja kod nekih multimedijalnih aplikacija prikazane su u tabeli 11.

Tabela 10

Kašnjenje i varijacija kašnjenja (džiter) za audio i video službe

Služba (primena)	Kašnjenje (ms)	Džiter (ms)
64 kb/s video konferencija	300	130
1,5 Mb/s MPEG video signali	5	6,5
20 Mb/s HDTV video signali	0,8	1
16 kb/s komprimovani govorni signali	30	0,1
256 kb/s MPEG govorni signali	7	0,1

Vrednosti intermedijalnog kašnjenja u nekim multimedijalnim aplikacijama

Multimedijalna primena	Kašnjenje
audio+tekst ili slika (veza point to point)	grubo kašnjenje < 1 s
audio+video (veza multipoint – multipoint)	grubo kašnjenje < 200 s fino kašnjenje: – audio unapred prema videu < 20 s – video unapred prema audio < 120 s
kompleksna konferencija audio+video+ slika+tekst	grubo kašnjenje < 200 s fino kašnjenje: – audio unapred prema videu < 20 s – video unapred prema audio < 120 s

### Analiza parametara kvaliteta usluga ATM mreža

Koncepcija ATM mreža zasniva se na prenosu i komutaciji digitalnih signala u formi paketa fiksne dužine 53 bajta, od čega 5 bajtova čini zaglavlje, a 48 bajtova sadrži korisničku informaciju. Takav paket nazvan je *ćelija* kako bi se napravila razlika između ATM-a i paketskog prenosa u računarskim mrežama.

ATM mreže realizuju se sa ciljem da se u njima po jednom kanalu obezbedi istovremeni (simultani) prenos govora, audio i video signala, grafičkih poruka i podataka, odn. da obezbedi prenos multimedijalnih poruka. Za svaki tip medija mreža treba da obezbedi prihvatljivi nivo kvaliteta performansi. Nije jednostavno da se pri istovremenom prenosu različitih vrsta poruka, za svaku od njih obezbedi zahtevani kvalitet. Nije u pitanju samo zahtevana širina propusnog opsega, već problemi koji se odnose na uticaj kašnjenja i grešaka nastalih u prenosu i trajanju prenosa poruke [8].

Međunarodna unija za telekomunikacije, odnosno ITU-T, svojom preporukom I.35B definisala je za ATM, odnosno širokopoljasne mreže, slučajeve koji se mogu dogoditi pri prenosu ćelija kroz ATM mrežu [8]:

- uspešno preneti ćelija (Successfully Cell). Ćelija dolazi na određište sa kašnjenjem koje je manje od T. Nema uticaja grešaka na informacioni sadržaj (Payload) ćelije. Ćelija mora stići na određište u definisanom vremenu, ali to ne znači da u informacionom sadržaju ne može biti grešaka;

- ćelija sa greškom (Errored Cell). Ćelija dolazi na određište sa najmanje jednom detektovanom bitskom greškom u informacionom polju ćelije. Druga mogućnost je da postoji nekoliko bitskih grešaka u informaciji koju nosi ćelija, pri čemu je broj grešaka N ( $N > 1$ ). Broj dozvoljenih grešaka nije definisan, odnosno ITU-T ga nije standardizovao. Prihvatljiva vrednost bi mogla biti  $N=2$ ;

- izgubljena ćelija (Lost Cell). Ćelija nekada ne stigne na određište ili stigne sa kašnjenjem većim od T. U tom slučaju se primljena ćelija odbacuje;

- ubačena ćelija (Inserted Cell). Ćelija sadrži nedetektovanu grešku u svom zaglavlju ili je pogrešno usmerena u nekom čvoru ATM mreže, usled čega je dospela na pogrešnu destinaciju.

Imajući u vidu navedene slučajeve koji se mogu pojaviti u komunikaciji, performanse ATM mreže karakterišu sledeći parametri kvaliteta:

1. Verovatnoća (stepen) gubitka ćelija (Cell Loss Ratio), koja se definiše odnosom broja izgubljenih ćelija prema zbiru broja izgubljenih i uspešno prenetih (isporučenih korisniku).

2. Brzina ubacivanja ćelija (Cell Insertion Rate), koja se definiše kao broj

ubačenih ćelija u niz otpremljenih ćelija u datom kanalu ATM mreže, u posmatranom vremenskom intervalu ili u jedinici vremena za određenu vezu. Ovaj parametar definiše ITU-T. ATM forum koji se, pored ostalog, bavi standardizacijom u oblasti ATM, redefinisao je prethodni parametar uvodeći novi parametar stepen ubacivanja ćelija (Cell Insertion Rate). Po novoj definiciji stepen ubačenih ćelija meri se kao ukupan broj ubačenih ćelija na nekoj vezi, podeljen zbirom broja ubačenih ćelija i broja otpremljenih ćelija po datoj vezi.

3. Verovatnoća (stepen) prosečno pogrešnih ćelija (Severely Insertion Rate), koja se definiše kao njihov odnos (broj ćelija sa više od jednog pogrešnog bita u zaglavlju) prema broju uspešno prenetih ćelija (isporučenih korisniku bez grešaka).

4. Kapacitet transfera ćelija (Cell Transfer Capacity) koji predstavlja maksimalan broj uspešno prenetih ćelija preko definisane ATM veze, u jedinici vremena.

5. Kašnjenje u transferu ćelija (Cell Transfer Delay) koje sadrži dve komponente: minimalno kašnjenje u transferu ćelije i aritmetičku srednju vrednost kašnjenja određenog broja ćelija.

6. Varijacija kašnjenja (Cell Delay Variation), koja u transferu ćelija, takođe, predstavlja kritičan parametar za kvalitet prenosa, posebno kada se radi o prenosu u realnom vremenu, kao što je prenos govora i video slike.

7. Verovatnoća (stepen) bitske greške (Bit Error Rate), koja se definiše kao odnos broja pogrešnih prema ukupnom broju prenetih bita na posmatranom kanalu veze.

Parametri kvaliteta prikazani su u tabeli 12.

Navedeni parametri kvaliteta spadaju u klasu QoS-a parametara prenosa, i predstavljaju veličine koje se mere u ATM mreži. Za to se koriste ATM analizatori protokola (ATM Protocol Analyzer). Rezultati dobijeni merenjem omogućavaju da se uoče i otklone problemi

Tabela 12

Parametri kvaliteta prenosa u širokopojasnim (ATM) mrežama

Red. br.	Parametar kvaliteta QoS prenosa	Definicija
1.	stepen gubitka ćelija (Cell Loss Ratio) – CLR	Odnos broja izgubljenih prema zbiru broja izgubljenih i uspešno prenetih ćelija
2.	brzina ubacivanja ćelija (Cell Insertion Rate) – CIRa	Broj ubačenih ćelija (u nizu primljenih u posmatranom intervalu) u jedinici vremena
3.	stepen ubacivanja ćelija (Cell Insertion Ratio) – CIR	Odnos broja ubačenih ćelija prema zbiru broja ubačenih i broja otpremljenih ćelija
4.	stepen prosečno pogrešnih ćelija (Severely Cell Ratio) – SCR	Odnos prosečnog broja pogrešnih ćelija prema broju uspešno prenetih ćelija
5.	kapacitet transfera ćelija (Cell Transfer Capacity) – CTC	Maksimalan broj uspešno prenetih ćelija u jedinici vremena (na posmatranoj vezi)
6.	kašnjenje u transferu ćelija (Cell Transfer Variation) – CTO	Aritmetička srednja vrednost kašnjenja određenog broja ćelija
7.	varijacija kašnjenja ćelije (Cell Delay Variation) – CDV	Ukupno kašnjenje u prenosu i komutaciji između dva odredišta u mreži (450 μs po komutacionom čvoru za govorni signal)
8.	stepen greške bita – količnik grešaka BER (Bit Error Rate)	Odnos broja pogrešnih bita prema broju ukupno prenetih bita u posmatranom intervalu

Klase bitskih brzina i kvalitet usluga koje podržava ATM mreža

Parametri kvaliteta usluga	Klase bitskih brzina			
	Konstantna bitska brzina (CBR)	Promenljiva bitska brzina (VBR)	Neodređena bitska brzina (UBR)	Raspoloživa bitska brzina (ABR)
Rad u realnom vremenu	da	da/ne	ne	ne
Garantovana širina propusnog opsega	da	da	ne	da
Garantovana (ugovorena) varijacija kašnjenja	da	da/ne	nema „ugovorenih“ parametara kvaliteta	ne
Garantovano kašnjenje ćelija	da	da		ne
Definisani (ugovoreni) dozvoljeni gubitak ćelija	da	da		ne
Vršni gubitak ćelija	da	da	da (eksplicitno ili implicitno)	da
Povratna informacija o zagušenju	ne	ne	ne	da u okviru specijalnih povratnih ćelija
Definisana tolerancija na varijacije kašnjenja	da	da	da	da
Prihvatljivi protok ćelija	ne	da	ne	ne
Maksimalna dužina perioda intenzivnog saobraćaja	ne	da	ne	ne
Minimalni protok ćelija	ne	ne	ne	da
Garantovani protok ćelija	ne	da	ne	da

koji se javljaju u prenosu ćelija za datu vezu ili ATM mrežu.

Za razliku od tradicionalnih računarskih LAN/WAN, mreža uskopojasnog ISDN-a (Integrated Service Digital Network), paketskih mreža i javnih telefonskih mreža, ATM mreže omogućavaju multimedijalnu komunikaciju različitim bitskim brzinama, odnosno protocima, kao što su:

- CBR (Constant Bit Rate) – konstantan bitski protok;
- VBR (Variable Bit Rate) – promenljiv bitski protok;
- ABR (Available Bit Rate) – raspoloživ bitski protok;
- UBR (Unsigned Bit Rate) – neznačen bitski protok.

Pored parametara QoS-a prenosa postoji niz parametara kvaliteta koji se

odnose na pojedine klase bitskih brzina. U tabeli 13 prikazane su klase bitskih brzina i kvalitet usluga koje podržava ATM mreža. Parametri navedeni u tabeli odnose se na saobraćajne karakteristike ATM veza, a spadaju u grupu tzv. kvantitativnih parametara (vršna brzina transfera ćelija, kašnjenje u prenosu, maksimalna dužina perioda intenzivnog saobraćaja, garantovana širina propusnog opsega, itd.).

### Upravljanje kvalitetom usluga

Prethodna analiza pokazuje da QoS multimedijalnih mreža opisuju brojni parametri (u tabelama 4, 6, 7, 8, 9 navedeno je više od 30 parametara kvaliteta). U tabelama 12 i 13 navedeno je preko 20 različitih parametara QoS-a koji se od-



nose na ATM mreže. Pored njih postoje brojni kvalitativni ili percepcijski parametri koji se odnose na kvalitet govora, video slike, grafike i njihove kombinacije u multimedijalnoj komunikaciji. Prema tome, QoS multimedijalne mreže definiše se sa više desetina (preko pedeset) različitih parametara kvaliteta. S obzirom na to postavlja se pitanje kako u takvim uslovima upravljati QoS-om u slučaju kada dođe do degradacije kvaliteta u multimedijalnoj mreži.

Kvalitet usluga koji mreža obezbeđuje korisniku, određen skupom parametara kvaliteta, može se predstaviti *matricom parametara QoS-a* oblika:

$$[Q_Z] = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & \dots & q_{2n} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & \dots & q_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{m1} & q_{m2} & q_{m3} & \dots & q_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Elementi  $q_{ij}$  matrice QoS imaju sledeće značenje:

-  $i = \{1, 2, 3, \dots, n\}$  označavaju redni broj elementa mreže koji je odgovoran za parametre kvaliteta, odnosno koji obezbeđuje definisani ili ugovoreni kvalitet;

-  $j = \{1, 2, 3, \dots, m\}$  su redni brojevi parametara kvaliteta.

Prema tome, elementi matrice parametara QoS-a imaju sledeće vrednosti:

$$q_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{ako } i\text{-ti element mreže ne obezbeđuje } j\text{-ti parametar kvaliteta} \\ 1, & \text{ako } i\text{-ti element obezbeđuje } j\text{-ti kvalitet} \end{cases}$$

Kada mreža funkcioniše regularno, multimedijalni terminal ima dodeljen (ili ugovoren) kvalitet, definisan skupom parametara  $j = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ .

Multimedijalni terminal permanentno kontroliše (slika 5) QoS parametre i upoređuje ih sa očekivanim parametrima kvaliteta  $j = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ . U mreži može doći do degradacije kvaliteta usled različitih spoljnih ili unutrašnjih faktora koji izazivaju određene promene u posmatranoj multimedijalnoj mreži.

Koncept upravljanja kvalitetom usluga multimedijalne telekomunikacione mreže prikazan je blok-šemom na slici 6.

To stanje može se predstaviti *matricom degradacije [D]* oblika:

$$[D] = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & \dots & d_{2n} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & \dots & d_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Elementi  $d_{ij}$  matrice degradacije QoS-a imaju sledeće vrednosti:

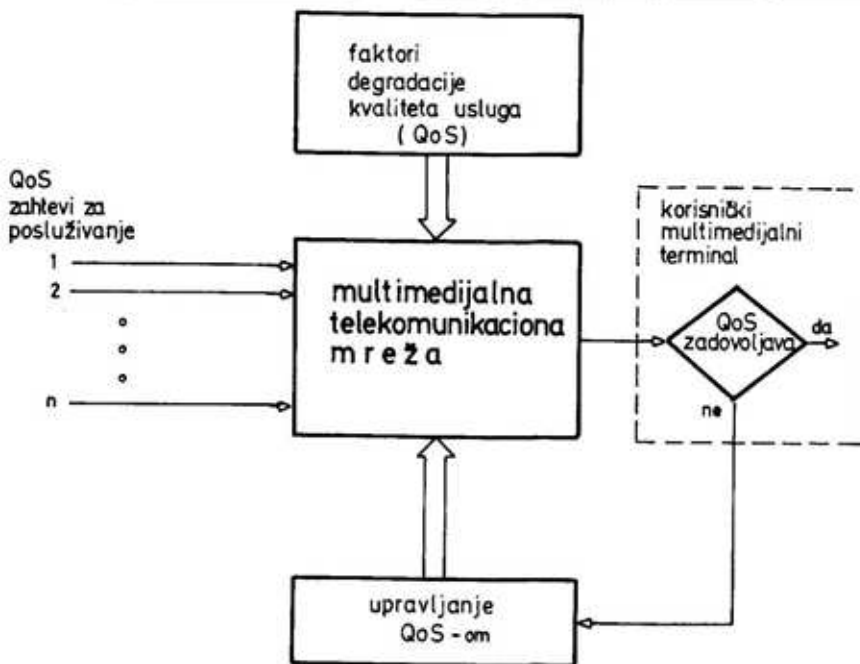
$$d_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{ako } i\text{-ti element mreže nije ugrožen i obezbeđuje } j\text{-ti kvalitet} \\ 1, & \text{ako je } i\text{-ti element ugrožen i obezbeđuje } j\text{-ti parametar kvaliteta} \end{cases}$$

Kvalitet usluga koji korisnik ima u slučaju degradacije ugovorenog kvaliteta može se odrediti kao proizvod *matrice kvaliteta usluga* i *matrice degradacije*:

$$[Q_R] = [Q_Z] * [D]^T \quad (3)$$

koja označava *matricu degradiranog QoS-a*, gde je  $[D]^T$  transponovana matrica matrice  $[D]$ .

Multimedijalni terminal analizira trenutni kvalitet, odnosno parametre kvaliteta, i detektuje degradirane parametre. Na osnovu tih podataka u povratnoj vezi formiraju se komande kojima se preko sistema za upravljanje mrežom deluje na



Sl. 5 - Upravljanje QoS-om

one elemente mreže koji su narušeni degradacijom. Upravljačke informacije mogu se predstaviti *korekcionom matricom* oblika:

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \dots & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & \dots & k_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{m1} & k_{m2} & k_{m3} & \dots & k_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Element  $k_{ij}$  ima vrednost 0 ako na  $i$ -ti element mreže ne treba delovati radi izmene  $j$ -tog parametra kvaliteta, a ima vrednost 1 ako na  $i$ -ti element mreže treba delovati da bi se obezbedio zahtevani parametar kvaliteta  $j$ .

Ovde se pod elementima mreže podrazumevaju: komutacioni čvorovi, ruteri, mrežne kapije, linkovi koji povezuju čvorove ili rutere, digitalne korisničke

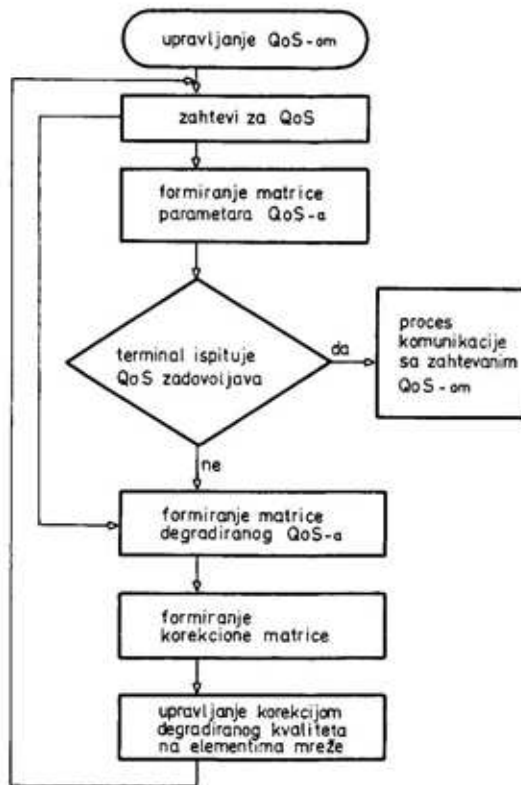
linije kojima su multimedijalni terminali povezani na čvorove, multimedijalni terminali i druga mrežna oprema. U prethodnim relacijama elementi mreže predstavljeni su skupom označenim sa  $i = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ .

Algoritamski postupak upravljanja QoS-om (slika 6) odvija se prema sledećim koracima:

- korisnik za svaku vezu definiše ili ugovara zahtevani kvalitet usluga;
- za datu vezu u mreži i kod traženog učesnika formira se matrica parametara QoS-a;
- terminal permanentno prati definisani QoS proverom kvaliteta multimedijalne poruke;
- ako neki ili svi parametri QoS-a ne zadovoljavaju u terminalu se formira matrica degradiranog QoS-a;

## Zaključak

Kvalitet usluga postojao je kao tehnički problem u tradicionalnim mrežama, ali je posebno značajan i složen kod multimedijalnih mreža. Ta važnost QoS-a za multimedijalnu komunikaciju proističe iz brojnosti parametara kvaliteta koji su različiti za govor, audio signale, mirnu sliku, grafiku visoke rezolucije, podatke ili video sliku. Problemi mogu nastati u slučaju kada u mreži, usled prirodnih smetnji, namernog ometanja, havarijskih otkaza ili neregularnih saobraćajnih slučajeva dođe do degradacije kvaliteta. U radu je predložen jedan postupak koji omogućava upravljanje mrežom u slučaju kada se dogodi odstupanje QoS-a od definisanog ili ugovorenog nivoa kvaliteta usluga.



Sl. 6 – Algoritamski postupak upravljanja QoS-om

– terminal formira elemente korekcijske matrice koji se preko podsistema za upravljanje mrežom prenose na elemente mreže kod kojih je došlo do promene parametara QoS-a;

– mreža menja stanja koja su uticala na degradaciju ili postavlja zahteve (selektuje nedegradirane puteve, čvorove ili druge elemente) za novu vezu sa definisanim QoS-om.

Procedura korekcije kvaliteta svodi se na uspostavljanje određenog virtuelnog kanala ili virtuelnog kanala koji poseduje potreban kvalitet.

### Literatura:

- [1] International Telecommunication Union: Terms and definition-related for quality of service and network performance including dependability, ITU-T Recommendation E.800, august 1995.
- [2] International Telecommunication Union: ITU-T Recommendation X. 902, november 1995.
- [3] Amitava Dutta-Roy: The cost of quality in Internet - stile networks, IEEE Spectrum, september 2000.
- [4] Katsuyoshi Lida, Kenji Kawahara, Tetsuya Takine: Performance Evaluation of the Architecture for End-to-End Quality-of-Service Provisioning, IEEE Communications Magazine, April 2000.
- [5] International Telecommunication Union: Definition of categories of speech Transmission quality, ITU-T Recommendation G.109, september 1999.
- [6] D. De Vleeschauwer, J. Janssen, G. H. Petit, F. Poppe: Quality Bounds for Packetized Voice Transport, Alcatel Telecommunications Review, 1/st Quarter 2000, pp. 19-23.
- [7] M. J. C. Buchli, D. De Vleeschauwer, J. Janssen, G. H. Petit, A. Van Moffaet: Quality of calls transported over a DSL access network, Alcatel Telecommunications Review 2-nd Quarter 2001, pp. 111-115.
- [8] Walter J. Goralski: Introduction to ATM networking, McGraw-Hill Inc., San Francisco, 1995.