

Kakovost storitve v paketnih omrežjih

Anton Kos, Robert Verlič in Sašo Tomažič

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: anton.kos@fe.uni-lj.si

Povzetek. V članku so podane definicije kakovosti storitve, ki se nanašajo na komunikacijska omrežja in storitve. Osvetliti poskušamo kakovost storitve s stališč uporabnika, ki se opira na subjektivne mere in kakovost izkušnje ter ponudnika, za katerega so pomembne objektivne mere kakovosti storitve. V nadaljevanju se osredotočimo na objektivne mere določanja kakovosti in množico med seboj odvisnih parametrov kakovosti storitve. Podane so tudi nekatere standardizirane in splošne vrednosti parametrov kakovosti storitve za zahtevne aplikacije. Za razumevanje uvajanja kakovosti storitve v paketna omrežja so na kratko podane osnovne lastnosti paketnih omrežij in pomembnost vzdrževanja dogovorjene stopnje kakovosti storitve na celotni prenosni poti. Ne nazadnje pa v javnih omrežjih ne smemo zanemariti niti psihološkega in sociološkega vidika uvajanja različnih stopenj kakovosti storitve.

Ključne besede: kakovost storitve, QoS, kakovost izkušnje, paketna omrežja, definicija QoS

Quality of Service in Packet Networks

Extended abstract. Quality of Service (QoS) is becoming a more and more important factor in network design and network operator selection. In this paper we start with the definition of QoS in communication networks and definitions of services they offer. Unfortunately users and network operators understand QoS in two very different ways. While users consider their subjective experience often called Quality of Experience (QoE), operators rely on objective measures of QoS parameters. The difference can be overcome by signing a Service Level Agreement (SLA) where users and operators adjust their expectations and capabilities. The paper then focuses on objective QoS measures and parameters that are highly interdependent; variation in one of them causes changes in all interdependent parameters. Some standardised parameter values are listed together with general requirements of demanding applications. To better understand relations between QoS and packet networks, basic properties of packet networks are given at the end with an emphasis on the importance of end-to-end QoS assurance. Finally, the introduction of QoS in public networks will have sociological and psychological implications that should not be neglected.

Key words: Quality of Service (QoS), Quality of Experience, Packet Networks, QoS definition

1 Uvod

Kakovost storitve (Quality of Service - QoS) je čedalje pogosteje uporabljan in pogosto tudi zlorabljan pojem. Zato naj ga na tem mestu najprej osvetlimo

Prejet 25. november 2003
Odobren 25. november 2003

iz več zornih kotov, podamo njegove definicije, njegovo razumevanje s strani uporabnikov in ponudnikov storitve, predstavimo njegove tehnične, psihološke in sociološke vidike ter njegovo uporabo v sodobnih telekomunikacijskih omrežjih.

Razvoj računalništva in telekomunikacijskih omrežij je v zadnjem desetletju napredoval z velikimi koraki. Biti povezan ali "on-line" ni več le domena posvečenih. Na začetku je za uporabnike vsekakor pomembnejša sama povezljivost v omrežje in dosegljivost določenih aplikacij. Ko pa delo z računalnikom in uporaba omrežij postane rutina, celo nuja, zgolj osnovne lastnosti ne zadoščajo več. Tedaj se uporabniki na lepem zavedo potrebe po kakovosti - najsi bo to za aplikacije, povezave v omrežje, prenos podatkov ali kak drug gradnik sodobnih komunikacijskih omrežij. Zato postaja kakovost storitve čedalje pomembnejši dejavnik pri načrtovanju ali izbiri komunikacijskega omrežja.

V članku se bomo posvetili kakovosti storitve v paketnih omrežjih, saj se v omrežjih s preklapljanjem povezav zagotavljanje kakovosti storitve v večini primerov omeji le na vprašanje razpoložljivosti in zadostne pasovne širine povezave.

2 Definicija kakovosti storitve

Splošno veljavne in enoznačne definicije kakovosti storitve ni. Obstaja pa množica definicij, ki služijo

širšim ali ožjim področjem znotraj računalništva in telekomunikacij.

ITU (International Telecommunication Union) je kakovost storitve v priporočilu X.902 [1] definiral kot "niz zahtev za kakovost kolektivnega obnašanja enega ali več objektov". Pri tem z več parametri QoS opišejo hitrost in zanesljivost prenosa podatkov (zakasnitev, prepustnost, število napak in drugo). Bolj splošna pa je definicija v priporočilu E.800 [2], ki pravi: "Kakovost storitve je skupni učinek lastnosti storitve, ki določajo zadovoljstvo uporabnika."

V leksikonu ATM (Asynchronous Transfer Mode) [3] najdemo naslednjo definicijo kakovosti storitve: "Kakovost storitve se nanaša na niz performančnih parametrov, s katerimi opišemo promet prek dane navidezne povezave." Ti parametri so: zakasnitev celic, število izgubljenih celic, število okvarjenih celic, število napačno vstavljenih celic, spremenljivost zakasnitve celic in povprečna zakasnitev celic. S temi parametri je definiranih pet razredov kakovosti storitve. Od razreda storitev po najboljših možnostih brez zagotovil, do razreda, ki omogoča sočasni prenos podatkov. Ti razredi pa so definirani za prenos podatkov na nižjih protokolnih plasteh in aplikacijam niso neposredno dostopni.

IETF (Internet Engineering Task Force) se je v svojem dokumentu RFC 1946 [4] kakovosti storitve dotaknil z naslednjimi besedami: "Z naraščanjem povpraševanja po sočasnih omrežnih storitvah narašča tudi potreba po določljivih storitvah prenosa podatkov v teh omrežjih. Določljivost pa od aplikacij in omrežne infrastrukture zahteva sposobnost zahtevati, vzpostaviti in uveljaviti tako določen prenos podatkov. Skupaj lahko tem storitvam rečemo rezervacija pasovne širine in kakovost storitev." V dokumentu RFC 1932 [5] pa takole: "Parametri kakovosti storitve za sočasne aplikacije so taki, da imajo ti podatki prednost pred podatki RSVP (Resource reSerVation Protocol) pretokov ali pa se v določeni obliki prenašajo znotraj njih."

V članku [6] je predlagana splošna definicija kakovosti storitve za aplikacije s potrebo po sočasni komunikaciji: "Kakovost storitve določa niz kvantitativnih in kvalitativnih lastnosti porazdeljenega večpredstavnega sistema, ki so potrebni za doseganje zahtevane funkcionalnosti aplikacije."

Iz zgornjih odstavkov lahko izluščimo dve glavni vodili za definicijo kakovosti storitve: zadovoljstvo uporabnika in doseganje ustreznih parametrov prenosnega sistema. Glede na to lahko podamo našo definicijo, ki se glasi: "*Kakovost storitve je zagotavljanje vneprej dogovorjenih parametrov prenosnega sistema, ki jamčijo zadovoljstvo uporabnika.*"

Če se pri zgornji definiciji omejimo na prenos podatkov, potem kakovost storitve pomenijo parametri

prenosnega sistema, kot so zakasnitev, prepustnost, delež napak in drugi, ki jamčijo zadovoljstvo uporabnika in so bili predhodno ali sproti dogovorjeni med njim in ponudnikom storitve. Pomemben element kakovosti storitve, ki je zaobjet tudi v naši definiciji, je namreč dogovor med ponudnikom in uporabnikom. Le tako lahko jamčimo, da so usklajene možnosti in želje obeh strani.

3 Kakovost storitve z vidika ponudnika in uporabnika

Pojem "kakovost storitve" je zelo širok in se večinoma uporablja zgolj za objektivne mere kakovosti povezav in prenosa podatkov v omrežju. Glede na uporabnika ter njegovim dojetjem dela in storitev pa kakovost postaja čedalje bolj subjektivna mera, ki jo določa on sam. Zato lahko rečemo, da je bistven vidik določanja primerne kakovosti storitve mnenje uporabnikov, ki s svojo oceno izrazijo stopnjo zadovoljstva s storitvijo.

V večini primerov uporabnik dojema kakovost storitve precej drugače kot njen ponudnik. Med najpomembnejše razloge za to sodi prav način njenega dojetanja. Medtem ko ponudnik za to uporablja objektivne mere, uporabnik kakovost storitve ocenjuje subjektivno. S stališča prvega so pomembne mere za kakovost storitve zakasnitev, bitna hitrost, propustnost, delež napak pri prenosu in podobno. Drugi pa storitev večinoma ocenjuje na podlagi svojih izkušenj pri njeni uporabi. Te pa niso odvisne zgolj od zmogljivosti omrežja ali opreme ponudnika storitve, ampak tudi od terminalske opreme uporabnika, prijaznosti njegovih aplikacij, njegove usposobljenosti in podobno. V zadnjem času se čedalje bolj uveljavlja pojem *kakovost izkušnje* (Quality of Experience - QoE), ki pomeni celovito uporabnikovo zaznavanje storitve. V nadaljevanju bomo za objektivne mere kakovosti storitve uporabljali pojem kakovost storitve, za subjektivne mere zaznavanja kakovosti storitve s strani uporabnikov pa pojem kakovost izkušnje.

Ker so storitve namenjene uporabnikom bi se lahko strinjali, da naj na koncu njihovo kakovost določajo in ocenjujejo sami. Žal pa imajo lahko uporabniki zelo različne predstave o kakovosti storitve in svoje želje večinoma izražajo v netehničnem jeziku. Tega morajo ponudniki storitve ovrednotiti s parametri kakovosti, s katerimi potem nastavijo delovanje prenosnega omrežja. Pogosto uporabniki zahtevajo "kakovost storitve", čeprav ne vedo natančno kaj to je.

Problem lahko rešimo s sklenitvijo *sporazuma o ravni storitve* (Service Level Agreement - SLA) med ponudnikom in uporabnikom. Pri tem je treba uskladiti želje uporabnikov in zmožnosti omrežja. Seveda

je pomembno, da ponudnik in uporabnik najdeta skupni jezik. Prvi mora razumeti, kako kakovost storitve dojema uporabnik, ta pa, kaj lahko od ponudnika zahteva in pričakuje. S tem sporazumom se navadno določi tudi cena, ki je seveda odvisna od dogovorjene stopnje kakovosti storitve.

4 Parametri kakovosti storitve

Splošno sprejetih subjektivnih mer* za kakovost izkušnje nimamo (ponavadi subjektivne mere obstajajo za natančno določene storitve, na primer za sproti prenos govora). Zato bomo na tem mestu poskušali podati parametre, s pomočjo katerih lahko določimo objektivne mere in ocene za kakovost storitev. Najpomembnejši parametri so:

- bitna hitrost (pasovna širina),
- zakasnitev,
- spremenljivost zakasnitve,
- rezervacija omrežnih virov,
- verjetnost napak pri prenosu,
- zasedenost omrežja,
- razpoložljivost omrežja,
- varnost in zasebnost podatkov.

Glede na nabor parametrov kakovosti storitve, ki jih ponuja omrežje, in potrebe uporabnika, se ta dva dogovorita o vrednostih parametrov prenosa, ki lahko veljajo celoten čas prenosa ali pa se dinamično spreminjajo glede na trenutne potrebe.

Edini pravi način za doseganje zadovoljivih rezultatov s stališča operaterjev omrežij in ponudnikov storitev je zagotavljanje kakovosti storitev prek omejenega nabora vrednosti parametrov prenosa, ki jih ti lahko spremljajo in nadzorujejo. Da bi lahko s spreminjanjem parametrov prenosa vplival na delovanje ponujanje storitve, mora operater ali ponudnik podrobno poznati njeno obnašanje. Ob tem pa mora zagotoviti primerno (želeno) kakovost storitve, s katero zadovolji uporabnika ter hkrati čim bolj optimalno in ekonomično izkoristiti prenosno omrežje.

4.1 Medsebojna odvisnost parametrov kakovosti storitve

Zgoraj naštetih parametri kakovosti storitve so med seboj odvisni in jih zato večinoma ne moremo obravnavati ločeno. Sprememba nekaterih izmed njih lahko odločilno vpliva na druge, odvisno od stopnje njihove soodvisnosti.

*Subjektivne mere so navadno povprečne ocene velikega števila ocenjevalcev, ki temeljijo na vnaprej dogovorjeni in pripravljene lestvici ocen.

Zelo lep primer take soodvisnosti sta bitna hitrost povezave in zakasnitev prenosa podatkov prek nje. Če povečamo prvo, se bo druga zmanjšala in nasprotno. Zakasnitev prenosa po fizični povezavi τ med dvema sosednjima vozliščema v omrežju je sestavljena iz zakasnitve razširjanja (propagacije) signala τ_p in zakasnitve predaje paketa τ_t (časa, ki ga oddajnik porabi, da preda celoten paket na linijo) po enačbi:

$$\tau = \tau_p + \tau_t \quad (1)$$

pri čemer je zakasnitev razširjanja signala τ_p stalna in znaša približno $5 \mu\text{s}/\text{km}$. Zakasnitev predaje paketa τ_t pa je odvisna od dolžine paketa L [bit] in bitne hitrosti na liniji R [bit/s] po enačbi:

$$\tau_t = L/R \quad (2)$$

Na primer, če 1000 oktetov dolg paket prenašamo prek 100 km povezave s hitrostjo 64 kbit/s, bo zakasnitev po enačbi 1 $\tau = \tau_p + L/R = 0.5 + 125 = 125.5$ ms, če pa isti paket prenašamo s hitrostjo 128 kbit/s, je zakasnitev $\tau = 0.5 + 62.5 = 63$ ms.

Podobna soodvisnost obstaja med zakasnitvijo in zasedenostjo omrežja, med razpoložljivostjo in zasedenostjo omrežja, med spremenljivostjo zakasnitve in zasedenostjo omrežja itd. Zagotavljanje kakovosti storitev prek nadzora omenjenih parametrov zatorej ni preprosta naloga. Pri spremembi enega izmed njih moramo vedno upoštevati tudi njegov vpliv na druge parametre.

5 Standardizirane vrednosti parametrov kakovosti storitve

Glede na splošne in ohlapne definicije (razdelek 2), velikega nabora parametrov in njihove soodvisnosti, ne moremo pričakovati natančno določenih (standardiziranih) vrednosti parametrov, ki bi zagotavljali točno določeno (standardizirano) kakovost storitve.

Kot primer navajamo sproti prenos govora (interaktivni pogovor), ki je ena redkih standardiziranih storitev. ITU priporočilo G.114 [7] določa maksimalne dovoljene zakasnitve na prenosni poti ob predpostavki, da je poskrbljeno za kontrolo odboja.

Zakasnitev na celotni prenosni poti je določena kot zakasnitev zvoka od ust govorca do ušes poslušalca. Sestavljena je iz stalnega (obdelave govornega signala) in spremenljivega dela (prenosno omrežje). Na prvega omrežje ne vpliva, zato se bomo v nadaljevanju posvetili le slednjemu.

Za sproti prenos govora veljajo standardizirane vrednosti zakasnitve na celotni prenosni poti [7]: zakasnitev pod 150 ms je primerna za večino aplikacij, zakasnitev med 150 in 400 ms je sprejemljiva za

nekatero aplikacije, če se uporabnik zaveda njihovega vpliva nanje, zakasnitev nad 400 ms pa je neprimerna za večino aplikacij.

Zakasnitve okoli 150 ms so zadovoljive za večino aplikacij, vendar pa nekatere visoko interaktivne govorne in podatkovne aplikacije vseeno zahtevajo nižje vrednosti. Podobno velja za zakasnitve nad 400 ms, ki so v osnovi neprimerne za večino interaktivnih aplikacij in se jih moramo izogibati, razen v primerih, ko je dostopnost do storitve pomembnejša od njene kakovosti. Podrobnejše rezultate meritev vpliva zakasnitev na kakovost govora najdemo v dodatkih A in B priporočila ITU G.114 [7], v [8] pa so podrobneje opisane možnosti prenosa govora prek podatkovnih omrežij, tudi s stališča kakovosti storitve.

6 Parametri kakovosti storitve za zahtevne aplikacije

Uveljavljene aplikacije iz podatkovnega sveta, kot so prenos elektronske pošte, datotek in brskanja po svetovnem spletu, so večinoma nezahtevne glede kakovosti storitve pri prenosu. Večini je dovolj že povezljivost in razumne vrednosti drugih parametrov kakovosti storitve (glej razdelek 4). Z napredkom tehnologije, večanjem zahtev uporabnikov, konkurence in zlivanjem omrežij pa so na podatkovnih omrežjih nastale aplikacije, ki jim zgolj povezljivost ne zadošča več. Za ustrezno delovanje od omrežja pričakujejo izpolnjevanje določenih, večkrat zelo strogih zahtev glede prenosnih parametrov. Kot najzahtevnejše se izkažejo aplikacije, ki delujejo v realnem času. Ena trenutno najpomembnejših in najbolj aktualnih je prenos interaktivnega govora, ki od omrežja zahteva naslednje:

- zadostna razpoložljiva bitna hitrost,
- rezervacija pasovne širine,
- majhna zakasnitev (prenos v realnem času),
- čimmanjša spremenljivost zakasnitve in
- majhen delež napak na prenosni poti.

Vse naštetje zahteve, razen zadnje, je v klasičnih paketnih omrežjih težko izpolniti. Zadostna bitna hitrost za prenos govora načeloma ni problematična, težave pa nastanejo, kadar mora biti na voljo ves čas aktivnosti aplikacije. V zvezi s tem je tudi želja po rezervaciji pasovne širine, ki bi aplikaciji zagotovila pasovno širino ves čas njenega trajanja. Majhna zakasnitev se navezuje na vrednosti, podane v razdelku 5 in je tesno povezana s svojo spremenljivostjo. Ta mora biti v sprejemniku kompenzirana z dodatno zakasnitvijo, ki se prišteva skupni zakasnitvi na prenosni poti. Na še večje težave naletimo pri prenosu interaktivnega videa, ki vključuje

vse zgornje zahteve, poleg tega ima pa še velike zahteve po pasovni širini.

7 Osnovne lastnosti paketnih omrežij

V zgornjih razdelkih smo obravnavali splošne pojme, definicije in parametre kakovosti storitve. Predstavili smo tudi kakovost storitve z vidika uporabnikov, ponudnikov in aplikacij. V naslednjih razdelkih pa želimo predstaviti osnovne lastnosti paketnih omrežij in jih osvetliti z vidika možnosti zagotavljanja različnih stopenj kakovosti storitve.

7.1 Statistični multipleks

V paketnih omrežjih prenašamo podatke s pomočjo paketov različnih dolžin, ki se na prenosni poti statistično multipleksirajo s podatki drugih povezav. Statistični multipleks ima kar nekaj prednosti pred npr. časovnim ali frekvenčnim multipleksom. Ker prenos podatkov večinoma poteka v izbruhih, je prenosna pot zasedena le v času njihovega pošiljanja in ne ves čas trajanja povezave. Pri statističnem multipleksu pošljemo celoten paket hkrati. Ta v tem času zaseže celotno pasovno širino prenosne poti. V tem času morajo paketi drugih povezav (kanalov) čakati na njeno sprostitev. Zato imamo v multipleksorjih čakalne vrste, ki začasno hranijo čakajoče pakete. Ti so potem po določenem algoritmu posredovani na izhod multipleksorja.

Tako kot pri drugih tehnikah multipleksiranja je tudi pri statističnem bistvo v združevanju kanalov. Pri večini multipleksiranih tehnik ima multipleksiran kanal zmogljivost, ki je vsota zmogljivosti vhodnih kanalov. Zaradi izbruhne narave prenosa podatkov v paketnih omrežjih vstopni kanali niso ves čas enako aktivni, temveč se količina podatkov na njih spreminja s časom. Zato je zmogljivost prenosne poti na izhodu statističnega multipleksorja lahko manjša od vsote maksimalnih pretokov vhodnih kanalov. Dolgoročno zadošča že, če je njena zmogljivost enaka vsoti povprečnih vrednosti pretokov na vhodnih kanalih. Zato se občasno zgodi, da je v določenem časovnem intervalu pritok paketov v multipleksor prevelik. Takemu stanju rečemo zasičenje vozlišča ali omrežja. Čakalna vrsta, ki lahko zaradi omejene dolžine kompenzira le kratkotrajne presežke pritoka, se začne polniti in ob daljšem obdobju presežnega prometa prične zavračati na novo prispelje pakete. Oboje je velika slabost paketnih omrežij.

7.2 Razpoložljiva zmogljivost prenosne poti, zakasnitev in njena spremenljivost

Statistično multipleksiranje dokaj učinkovito izrablja zmogljivosti prenosnih poti, kar ima za posledico

nekatero manj ugodne vplive na prenos podatkov. Ker ob času odpošiljanja paketov ne vemo, na kakšne razmere bodo ti naleteli v omrežju, ne vemo, kakšne prenosne parametre lahko zanje pričakujemo.

Zakasnitev prenosa podatkov v omrežju je enaka vsoti časov, potrebnih za prenos paketa med vozlišči in je odvisna od njihove medsebojne oddaljenosti ter razmer v omrežju. Čas prenosa paketa med vozlišči je sestavljen iz fizične zakasnitve paketa (glej 4.1) in njegove zakasnitve v vozlišču. Prva je odvisna le od razdalje in hitrosti povezave, druga pa od stanja vozlišča in je sestavljena iz zakasnitve obdelave paketa ter zakasnitve zaradi uvrstitve paketa v čakalno vrsto*. Prva je ponavadi zanemarljiva, druga pa se spreminja v odvisnosti od zasedenosti čakalne vrste in je lahko precejšnja. Zasedenost čakalnih vrst je odvisna od kratkoročne količine prometa na njenem vhodu. Podatki posameznih povezav to občutijo kot spremenljivo razpoložljivo zmogljivost prenosne poti in spremenljivo zakasnitev.

Vidimo, da vnese statistično multipleksiranje ob dobri izrabi omrežnih zmogljivosti, v prenos podatkov negotovost v smislu razpoložljivih prenosnih zmogljivosti, zakasnitve in njene spremenljivosti.

7.3 Kakovost storitve v paketnih omrežjih

Dejansko lahko kakovost storitve ocenimo glede na dosežene vrednosti parametrov kakovosti storitve. Če navedemo najpomembnejše lastnosti paketnih omrežij, ki so povezane s kakovostjo storitve:

- statistično multipleksiranje,
- spremenljiva razpoložljiva prenosna zmogljivost,
- nevarnost zasičenja omrežja,
- srednja do velika in spremenljiva zakasnitev,

in jih primerjamo s potrebami zahtevnih aplikacij (glej 6), potem lahko rečemo, da paketna omrežja zanje niso najprimernejša, saj se njihove lastnosti ne ujemajo najbolje z zahtevami aplikacij.

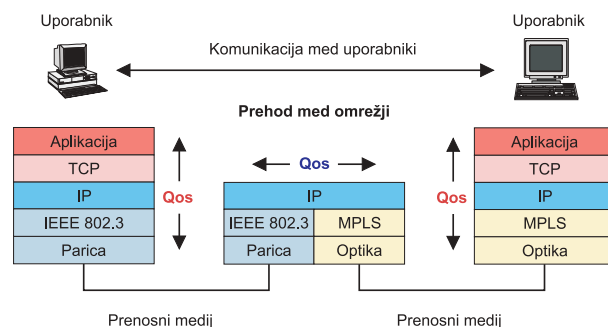
8 Kakovost storitve med končnima točkama komunikacije

Stopnja kakovosti storitve je navadno določena z naborom parametrov kakovosti storitve in njihovimi vrednostmi. Če želimo to stopnjo zadržati na celotni prenosni poti, potem morajo vsi protokoli in tehnologije na njej parametre kakovosti storitve obravnavati in izpolnjevati na enak ali zelo podoben

*Uvrstitev paketa v čakalno vrsto ima za posledico njegovo čakanje na vrsto za oddajo in s tem dodatno zakasnitev. Kdaj bo paket prišel na vrsto pa je odvisno od načina strelžbe čakalne vrste in njene prednosti glede na možne druge vzporedne čakalne vrste na istem izhodu multipleksorja.

način. Če je nabor protokolov in tehnologij enak na celotni prenosni poti, potem se morajo parametri kakovosti storitve pravilno preslikati samo med protokolnimi plastmi (vertikalno), če pa prenosna pot poteka prek več omrežij z različnimi prenosnimi tehnologijami, pa se morajo parametri kakovosti storitve pravilno preslikati tudi med istoležnimi protokoli posameznih omrežij (horizontalno).

Obstaja cela množica različnih kombinacij protokolov in tehnologij, s pomočjo katerih lahko prenašamo podatke. Na primer, uporabimo lahko omrežni protokol IP in njegove pakete prenašamo prek omrežja IEEE 802.3. Te iste IP pakete lahko prenašamo tudi prek omrežja MPLS, katerega okvire naprej prenašamo s pomočjo SDH. Kombinacij je veliko, saj obstaja cela množica prenosnih tehnologij in protokolov.



Slika 1. Preslikava parametrov kakovosti storitve
Figure 1. Quality of service parameter transformation

Preslikavo parametrov kakovosti storitve na celotni prenosni poti najlažje ponazorimo s preprostim primerom na sliki 1. Komunikacija med dvema uporabnikoma (končnima točkama) poteka po prenosni poti, ki na omrežni plasti uporablja protokol IP, na njej pa podatke prenašamo s pomočjo dveh različnih prenosnih tehnologij. V našem primeru uporabniška aplikacija zahteva določeno stopnjo kakovosti storitve, ki se na IP plasti preslika v ustrezno vrednost polja TOS ali DSCP v glavi IP paketa. To polje se ob predaji IP paketa plasti IEEE 802.3 preslika v ustrezno kombinacijo 802.1p bitov. Po prenosu IP paketa do roba omrežja IEEE 802.3 se mora vrednost polja TOS ali DSCP preslikati v ustrezno kombinacijo bitov eksperimentalnega polja MPLS okvira. Uporabniška aplikacija na drugi strani mora upoštevati vrednost polja TOS ali DSCP ter ustrezno ukrepati. Poudarimo naj, da je to zelo poenostavljen primer, s katerim želimo predstaviti princip preslikave zelene stopnje kakovosti storitve skozi protokolne sklade in različna prenosna omrežja na prenosni poti. V resnici so te preslikave precej bolj zapletene in žal niso enoumne. Različne prenosne tehnologije namreč uporabljajo ra-

zlično število stopenj kakovosti storitve in tudi te največkrat med seboj niso primerljive. Na primer, če želimo preslikati kakovost storitve določeno z eno izmed 64 mogočih vrednosti polja DSCP paketa IP, v eksperimentalno polje MPLS okvira z 8 mogočimi vrednostmi, moramo nujno skleniti kompromis in združevati stopnje kakovosti storitve.

9 Psihološki in sociološki vidiki uvajanja različnih stopenj kakovosti storitev

Uvajanje različnih stopenj kakovosti storitve v paketnih omrežjih narekuje več dejavnikov. Čeprav ponavadi najprej pomislimo na velike zahteve aplikacij, uvajanje novih storitev in želje uporabnikov, pa smo verjetno bliže resnici, če rečemo, da bo gonilna sila uvajanja kakovosti storitev ekonomija. Ponudniki storitev in operaterji omrežij bodo v želji po pridobivanju konkurenčne prednosti ponujali različne stopnje kakovosti storitve. Glede na to, da je začetna osnova večinoma zelo nizka (javna IP omrežja, ki trenutno podpirajo le prenos po najboljših zmožnostih), naj bi izboljšava kakovosti storitve pomenila višji dohodek. Za boljše kakovost storitve bo seveda treba tudi več plačati.

Vprašanje je, kako bodo to dejstvo sprejeli uporabniki. Če se osredotočimo na najbolj razširjeno omrežje Internet, opazimo, da je le to izredno demokratično. Vsi uporabniki, ki v istem trenutku uporabljajo določeno povezavo, imajo enake možnosti za prenos podatkov in zanje dosegajo enake prenosne parametre. Z uvedbo različnih stopenj kakovosti storitve, se ta demokratičnost poruši in enakopravni uporabniki omrežja se bodo razsoljili na "reveže" in "bogataše". Zgolj ugibamo lahko, kako bo to vplivalo nanje ter posledično tudi na operaterje omrežij in ponudnike storitev. Vsekakor bo to snov za raziskave.

10 Sklep

Zagotavljanje različnih stopenj kakovosti storitve bo ščasoma postalo del ponudbe operaterjev omrežja. Zato je razumevanje osnovnih pojmov in relacij pomembno tako za uporabnika kot za ponudnika storitve. Poznavanje želja in zmožnosti omrežja pa bo podlaga za sklenitev sporazuma o stopnji storitve. Ta bo temeljil na objektivnih in merljivih parametrih kakovosti storitve, omejenih z zmožnostmi omrežij, prek katerih bo potekala prenosna pot. Dogovorjena stopnja kakovosti storitve bo morala biti vzdrževana na celotni prenosni poti. Največja neznanka pa je odziv uporabnikov in vpliv uvajanja kakovosti storitve nanje in na družbo.

11 Literatura

- [1] ITU X.902: *Information technology - Open distributed processing - Reference Model*, International Telecommunication Union, Geneva, November 1995.
- [2] ITU E.800: *Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability*, International Telecommunication Union, Geneva, August 1995.
- [3] TTI Vanguard: *ATM Lexicon*, <http://www.tticom.com/atmglosy/atmlex.htm#qos>
- [4] RFC 1946: *Native ATM Support for ST2+*, Internet Engineering Task Force, May 1996.
- [5] RFC 1932: *IP over ATM: A Framework Document*, Internet Engineering Task Force, April 1996.
- [6] Andreas Vogel: *Distributed Multimedia and Quality of Service: A Survey*, <http://www.dstc.edu.au/AU/staff/andreas-vogel/papers/ieee-mm.ps>.
- [7] ITU G.114: *One-way transmission time*, International Telecommunication Union, Geneva, February 1996.
- [8] Anton Kos: *Prenos govora preko podatkovnih omrežij*, magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, april 1998.
- [9] Anton Kos: *Prenos podatkov v realnem času in zagotavljanje kakovosti storitev v IP omrežjih*, Raziskovalno delo podiplomskih študentov Slovenije - Novo tisočletje: Naravoslovje in tehnika, Društvo mladih raziskovalcev Slovenije, 2001.

Anton Kos je diplomiral leta 1994 in magistriral leta 1998 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani s področja elektronike in telekomunikacij. Trenutno je zaposlen v Laboratoriju za komunikacijske naprave na Fakulteti za elektrotehniko. Njegovo pedagoško, raziskovalno in razvojno delo je povezano predvsem s komunikacijskimi omrežji, še posebej z omrežji IP. Znotraj tega področja ga še posebej zanima zagotavljanje kakovosti storitev v sodobnih komunikacijskih omrežjih.

Robert Verlič je diplomiral in magistriral iz elektrotehnike na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo v Ljubljani. Leta 1995 se je zaposlil na Inštitutu Jožef Stefan, kjer je delal kot mladi raziskovalec. V tem času se je ukvarjal s prenosom večpredstavnih storitev prek paketnih omrežij. Od leta 1997 do leta 2001 je bil zaposlen v podjetju IBM Slovenija, leta 2001 pa se je zaposlil v podjetju NIL podatkovne komunikacije, d.o.o. Sodeluje pri svetovanju in načrtovanju podatkovnih omrežij. Je nosilec nazivov CCIE (Cisco Certified Internetwork Expert) in CCNP (Cisco Certified Network Professional).

Sašo Tomažič je diplomiral leta 1979, magistriral leta 1981 in doktoriral leta 1991 na Univerzi v Ljubljani, vse s področja telekomunikacij. Zaposlen je na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani kot profesor in predstojnik Laboratorija za komunikacijske naprave in predstojnik Katedre za telekomunikacije. Je nacionalni koordinator za področje telekomunikacij na MŠZŠ. Njegovo sedanje delo zajema raziskave na področju obdelave signalov, varnosti v telekomunikacijah, elektronskega poslovanja in porazdeljenih podatkovnih sistemov. Predava predmete Osnove telekomunikacij, Digitalne komunikacije Komunikacijska vezja, Gradniki TK sistemov, Digitalna obdelava signalov, Adaptivna obdelava signalov in Mobilne komunikacije.