

Paketna omrežja in kakovost storitve

Anton Kos
Fakulteta za elektrotehniko
Tržaška 25, 1000 Ljubljana
Tel: 01 4768493
E-pošta: anton.kos@fe.uni-lj.si

POVZETEK

Kakovost storitve postaja vedno pomembnejši dejavnik pri načrtovanju omrežja in odločanju o izbiri operaterja ali ponudnika storitev. Zato smo se odločili podati naš pogled na trenutno stanje na področju kakovosti storitve v paketnih omrežjih. V članku so najprej podane definicije kakovosti storitve, ki se nanašajo na komunikacijska omrežja in storitve. Navedenim definicijam dodamo tudi lastno definicijo, ki po našem mnenju bolje zaobjame obravnavano področje. V nadaljevanju se osredotočimo na objektivne mere določanja kakovosti storitve in množico med seboj odvisnih parametrov kakovosti storitve. Nadalje so podane nekatere standardizirane in splošne vrednosti parametrov kakovosti storitve za zahtevne aplikacije. Za razumevanje principa uvajanja kakovosti storitve v paketna omrežja so na kratko podane osnovne lastnosti paketnih omrežij. Potem se osredotočimo na trenutno najbolj razširjena paketna omrežja (IEEE 802.3 Ethernet, ATM in IP) in na obetavne nove tehnologije (MPLS). Vsako izmed njih na kratko opišemo in podamo njegove zmožnosti zagotavljanja različnih stopenj kakovosti storitve. Za konec orišemo tudi kompleksnost in pomembnost vzdrževanja dogovorjene stopnje kakovosti storitve na celotni prenosni poti.

Ključne besede: kakovost storitve, QoS, paketna omrežja, definicija kakovosti storitve, DSCP, ToS, preslikava parametrov QoS

ABSTRACT

PACKET NETWORKS AND QUALITY OF SERVICE

Quality of Service (QoS) is becoming more and more important factor in network design and network operator selection. In this paper we therefore give our view on current of the quality of service in packet networks. We start with definitions of QoS in communication networks and definitions of services they offer. We also contribute our own definition that in our opinion captures the scope of this article better. Later on the article 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 with the focus on most widespread networks (IEEE 802.3 Ethernet, ATM and IP) and on promising new technologies (MPLS). Each of them is shortly described and evaluated in terms of its ability to offer different levels of QoS. At the end the complexity and importance of end-to-end QoS assurance and maintenance is emphasised.

Key words: quality of service, QoS, packet networks, QoS definition, DSCP, ToS, QoS parameters translation

1 UVOD

Kakovost storitve (Quality of Service - QoS) je vse pogosteje uporabljan in mnogokrat tudi zlorabljan pojem. Zato naj ga na tem mestu najprej osvetlimo z več zornih kotov, podamo njegove definicije, njegovo razumevanje s strani uporabnikov in ponudnikov storitve, predstavimo njegove tehnične, psihološke in sociološke vidike ter možnost njegove implementacije v sodobnih telekomunikacijskih omrežjih.

Razvoj računalništva in telekomunikacijskih omrežij je v zadnjem desetletju napredoval z velikimi koraki in biti povezan ali "on-line" ni več le domena posvečenih. Na začetku je uporabnikom vsekakor najbolj pomembna sama povezljivost v omrežje in obstoj določenih aplikacij, ki jim olajšajo delo. Ko pa delo z računalnikom in uporaba omrežij postane rutina, celo nuja, zgolj osnovne lastnosti ne zadoščajo več. Tedaj se uporabniki naenkrat zavedo potrebe po kakovosti - najsi bo to za aplikacije, povezave v omrežje, prenos podatkov ali kak drug gradnik sodobnih komunikacijskih omrežij.

1.1 Definicija kakovosti storitve

Najprej si na pogledimo nekaj osnovnih stvari o kakovosti storitve. Splošno veljavne in enoznačne definicije kakovosti storitve ni. Obstaja pa množica definicij, ki služijo širšim ali ožjim področjem znotraj računalništva in telekomunikacij.

Tako je ITU (International Telecommunication Union) kakovost storitve za potrebe odprtega porazdeljenega procesiranja (Open Distributed Processing) definiral kot: "Niz zahtev za kakovost kolektivnega obnašanja enega ali več objektov." (ITU-X.902, 1995) Pri tem z več parametri QoS opišemo hitrost in zanesljivost prenosa podatkov (zakasnitev, propustnost, število napak in drugo). Bolj splošna pa je definicija v priporočilu (ITU-X.902, 1995), ki pravi: "Kakovost storitve je skupni učinek lastnosti storitve, ki določajo zadovoljstvo uporabnika."

V ATM leksikonu (TTI Vanguard, 1995) najdemo naslednjo definicijo kakovosti storitve: "Kakovost storitve se nanaša na niz performančnih parametrov s katerimi opišemo promet preko dane navidezne povezave." Ti parametri so zakasnitve 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, 1996) 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, 1996) 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 Distributed Multimedia and Quality of Service: A Survey (Vogel) 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 vnaprej dogovorjenih parametrov prenosnega sistema, ki jamčijo zadovoljstvo uporabnika*"

Če se pri zgornji definiciji omejimo na prenos podatkov, potem kakovost storitve predstavljajo 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.

1.3 Parametri kakovosti storitve

Splošno sprejetih subjektivnih mer¹ za kakovost storitve nimamo (ponavadi subjektivne mere obstajajo za točno 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 preko omejenega nabora vrednosti parametrov prenosa, ki jih ti lahko spremljajo in nadzorujejo. Da bi lahko s spreminjanjem parametrov prenosa vplival na delovanje ponujane storitve, mora operater ali ponudnik podrobno poznati njeno obnašanje. Ob tem pa mora zagotoviti primerno (želeno) kakovost storitve, s katero zadovolji uporabnika ter hkrati čimbolj optimalno in ekonomično izkoristiti prenosno omrežje.

1.4 Medsebojna odvisnost parametrov kakovosti storitve

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

Zelo lep primer take soodvisnosti sta bitna hitrost povezave in zakasnitve prenosa podatkov preko nje. Če povečamo prvo, se bo druga zmanjšala in obratno. 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 (to je čas, ki ga oddajnik porabi, da preda celoten paket na linijo) τ_t po enačbi $\tau = \tau_p + \tau_t$, pri čemer je zakasnitev razširjanja signala τ_p konstantna 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 $\tau_t = L/R$. Na primer, če 1000 oktetov dolg paket prenašamo v 100 km oddaljeno napravo preko povezave s hitrostjo 64 kbit/s, bo zakasnitev $\tau = \tau_p + L/R = 0.5 + 125 = 125.5$ ms, če pa enak paket prenašamo preko povezave s hitrostjo 128 kbit/s, znaša 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 preko nadzora omenjenih parametrov zatorej ni preprosta naloga. Pri spremembi enega izmed njih moramo vedno upoštevati tudi njegov vpliv na druge parametre.

1.5 Standardizirane vrednosti parametrov kakovosti storitve

Glede na zelo splošne in ohlapne definicije, velikega nabora parametrov ter njihove soodvisnosti, ne moremo pričakovati natančno določenih in standardiziranih vrednosti parametrov, ki bi zagotavljali točno določeno ali standardizirano kakovost storitve. Ena redkih standardiziranih storitev je sproti prenos govora (interaktivni pogovor). ITU priporočilo (G.114, 1996) določa maksimalne dovoljene zakasnitve na celotni prenosni poti ob predpostavki, da je ustrezno poskrbljeno za kontrolo odboja, ki naj bi se uporabila že pri zakasnitvah nad 25 ms (ITU-G.131, 1996). Mejne vrednosti so podane s spodnjim seznamom.

- 150 ms primerno za večino aplikacij
- 150 - 400 ms sprejemljivo za nekatere aplikacije, če se uporabnik zaveda vpliva zakasnitve na delovanje aplikacije
- 400 ms neprimerno za večino aplikacij

Podrobnejše rezultate meritev vpliva večjih zakasnitev na kakovost interaktivnega pogovora lahko najdete v dodatkih A in B priporočila ITU (G.114, 1996), v (Kos, 1998) pa so podrobneje obdelane možnosti prenosa govora preko podatkovnih omrežij, tudi s stališča kakovosti storitve.

2 KAKOVOST STORITVE V OBSTOJEČIH PAKETNIH OMREŽJIH

V tem poglavju bomo predstavili osnovne lastnosti paketnih omrežij in njihove najpomembnejše predstavnike. Predvsem pa bomo pozorni na njihovo trenutno zmožnost zagotavljanja različnih stopenj kakovosti storitve ter možnosti njihove nadgradnje in izboljšav.

2.1 Osnovne lastnosti paketnih omrežij in 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 podatke prenašamo, ko se ti pojavljajo na vhodu multipleksorja. Celoten paket pošljemo naenkrat in v tem času morajo paketi ostalih povezav (kanalov) čakati na sprostitev prenosne poti. Zato imamo v takih multipleksorjih čakalne vrste, ki začasno hranijo pakete in jih po določenem algoritmu posredujejo na izhod multipleksorja.

Tako kot pri drugih tehnikah multipleksiranja je tudi pri statističnem bistvo združevanje kanalov. Pri večini multipleksiranih tehnik ima multipleksiran kanal kapaciteto, ki je vsota kapacitet vhodnih kanalov. Pri statističnem multipleksu pa je zaradi boljše izkoriščenosti prenosne poti ta vsota lahko večja od kapacitete kanala. Zaradi prenosa podatkov v izbruhih se količina njihovih podatkov posameznih pretokov spreminja s časom. Zato je lahko kapaciteta prenosne poti na izhodu multipleksorja manjša od vsote maksimalnih pretokov vhodnih kanalov. Dolgoročno zadošča že, če je njena kapaciteta vsota povprečnih vrednosti pretokov kanalov. Seveda se zaradi tega zgodi, da je v nekem času prtok paketov v multipleksor prevelik. Čakalna vrsta, ki zaradi omejene dolžine lahko kompenzira le kratkotrajne presežke pritoka, se začne polniti in ob daljšem obdobju presežnega prometa prične zavračati novoprispele pakete. Takemu stanju rečemo zasičenje vozlišča ali omrežja.

2.3 Razpoložljiva kapaciteta prenosne poti, zakasnitev in njena spremenljivost

Statistično multipleksiranje dokaj učinkovito izrablja kapacitete prenosnih poti kar pa ima za posledico nekatere 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 pričakujemo zanje.

Zakasnitev prenosa podatkov v omrežju je vsota 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 in njegove zakasnitve v vozlišču. Prva je odvisna le od razdalje in kapacitete povezave, druga pa od stanja vozlišča in je sestavljena iz zakasnitve obdelave paketa ter zakasnitve zaradi uvrstitve paketa v čakalno vrsto². Prva je ponavadi zanemarljiva, druga pa se spreminja v odvisnosti od zasedenosti čakalne vrste in je odvisna od kratkoročne vsote prometa na njenem vhodu. Lahko je precejšnja. Podatki posameznih povezav jo občutijo kot spremenljivo razpoložljivo kapaciteto prenosne poti in spremenljivo zakasnitev.

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

2.4 Kakovost storitve v paketnih omrežjih

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

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

potem lahko rečemo, da paketna omrežja niso najbolj primerna za prenos podatkov, ki bi zahtevali stalno in zagotovljeno kakovost storitve. Če si kot primer ogledamo prenos interaktivnega govora, ki ima do prenosnega omrežja dokaj hude zahteve:

- zadosti velika bitna hitrost,
- zagotovljena stalna prenosna kapaciteta,
- čimmanjša zakasnitev,
- čimmanjša spremenljivost zakasnitve,
- nizek nivo napak,

ugotovimo, da prva zahteva običajno ni problematična, saj imajo skoraj vsa paketna omrežja večje prenosne kapacitete kot jih zahteva govor (tipično 5.3 do 64 kbit/s). Zaplete pa se že pri drugi zahtevi, ki ji paketna omrežja s svojim statističnim multipleksiranjem ne morejo v celoti zadostiti. Pri nekaterih paketnih omrežjih skušajo to rešiti z različnimi rezervacijskimi protokoli, ki rezervirajo prenosno kapacitete za govor na celotni prenosni poti, pri tem pa seveda izgubimo precej prednosti statističnega multipleksa. Zagotavljanje primerno nizke in čimbolj enakomerne zakasnitve je pri paketnih omrežjih velik problem. Dokler omrežje deluje pod majhno obremenitvijo načeloma ni problemov. Ti se začnejo, ko se obremenitev omrežja veča in približuje meji zasičenja. Zakasnitev se tedaj veča in postaja vse bolj neenakomerna do te mere, da postane pogovor močno moten ali celo nemogoč. Na sprejemni strani moramo spremenljivost zakasnitve uravnati z dodatno zakasnitvijo, kar nas kaj hitro privede na mejo še sprejemljive zakasnitve in s tem zaznane kakovosti govora.

V povezavi z zasičenjem omrežja je tudi izguba paketov podatkov (govora), kar lahko povzroči izpad krajših ali daljših odsekov govora tako, da sporazumevanje postane moteno ali onemogočeno.

Če strnemo zgornje ugotovitve, hitro pridemo do spoznanja, da so paketna omrežja zaradi svojih lastnosti manj primerna za prenos podatkov zahtevnih aplikacij, saj na primer ne morejo zadostiti vsem zahtevam.

3 KAKOVOST STORITVE V NAJBOLJ RAZŠIRJENIH PAKETNIH OMREŽJIH

Obravnavali bomo le paketna omrežja, ki so najbolj razširjena ali od njih v bližnji prihodnosti pričakujemo hiter razmah.

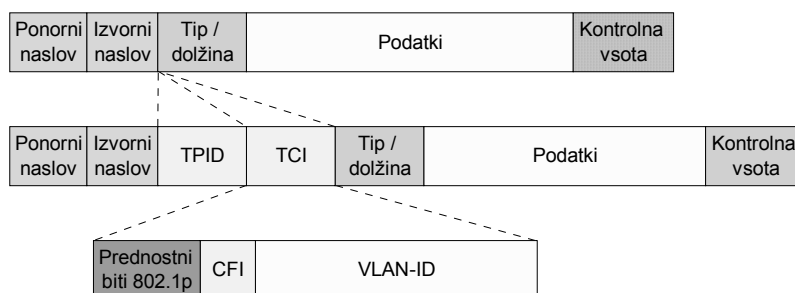
3.1 IEEE 802.3 omrežja - Ethernet

Ethernet je trenutno najbolj razširjen standard za krajevna omrežja. Za prenos podatkov uporablja metodo sodostopa z zaznavanjem prenosnega medija in detekcijo trkov ali CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Krovni standard IEEE 802.3 definira celo družino standardov, ki delujejo na različnih prenosnih medijih in z različno prenosno hitrostjo.

3.1.1 Kakovost storitev v Ethernet omrežjih

Glede na osnovne lastnosti Ethernet omrežij lahko trdimo, da le ta niso zmožna zagotavljati različnih stopenj kakovosti storitve, saj mehanizem ločevanja prometa glede na njegovo prednost in zahtevano stopnjo kakovosti storitve ni definiran. Našteto velja za osnovno izvedbo Ethernet omrežij kjer so postaje po topologiji vodila priključene na koaksialni kabel ali pa preko zvezdaste topologije v stičišče (hub). Značilno zanj je, da se vsak podatkovni okvir, ki se pojavi na omrežju, prenese vsem postajam priključenim vanj. Izboljšava takega prenosa podatkov so stikala (switch), ki delujejo na povezavni plasti protokolnega sklada in na katera so postaje priključene preko zvezdaste topologije. Tu se odposlani podatkovni okviri prenesejo samo na tista vrata stikala na katera je priključen njegov prejemnik. Z obdelavo in pregledovanjem vsebine podatkovnih okvirov pa je dana možnost njihovega razlikovanja glede na njihovo vsebino.

Preprosti mehanizmi razlikovanja prometa v stikalih so podani s standardom IEEE 802.1p, ki je del standarda IEEE 802.1q za podporo VLAN (Virtual Local Area Network). Slednji za svoje delovanje razširi osnovno glavo IEEE 802.3 okvira s štirimi okteti. Prva dva okteta razširitve TPID (Tagged Protocol Identifier) določata tip kontrolnih informacij v naslednjih dveh okteti razširitve TCI (Tagged Control Information). V primeru 802.1q protokola sta slednja sestavljena iz treh 803.1p bitov, CFI bita in dvanajstih bitov za VLAN identifikacijo.



Slika 1: Zgradba IEEE 802.1q okvira in razlaga polja TCI

Standard IEEE 802.1q definira 3-bitno polje v glavi razširjenega Ethernet okvira s katerimi lahko določimo osem različnih prednostnih razredov na povezavni plasti (MAC) protokolnega sklada. Rezervacija pasovne širine zaenkrat ni možna! Stikala v Ethernet omrežjih potem promet obravnavajo glede na njegovo prednost zapisano v omenjenem polju. Območje veljavnosti prednosti prometa določenega z IEEE 802.1p sega le do meje krajevnega omrežja in se ob prehodu usmerjevalnika (ali kakšne druge naprave na omrežnem sloju) odstrani, lahko pa se ob tej priložnosti po določenih pravilih preslika v parametre kakovosti storitve na omrežni plasti, npr. v DSCP ali TOS polje IP paketa (RFC-2815, 2000).

Čeprav je definiranih osem prednostnih razredov, standard IEEE 802.1p ne definira nikakršnih parametrov kakovosti storitve ali pravil kako naj se te razrede obravnava. To je prepuščeno proizvajalcem opreme, ki ponavadi poskrbijo za najosnovnejše mehanizme razlikovanja prometa. Velikokrat to vključuje le dve ali tri čakalne vrste, ki se strežejo strogo prednostno, kar pomeni, da se podatki iz čakalne vrste z nižjo prednostjo pošljejo šele, ko so vse čakalne vrste z višjo prednostjo prazne. Definiranih pa je sedem tipov prometa, ki jih lahko poljubno razporejamo po osmih prednostnih razredih. S prednostnimi razredi po standardu IEEE 802.1p pa zmoremo zagotavljati le relativno stopnjo kakovosti storitve. Kakovost storitve določenega razreda je ob nezmožnosti

rezervacije pasovne širine namreč relativna glede na kakovost storitve preostalih razredov. Vendar pa je ob predpostavki zadostne pasovne širine samega omrežja Ethernet to lahko ovira le v skrajno težavnih in redkih pogojih delovanja omrežja.

3.2 ATM omrežja

V osnovi je ATM paketno omrežje, ki pa za prenos podatkov uporablja pakete stalne dolžine, ki jim pravimo celice. Njihova dolžina je 53 oktetov. Stalna dolžina celic nam prinese več dobrih lastnosti, med katerima sta najpomembnejši deterministična zakasnitev in zmanjšanje potreb po obdelavi paketov (celic) v vozliščih. ATM je povezavno naravnano omrežje, ki uporabniku nudi vrsto povezavnih in nepovezavnih storitev. Ti so med seboj povezani preko navideznih povezav, ki so vzpostavljene stalno ali pa se vzpostavijo na zahtevo. Navidezne povezave med končnimi uporabniki so zaporedno povezani navidezni kanali ali VC (Virtual Channel), ki jih lahko združujemo v navidezne poti ali VP (Virtual Path) ter tako dobimo dvonivojsko hierarhijo povezav.

ATM plast, ki v protokolnem skladu predstavlja omrežno plast, višjim plastem nudi naslednje razrede storitev:

➤ CBR	Constant Bit Rate	Stalna in nespremenljiva bitna hitrost
➤ VBR	Variable Bit Rate	Spremenljiva bitna hitrost
➤ ABR	Available Bit Rate	Razpoložljiva bitna hitrost
➤ UBR	Unspecified Bit Rate	Nedoločena bitna hitrost

CBR (Constant Bit Rate) posnema fizični prenosni kanal, ki nam zagotavlja stalno in nespremenljivo kapaciteto. Ta razred je primeren predvsem za prenos govora in gibljive slike, ki zahtevata prenosni kanal s prav takimi lastnostmi. **VBR** (Variable Bit Rate) razred je razdeljen v dva podrazreda: za prenos v realnem času in prenos izven realnega časa. Prvi je primeren za prenos podatkov s spremenljivo bitno hitrostjo, ki pa zahtevajo prenos v realnem času (MPEG video, govor z izločenimi območji tišine); drugi pa za prenos podatkov, ki niso preveč občutljivi na zakasnitve (prenos datotek in drugo). **ABR** (Available Bit Rate) je razred storitve, ki uporabniku ponuja toliko pasovne širine, kot jo ostane po razdelitvi CBR in VBR storitvam. Razpoložljiva pasovna širina se s časom spreminja in omrežje to informacijo posreduje izvoru, ki ustrezno prilagaja pretok svojih podatkov. ABR razred je primeren za aplikacije, ki podatke prenašajo v izbruhih; kot je na primer brskanje po Internetu. **UBR** (Unspecified Bit Rate) uporabniku ne daje nobenih zagotovil in ga tudi ne obvešča o stanju omrežja. Uporabnik pošilja podatke na lastno odgovornost in ta jih po svojih najboljših močeh poskuša dostaviti naslovniku.

3.2.1 Kakovost storitev v ATM omrežjih

Trenutno je ATM edino paketno omrežje, ki lahko brez težav zagotovi različne stopnje kakovosti storitve. Razlog tiči v dejstvu, da je bilo to omrežje zaradi ideje o zlivanju podatkovnih in govornih omrežij že od vsega začetka načrtovano za prenos raznovrstnih podatkov, ki zahtevajo raznovrstne prenosne storitev. ATM omrežje tako zlahka zadosti popolnoma različnim potrebam sprotnega prenosa govora ali prenosa velike količine podatkov v ozadju.

3.3 IP omrežja

IP omrežja za prenos podatkov uporabljajo Internetni protokol (IP), ki je najpogosteje uporabljan omrežni protokol za prenos podatkov znotraj posameznih omrežij in med omrežji, ki temeljijo na različnih prenosnih tehnologijah. Njegova uspešnost temelji predvsem na njegovi robustnosti in preprostosti. IP omrežja so nezanesljiva, nepovezavno orientirana paketna omrežja, ki prenašajo podatke po najboljših zmožnostih.

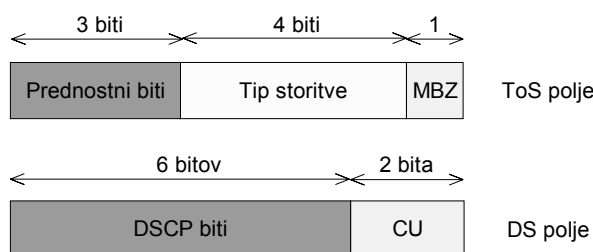
Nezanesljivost pomeni, da se paketi na poti lahko izgubijo, imajo nepredvidljivo zakasnitev, se lahko podvojijo, so dostavljeni v napačnem vrstnem redu ali na cilj pridejo okvarjeni.

Nepovezavnost pomeni, da se pred prenosom podatkov ne vzpostavi nikakršne povezave med končnima točkama. Podatki se preprosto predajo omrežju, ki poskrbi za njihovo dostavo na cilj. To pomeni tudi, da se vsak paket na omrežju obravnava neodvisno od drugih in po njem tako tudi potuje.

Prenos po najboljših zmožnosti ni nujno nekaj slabega, čeprav se v smislu zagotavljanja različnih stopenj kakovosti storitve redno znajde na dnu lestvice. Omrežje paketov ne bo zavrglo samovoljno, brez pravega vzroka, ampak se bo to najverjetneje zgodilo zaradi zasičenosti omrežja ali izpada povezave. Če so razmere v omrežju dobre in to deluje z nizko obremenitvijo, potem bo tudi prenos po najboljših zmožnostih zadoščal večini prenosnih zahtev.

3.3.1 Kakovost storitev v IP omrežjih

Trenutno IP omrežja ob vsakem času na vsakem mestu vsem aplikacijam ponujajo enake pogoje. To pomeni, da ne razlikujejo med podatki različnih aplikacij. Taka demokratičnost ne škodi in lepo deluje v nizko obremenjenih omrežjih, ko vsaka aplikacija uspe dobiti svoj delež omrežnih virov. Težave se začnejo z višanjem obremenjenosti omrežja, ko se razmere (zopet demokratično) slabšajo za vse aplikacije enako. Aplikacije z večjimi zahtevami kmalu naletijo na razmere, ki niso več zadovoljive in močno poslabšajo ali celo onemogočijo njihovo delovanje.



Slika 2: Zgradba polj ToS in DSCP

To pa ne pomeni, da IP omrežja že v osnovi niso zmožna nuditi različnih stopenj kakovosti storitve. V glavi IP paketa je namreč polje v velikosti enega okteta, ki je rezervirano prav v ta namen in je bilo določeno že ob sami definiciji IP protokola (RFC 791, 1981) ter podrobneje definirano kasneje (RFC 1349, 1992). Imenuje se ToS in je prikazano na sliki 2. Vključuje 3 prednostne bite, 4 bite za tip storitve ter en neuporabljen bit (MBZ), ki ima vedno vrednost nič. S tremi prednostnimi biti je mogoče določiti do 8 različnih prednostnih razredov, ki lahko ustrezajo do 8 različnim stopnjam kakovosti storitve. Poleg tega lahko s 4 biti za tip storitve opišemo do 16 različnih storitev omrežja. Zaenkrat pa je definiranih le pet tipov storitev. Čeprav vmesne kombinacije bitov niso določene, to ne pomeni, da so prepovedane, le njihova uporaba ni standardizirana. Podrobnejšo razlago lahko najdete v (RFC-1349, 1992). Zgradbo polja ToS je prikazana na sliki 2.

Za potrebe Diferenciranih storitev je bilo kasneje določeno DS polje (RFC 2474, 1998), ki v glavih paketov IPv4 in IPv6 nadomesti polje ToS. Zgradbo DS polja je prikazana na sliki 2 in je razdeljeno na dva dela. Prvih 6 bitov predstavlja oznako diferencirane storitve ali DSCP in tako dopušča do 64 različnih storitvenih razredov (stopenj kakovosti storitve), zadnja dva bita (CU) pa sta trenutno neuporabljeni in namenjena morebitni kasnejši uporabi. Pri prehodu paketov iz dela omrežja, ki za zagotavljanje različnih stopenj kakovosti storitve uporablja polje ToS, v del omrežja, ki za to uporablja polje DS, mora le to zagotoviti čimbolj ustrezno preslikavo med vrednostmi prednostnih bitov ToS polja in DSCP vrednostmi DS polja ter obratno. Preslikava iz ToS v DSCP vrednost poteka problemov, saj porabimo zgolj eno osmino možnih vrednosti DSCP polja. V obratni smeri pa gre težje saj moramo 64 vrednosti DSCP polja preslikati v le 8 vrednosti ToS polja. Pri tem moramo združevati po 8 soležnih stopenj kakovosti storitve določenih z DSCP vrednostjo.

3.4 MPLS omrežja

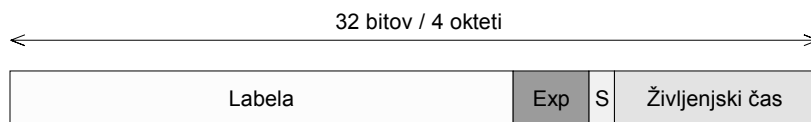
MPLS definira način komutacije, ki je neodvisen od protokolov omrežnega in povezavnega sloja protokolnega sklada in ki z vpeljavo label vnese povezavno orientiran prenos podatkov v nepovezavna (IP) omrežja. MPLS je, bolj kot protokol ali tehnologija, koncept prenosa podatkov. Medsebojno loči posredovalne funkcije od usmerjevalnih. S tem ohrani razširljivost in prilagodljivost usmerjanja na omrežni plasti ter zmogljivosti prenosa in upravljanja prometa na povezavni plasti. Prenos podatkov v MPLS omrežju se vrši na osnovi pretokov. Vsakemu paketu, ki vstopi v omrežje se dodeli labela, ki pripada določenemu posredovalnemu razredu. Posredovalni razred ali FEC (Forwarding Equivalency Class) je niz paketov, ki bodo posredovani na enak način, potovali bodo po isti poti in bodo v omrežnih napravah obravnavani enako.

Vsakemu paketu na robu MPLS omrežja se med glavo povezavnega in omrežnega sloja doda 32 bitno labelo na osnovi podatkov v glavi paketa. Znotraj omrežja se potem ti paketi posredujejo le na osnovi te labela, ki se zamenja v vsakem vozlišču. Tako ni potreben vpogled v glavo paketov v vsakem vozlišču na njegovi poti. Prenos podatkov postane hitrejši saj s tem odpade "dolgotrajno" procesiranje in usmerjanje paketa v vsakem vozlišču. Poleg naštetih, so prednosti MPLS omrežij še:

- podpora kakovosti storitve,
- možnosti prometnega inženiringa,
- možnost upravljanja s pasovno širino,
- podpora VPN (Virtual Private Network).

3.4.1 Kakovost storitev v MPLS omrežjih

MPLS pristop ima kar nekaj prednosti in dobrih lastnosti, med njimi je tudi podpora kakovosti storitev, ki nas še posebej zanima. MPLS labela je sestavljena iz več polj med katerimi je tudi polje z oznako EXP, ki je sicer eksperimentalno polje, uporabi pa se lahko za podporo kakovosti storitve (glej sliko 3).



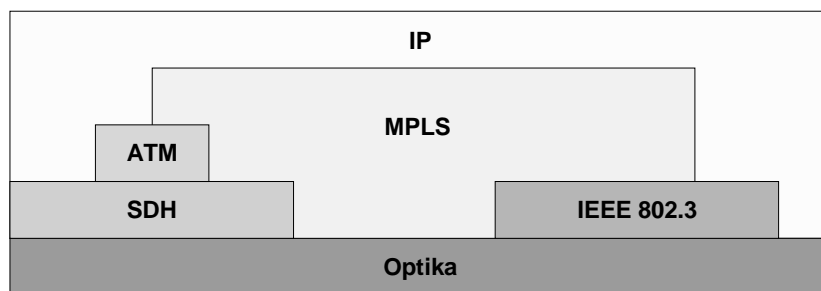
Slika 3: Zgradba glave MPLS okvira

Sicer pa MPLS podpira zelo podobne stopnje kakovosti storitve kot IP omrežja. Poleg tega omogoča tudi rezervacijo virov povezavnih plasti. Ker s svojimi tremi eksperimentalnimi biti lahko podpira le 8 različnih stopenj kakovosti storitve, se za večje drobljenje kakovosti storitve lahko porabi tudi določeno število bitov labela, kar pa vnese dodatno kompleksnost v omrežje in nevarnost nezdržljivosti določenih stopenj kakovosti storitve med omrežji različnih operaterjev.

4. KAKOVOST STORITVE MED KONČNIMA TOČKAMA KOMUNIKACIJE

Doslej smo spoznali možnosti nudenja različnih stopenj kakovosti storitve znotraj posameznih paketnih omrežij. Navedene stopnje kakovosti storitve veljajo le, če celotna prenosna pot med končnima točkama komunikacije poteka znotraj istega omrežja. To je velikokrat res, v splošnem pa komunikacija poteka preko več omrežij, ki za prenos podatkov uporabljajo različne tehnologije in protokole ter imajo zato načeloma tudi različne stopnje kakovosti storitve.

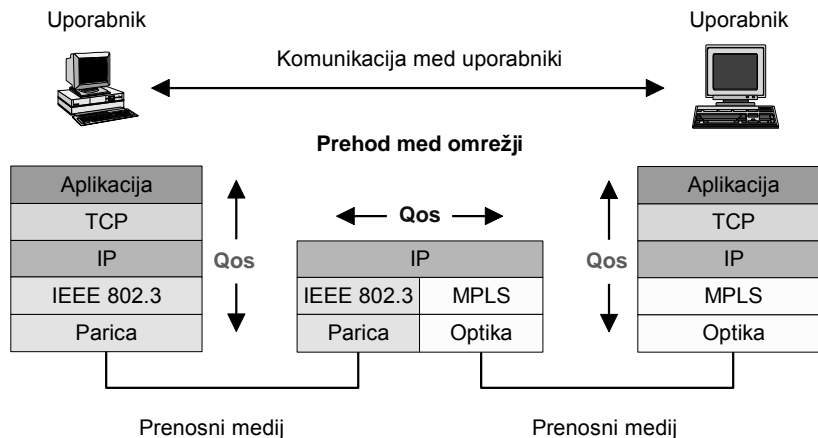
Poudariti moramo, da je za zagotavljanje določene stopnje kakovosti storitve na celotni prenosni poti potrebno zagotoviti sodelovanje prav vseh elementov na njej. To med drugim vključuje ustrezno programsko opremo v končnih napravah, ki prepozna zahtevo po kakovosti storitve in jo ustrezno preda protokolnemu skladu ter protokole, prenosne tehnologije in omrežne naprave, ki omogočajo označevanje, ločevanje in prenos podatkov z različnimi stopnjami kakovosti storitve.



Slika 4: Sklad prenosnih tehnologij

Na sliki 4, vidimo, da obstaja cela množica različnih kombinacij protokolov in tehnologij s pomočjo katerih prenašamo podatke. Na primer, uporabimo lahko omrežni protokol IP in njegove pakete prenašamo preko IEEE 802.3 omrežja. Te iste datagrame lahko prenašamo tudi preko MPLS omrežja katerega okvire prenašamo s pomočjo SDH omrežja in optike. Naslednja dokaj razširjena kombinacija je IP/ATM/SDH/optika. Kombinacij je še veliko več, kot jih je moč videti iz slike 4, saj vanjo niso vključeni vsi omrežni protokoli in prenosne tehnologije, ki so danes v uporabi.

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 tej prenosni poti parametre kakovosti storitve obravnavati in izpolnjevati na enak način. Če je nabor protokolov in tehnologij enak na celotni prenosni poti, potem se morajo parametri kakovosti storitve pravilno preslikati samo med protokolnimi plastmi, če pa je prenosna pot sestavljena iz več omrežij z različnimi prenosnimi tehnologijami, pa se morajo parametri kakovosti storitve pravilno preslikati tudi med temi omrežji.



Slika 5: Preslikava parametrov kakovosti storitve pri prenosu skozi omrežje

Preslikavo parametrov kakovosti storitve na celotni prenosni poti najlaže ponazorimo s preprostim primerom na sliki 5. Komunikacija med dvema uporabnikoma (končnima točkama) poteka po prenosni poti, ki na omrežni plasti uporablja IP protokol, 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 ToS ali DSCP polja v glavi IP paketa. To polje se ob predaji paketa IEEE 802.3 plasti preslika v ustrezno kombinacijo 802.1p bitov. Po prenosu IP paketa do roba IEEE 802.3 omrežja se mora vrednost iz ToS ali DSCP polja IP glave preslikati v ustrezno kombinacijo bitov eksperimentalnega polja MPLS okvira. Uporabniška aplikacija na drugi strani mora upoštevati vrednost ToS ali DSCP polja IP paketa in ustrezno ukrepati. Poudarimo naj, da je to zelo poenostavljen primer s katerim smo želeli predstaviti princip preslikave želene stopnje kakovosti storitve skozi protokolne sklade in različna prenosna omrežja na celotni

prenosni poti. V resnici so te preslikave precej bolj zapletene in na žalost niso enoumne. Različne prenosne tehnologije namreč uporabljajo različno število stopenj kakovosti storitve in tudi te največkrat med seboj niso primerljive. Na primer, če želimo preslikati kakovost storitve določeno z eno izmed 64 možnih vrednosti DSCP polja IP paketa, v eksperimentalno polje MPLS okvira z 8 možnimi vrednostmi, moramo skleniti kompromis in združevati stopnje kakovosti storitve določene v DSCP polju.

5. ZAKLJUČEK

Nudenje kakovosti storitve v paketnih omrežjih bo kmalu postala nuja, saj brez tega ne bo mogoče uspešno podpreti nekaterih aplikacij, ki jih bodo zahtevali uporabniki. Iz prispevka je razvidno, da nekatere možnosti že obstajajo, veliko bo pa potrebno še narediti. Predvsem na primernih preslikavah parametrov in zagotavljanju kakovosti storitve na celotni prenosni poti. To bo še posebno velik izziv za javna omrežja, kjer se bodo morali operaterji, ki imajo različne pristope in tehnologijo omrežij, med seboj dogovoriti in sprejeti nekatera osnovna pravila. Zasebna omrežja so v tem pogledu precej na boljšem saj imajo navadno enega lastnika in isto tehnološko osnovo. Zaradi težavnosti je to še toliko večji inženirski izziv.

Literatura

- ITU G.114 (1996): *One-way transmission time*, International Telecommunication Union, Geneva
- ITU G.131 (1996): *Control of talker echo*, International Telecommunication Union, Geneva
- ITU E.430 (1992): *Telephone Network and ISDN - Quality of Service, Network Management and Traffic Engineering*, International Telecommunication Union, Geneva
- ITU E.800 (1995): *Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability*, International Telecommunication Union, Geneva
- ITU X.902 (1995): *Information technology - Open distributed processing - Reference Model*, International Telecommunication Union, Geneva
- RFC 791 (1981): *Internet Protocol*, IETF
- RFC 1349 (1992): *Type of Service in the Internet Protocol Suite*, IETF
- RFC 1932 (1996): *IP over ATM: A Framework Document*, IETF
- RFC 1946 (1996): *Native ATM Support for ST2+*, IETF
- RFC 2474 (1998): *Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers*, IETF
- RFC 2815 (2000): *Integrated Service Mappings on IEEE 802 Networks*, IETF
- RFC 3031 (2001): *Multiprotocol Label Switching Architecture*, IETF
- Kos, Anton (1998): *Prenos govora preko podatkovnih omrežij*, magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Elektrotehniko
- Rege, Kiran et al (2002): *QoS Management in Trunk-and-Branch Switched Ethernet Networks*, IEEE Communication Magazine
- TTI Vanguard (1996): *ATM Lexicon*, <http://www.tticom.com/atmglosy/atmlex.htm#qos>
- Vogel, Andreas (1996): *Distributed Multimedia and Quality of Service: A Survey*, <http://www.dstc.edu.au/AU/staff/andreas-vogel/papers/ieee-mm.ps>

Predstavitev avtorja

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.

¹ Subjektivne mere so navadno povprečne ocene velikega števila ocenjevalcev, ki temeljijo na vnaprej dogovorjeni in pripravljene lestvici ocen

² 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 strežbe čakalne vrste in njene prednosti glede na možne druge vzporedne čakalne vrste na istem izhodu multipleksorja.