

Zagotavljanje kakovosti storitev v paketnih omrežjih

Robert Verlič, Anton Kos in Sašo Tomazič

Cisco Systems, Dunajska 156, in Fakulteta za Elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: rverlic@cisco.com, anton.kos@fe.uni-lj.si in saso.tomazic@fe.uni-lj.si

Povzetek. Pri zagotavljanju kakovosti storitev v paketnih omrežjih se srečujemo z različnimi postopki in mehanizmi. V članku so opisani postopki in mehanizmi, s katerimi je mogoče izbrani promet uvrstiti v razred, ki ima večjo prednost in tako zagotoviti boljšo obravnavo glede na preostali promet. Na ta način vplivamo na raven kakovosti storitve, ki je določena s parametri kot so: zakasnitev, spreminjanje zakasnitve, izguba paketov, zasičenje povezav in drugo. Ker se v lokalnih in prostranih omrežjih uporablja predvsem IP (*Internet Protocol*), se bomo v članku omejili samo nanj.

Ključne besede: kakovost storitve, IP, model IP s prednostjo, tip storitve, Diferencirane storitve, Integrirane storitve

Quality of Service Assurance in Packet Networks

Extended abstract. Traditional applications share bandwidth with new, more demanding applications such as dynamic web sites, IP telephony, video on demand, etc. New applications are more stringent in terms of required bandwidth, delay and jitter. To assure a high level of their service, QoS (Quality of Service) is introduced. Its aim is to improve the service to selected network traffic so that, for instance, the voice over IP networks is not delayed and the file transfer gets more bandwidth. This can be accomplished in different ways. This paper deals with methods and mechanisms that can alleviate problems with latency, packet loss, jitter, network congestion, and network availability. Since IP is widely used, only the IP traffic is referred to.

Key words: quality of service, IP, IP precedence, type of service, differentiated services, integrated services

čase in tudi dogovorjene vrednosti prenosa pogosto niso bile dosežene. Predvsem so stroški upravljanja in nadzovanja omrežja zaradi omenjenih problemov (nadgradnja programske in strojne opreme) presigli stroške, ki so nastali zaradi okvarjene opreme. Nadgradnja omrežja na hitrejšo prenosne tehnologije in prenosne poti reši problem zasičenja v omrežju, vendar je to kratkotrajna in draga rešitev. Za uvedbo novih aplikacij in storitev v omrežje so nujno potrebni postopki in mehanizmi za zagotavljanje kakovosti storitev. Cilj zagotavljanja kakovosti storitev so bolj predvidljive omrežne storitve, ki jih dosežemo z dodeljeno pasovno širino, omejeno zakasnitvijo, odpravljanjem spreminjanja zakasnitve in zmanjšanim deležem zavrženih paketov.

1 Uvod

Z razvojem računalniških aplikacij in storitev, se je v podatkovnih omrežjih promet močno povečal. Uveljavile so se interaktivne aplikacije (na primer IP telefonija), večpredstavnost, spletne strani so vedno bogatejše po vsebini in postajajo čedalje bolj dinamične, tudi prenos video signala ni več redkost. Ker podatkovna omrežja in protokoli niso bili načrtovani za prenos takšnih aplikacij, so nastajali različni problemi kot so: zasičenje v omrežju, dolgi odzivni časi, velika izguba paketov. Uporabniki aplikacij in storitev so opazili dolge odzivne

2 Paketna omrežja in kakovost storitve

V delu [1] je opisana definicija kakovosti storitve in kako jo sprejemajo uporabniki teh storitev. Seveda mora biti raven storitve vzdrževana na celotni poti komunikacije, od točke-do-točke. Raven je moč zagotoviti z ustrezno omrežno tehnologijo in omrežnimi protokoli. V razdelku bodo na kratko predstavljene zmožnosti najbolj razširjenih paketnih omrežij pri zagotavljanju ustrezne ravni kakovosti storitev.

2.1 Ethernet

Ethernet je tehnologija prenosa podatkov v krajevnih omrežjih in v svoji izvorni obliki ne omogoča

zagotavljanja različnih stopenj kakovosti storitev, saj mehanizem ločevanja paketov ni določen. V glavi okvira Ethernet namreč ni polja, v katero bi lahko zapisali vrednost, ki bi določala njegovo prednost in mu s tem dali možnost drugačne obravnave.

Preprosti mehanizmi razlikovanja prometa v stikalih so podani s standardom IEEE 802.1p, ki je del standarda IEEE 802.1q za podporo navideznim omrežjem (VLAN - Virtual Local Area Network). Slednji za svoje delovanje razširi osnovno glavo okvira IEEE 802.3 z dodatnimi štirimi okteti. Prva dva okteta (poimenovana TPID-Tagged Protocol Identifier) določata tip kontrolnih informacij v naslednjih dveh okteti (poimenovana TCI- Tagged Control Information). V primeru protokola 802.1q sta slednja sestavljena iz treh bitov (protokol 802.1p), CFI bita in dvanajstih bitov za identifikacijo navideznega omrežja. Ker se osnovni paket Ethernet podaljša s 1518 na 1522 okteto, je treba na novo izračunati kontrolno vsoto okvira.

Standard IEEE 802.1q definira 3-bitno polje v glavi razširjenega okvira Ethernet, s katerim lahko določimo osem različnih prednostnih razredov na povezavni plasti protokolnega sklada. Čeprav je definiranih osem prednostnih razredov, standard IEEE 802.1p ne definira nikakršnih parametrov kakovosti storitve ali pravil, kako naj se ti razredi obravnavajo. To je prepuščeno izdelovalcem 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 manjšo prednostjo pošljejo šele, ko so vse čakalne vrste z večjo prednostjo prazne.

2.2 Frame Relay

Frame Relay je namenjen prenosu podatkov prek prostranega omrežja. V omrežjih Frame Relay je mogoče z nastavitvijo bita DE (Discard Eligibility) nadzorovati prednost okvira. Če je vrednost nastavljena na 1, potem je okvir manj pomemben in v primeru zasičenja se najprej zavrže. Poleg nastavitve prednosti Frame Relay omogoča tudi obveščanje izvorne in ponorne točke o zasičenju omrežja: FECN (Forward Explicit Congestion Notification) in BECN (Backward Explicit Congestion Notification). Omrežja Frame Relay torej omogočajo le dve stopnji kakovosti storitve.

2.3 ATM

Trenutno je ATM edino paketno omrežje, ki lahko brez težav zagotovi različne stopnje kakovosti storitve, saj je bilo že od začetka načrtovano za prenos podatkov raznovrstnih aplikacij. Omrežje

ATM tako zlahka hkrati zadosti popolnoma različnim potrebam prenosa v realnem času ali prenosa velike količine podatkov v ozadju. Zagotavljanje kakovosti storitev definirajo naslednje kategorije pretokov:

Stalen bitni pretok (CBR - Constant Bite Rate) posnema fizični prenosni kanal, ki nam zagotavlja stalno in nespremenljivo bitno hitrost. Izvor prometa lahko pošilja podatke z dogovorjeno hitrostjo kadarkoli in za neomejeno časovno obdobje.

Spremenljiv bitni pretok (VBR - Variable Bit Rate) izkorišča naravo nekaterih virov, da oddajajo promet v izbruih (npr. MPEG video). Zato se v času vzpostavljanja povezave dogovorijo naslednji parametri: najvišja hitrost celic - PCR (Peak Cell Rate), znosna hitrost celic - SCR (Sustainable Cell Rate), najvišja vrednost izbruha - MBS (Maximum Burst Size).

Uporaben bitni pretok (ABR - Available Bit Rate) je storitev, pri kateri omrežje izvorom zagotavlja povratno informacijo o razpoložljivi pasovni širini in stanju zasičenja omrežja, ki jo ti uporabijo za nadzor nad odpošiljanjem podatkov.

Nespecificiran bitni pretok (UBR - Unspecified Bit Rate) je storitev, ki ne zagotavlja povratne informacije. Omrežje poskuša prenesti celice ATM po svoji najboljši moči, če je zasičeno, so celice lahko zavržene.

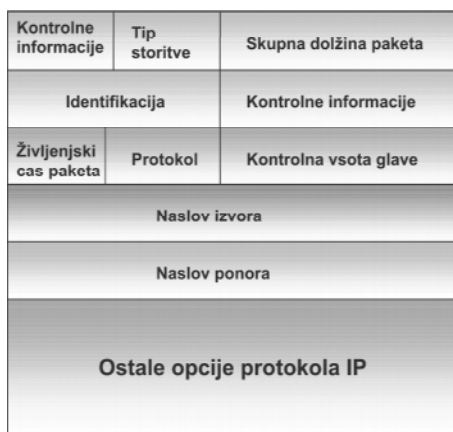
3 Modeli za zagotavljanje kakovosti storitev

Model za zagotavljanje kakovosti storitev določa strukturo znotraj katere so definirani mehanizmi za zagotavljanje kakovosti storitev od **konca-do-konca** (*end-to-end*) in izpolnjujejo **pogodbo o ustrezni ravni storitve** (*SLA - Service Level Agreement*), ki je sklenjena s ponudnikom storitve [10]. Ker večina sodobnih omrežij temelji na protokolu IP (*Internet Protocol*), se bomo v nadaljevanju omejili na modele in mehanizme zagotavljanja kakovosti storitev v omrežjih IP.

Do pred kratkim so bili modeli za zagotavljanje kakovosti storitev slabo definirani. Takšna modela sta na primer:

- model IP s prednostjo: označevanje glede na prednost (RFC 791) in
- IP ToS (*Type of Service*): označevanje glede na storitev (RFC 1349)

Na sliki 1 je predstavljena glava paketa IP. V polju **tip storitve** ToS (*Type of Service*) se določi vrednost bitov, ki predstavljajo omejeno lastnost storitve ali prednosti paketa pri potovanju skozi omrežje [3].



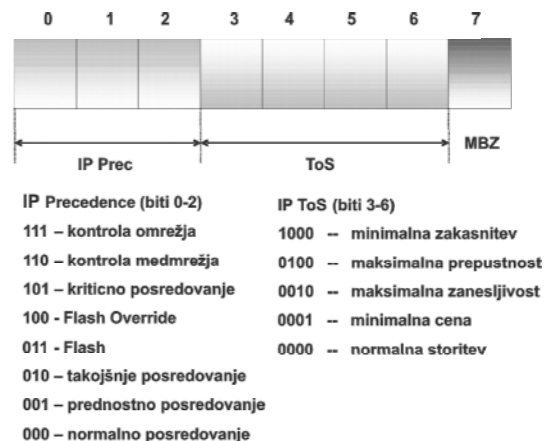
Slika 1. Glava paketa IP
Figure 1: IP packet header

Čeprav je namen polja ToS znan že od prve definicije protokola IP, se do pred kratkim ni uporabljal. S specifikacijo končnega uporabnika v omrežju Internet [4] in razvojem usmerjevalnih protokolov (OSPF - (Open Shortest Path First) in IS-IS (Intermediate System-to-Intermediate System)), ki lahko izračunajo optimalno pot glede vrednosti polja ToS, je uporaba modela IP s prednostjo in IP ToS postala smiselna. Na sliki 2 je predstavljeno polje ToS in pomen bitov v njem. Bit MBZ (Must Be Zero) se trenutno ne uporablja.

Model IP s prednostjo (IP Precedence) uporablja za nastavitve ravni kakovosti storitve prve tri bite v polju ToS. Ponudnik storitev pojmuje označene pakete kot pomembnejše (ponavadi so storitve, ki zahtevajo določeno raven kakovosti, označene z višjo številko, npr. 4 ali 5). Na sliki 2 so predstavljeni biti od 0 do 2 v polju ToS in njih pomen. Dejansko je uporaba omenjenih modelov pri zagotavljanju ravni kakovosti storitve odvisna od ponudnika storitev. Ker sta omenjena modela nedefinirana večina ponudnikov ne upošteva nastavljenih vrednosti v polju ToS. Danes se za zagotavljanje določene ravni kakovosti storitev uporabljata modela Integrirane storitve (Integrated Services) in Diferencirane storitve (Differentiated Services), ki bosta podrobneje predstavljena v naslednjih poglavjih

4 Integrirane storitve - Integrated services

Model Integriranih storitev (IntServ) temelji na predpostavki, da aplikacija zahteva od omrežja določene zmogljivosti, na primer pasovno širino, zakasnitev... Model predvideva, da morajo biti viri v omrežju kontrolirani in vnaprej dogovorjeni. Le tako je mogoče zagotoviti pričakovano raven kakovosti storitve v omrežju. Tako sta del modela tudi rezervacija virov v



Slika 2. Polje ToS v glavi paketa IP
Figure 2: ToS field in the IP packet header

omrežju (*resource reservation*) in kontrola dostopa do omrežja (*admission control*). Če je omrežje sposobno zagotoviti omenjene vire, potem je storitev mogoča (na primer prenos podatkov, video na zahtevo...); v nasprotnem primeru pa je zavrnjena. Za rezervacijo zmogljivosti in signalizacijo je lahko uporabljen protokol RSVP. Sama rezervacija zmogljivosti mora biti dosežena na celotni poti - od izvora do ponora. Če kateri izmed elementov omrežja ni zmožen zagotoviti določene zmogljivosti, je storitev zavrnjena.

Model Integriranih storitev poleg prenosa po najboljših zmožnostih določa še dva nova tipa storitve:

- **Zajamčena storitev (Guaranteed Service):** jamči, da bo paket dostavljen pravočasno in ne bo zavrnjen zaradi zasičenja v omrežju. Zajamčena storitev izračuna zakasnitev paketov v čakalnih vrstah na celotni poti, od konca-do-konca (end-to-end); tej vrsti zakasnitve pravimo tudi spremenljiva zakasnitev. Stalna zakasnitev na celotni poti je znana in nastane zaradi končne hitrosti razširjanja signala in hitrosti vlaganja bitov na linijo. Zajamčena storitev ne skuša kontrolirati ali zmanjšati spreminjanja zakasnitve (*jitter - razlika med minimalno in maksimalno zakasnitvijo paketa*), temveč kontrolira maksimalno zakasnitev pri čakanju paketov v vrstah. Zato je nujno, da vse omrežne naprave vzdolž poti jamčijo za dogovorjene parametre kakovosti storitve. Na voljo so aplikacije, ki zahtevajo takšno storitev, na primer predvajanje glasbe ali video posnetka. Omenjeni aplikaciji sta netolerantni do zakasnitve paketov, saj moramo pri preveliki zakasnitvi paket zavreči (predvajalni čas je namreč že potekel).
- **Storitev s kontrolirano obremenitvijo (Controlled-Load Service):** je mogoče primerjati s storitvijo po najboljši moči (*best ef-*

fort), ki jo prejme odjemalec v neobremenjenem omrežju. Storitve zagotavlja, da bodo omrežni viri sposobni obdelati promet, ki je v okviru sporočenih parametrov. Če sprejeti promet odstopa od parametrov, se kakovost storitve s kontrolirano obremenitvijo lahko poslabša.

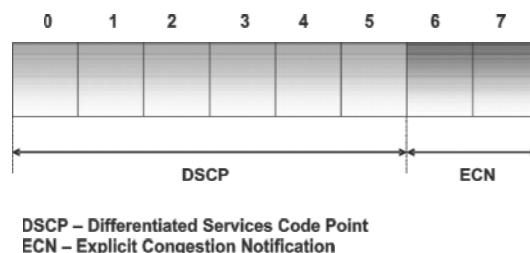
Slabosti modela Integriranih storitev so:

- Vse naprave na prenosni poti paketa morajo biti sposobne razumeti signalizacijski protokol (na primer RSVP).
- Rezervacijo zmogljivosti (na primer pasovno širino) v omrežju je treba nenehno obnavljati (takšno stanje vira imenujemo mehko stanje - soft state); pri velikem številu rezervacij je tudi režijskega prometa veliko. Lahko se zgodi, da se rezervacija določene seje izteče zaradi izgubljenega režijskega paketa.
- Ohranjanje informacije o omrežnih virih zahteva veliko procesne moči v omrežnih elementih in dodaja kompleksnost signalizacijskemu protokolu (RSVP).

5 Diferencirane storitve - Differentiated services

Zaradi omenjenih omejitev in kompleksnosti modela Integriranih storitev je nastala težnja po preprostejšem modelu, ki bi podpiral raven storitve za skupino aplikacij s podobnimi zahtevami - Differentiated Services (*DiffServ*; RFC 2474, RFC 2475, RFC 2597, RFC 3246). Takšno skupino imenujemo **vedenjska skupina** (*Aggregate Behaviour*). Model temelji na klasifikaciji prometa - različni tipi prometa se uvrstijo v ustrezne razrede z določeno kakovostjo storitve. Glava paketa IP vsebuje polje v katerega se vpiše vrednost, ki uvrsti paket v ustrezen razred (polje ToS v IPv4 ali polje Traffic class v IPv6). Na sliki 2 je prikazano polje ToS v glavi paketa IP. Namembnost tega polja je bila za potrebe modela DiffServ spremenjena in se imenuje polje DS (*DiffServ field*). Namesto treh bitov v polju ToS se uporablja šest bitov v polju DS, ki se imenujejo DSCP (*DiffServ Code Point*). Na sliki 3 je predstavljena razdelitev polja DS. S šestimi biti je mogoče določiti 64 različnih razredov (2^6). Pri modelu IP s prednostjo pa le 8 (2^3).

Pakete z isto vrednostjo DSCP imenujemo vedenjska skupina. Torej lahko paketi različnih aplikacij z različnimi izvornimi naslovi IP in različnimi transportnimi protokoli pripadajo isti vedenjski skupini. Vsak omrežni element mora skupini paketov, ki pripadajo določeni vedenjski skupini, zagotavljati ustrezno raven kakovosti storitve. Takšno obravnavanje vedenjskega skupine v vsakem vozlišču omrežja



Slika 3. Polje DSCP
Figure 3: DSCP field

imenujemo PHB (*Per Hop Behaviour*), ki se odraža v zakasnitvi zaradi čakalnih vrst, spreminjanju zakasnitve, uravnavanju prometa, pasovni širini...

Znani so različni načini PHB:

- **Privzeti način PHB** (Default PHB, [5]) Privzeti način določa, da bo paket z vrednostjo polja DSCP 000000 obravnavan po najboljši moči (best-effort) v vsakem vozlišču omrežja, ki je skladno z priporočili in arhitekturo DiffServ. Enako se obravnavajo vsi paketi, ki nimajo nastavljene vrednosti DS.
- **PHB z izbiro razreda** (Class-Selector PHBs, [5]) - V nekaterih omrežjih se kakovost storitev zagotavlja z modelom IP s prednostjo. Združljivost z omenjenim modelom IP, terja od modela DiffServ način, s katerim bo mogoče zagotoviti kakovost pri prehodu med omrežjema z različnima modeloma. Model IP s prednostjo uporablja tri bite v polju ToS, kar omogoča osem različnih razredov storitev, ki jih je treba preslikati v model DiffServ. To je omogočeno z načinom *PHB z izbiro razreda*, ki pakete z vrednostmi polja DSCP xxx000 obravnava podobno kot vozlišče z modelom IP s prednostjo. Nedefinirane vrednosti v polju DSCP ustrezajo vrednostim IP s prednostjo. Tako na primer vrednost DSCP 110000 ustreza prednostnem posredovanju (preferential forwarding treatment) v modelu IP s prednostjo z vrednostjo polja ToS 110.
- **Ekspeditivno posredovanje** (EF - Expedited Forwarding, [8]) omogoča storitve z zahtevami kot so: majhne izgube, majhne zakasnitve, majhno spreminjanje zakasnitev in zjamčeno pasovno širino (podobno kot RSVP v modelu IntServ). Izvedeno je lahko z prednostno čakalno vrsto in z omejevanjem prometa v tem razredu storitve. Priporočena vrednost polja DSCP je 101110. Ekspeditivno posredovanje je namenjeno predvsem aplikacijam, ki zahtevajo natančno določeno raven storitve (kritične aplikacije). Takšne aplikacije sta na primer prenos

govora prek IP (*VoIP - Voice over IP*), in prenos video signala.

- **Zagotovljeno posredovanje** (AF - Assured Forwarding, [7]), določa metodo, s katero se vedenjskim skupkom pripišejo različni načini posredovanja. Kot primer lahko navedemo delitev prometa v tri razrede: zlati, srebrni in bronasti razred. Zlatemu se dodeli 50 odstotkov pasovne širine, srebrnemu 30 odstotkov in bronastemu preostanek 20 odstotkov.

Zagotovljeno posredovanje v vsakem omrežnem elementu določa štiri storitvene razrede: AF1, AF2, AF3 in AF4. Vsakemu razredu sta glede na pogodbo o ravni storitve, ki je sklenjena s ponudnikom storitve, dodeljeni velikost predpomnilnika in pasovna širina vmesnika v vozlišču. Znotraj vsakega razreda (AF x) so določene tri prednosti odmetavanja paketov (*drop precedence values*). Pri zasičenju povezave v vozlišču, ki je skladno s priporočili DiffServ, bo prednost odmetavanja naslednja:

$$dP(AFx1) \leq dP(AFx2) \leq dP(AFx3)$$

kjer $dP(AFxy)$ pomeni verjetnost odmetavanja paketov. Vrednost y v $dP(AFxy)$ pomeni prednost odmetavanja v razredu x . Uporaba prednosti odmetavanja paketov v razredu je koristna, saj se na ta način lahko kaznuje promet, ki prekorači enega izmed dogovorjenih parametrov (na primer pasovno širino). Pakete, ki pripadajo kaznovanemu prometu, se lahko ponovno označi, tokrat z višjo prednostjo odmetavanja.

Na sliki 4 so predstavljene DSCP vrednosti za vse razrede in prednosti odmetavanja paketov.

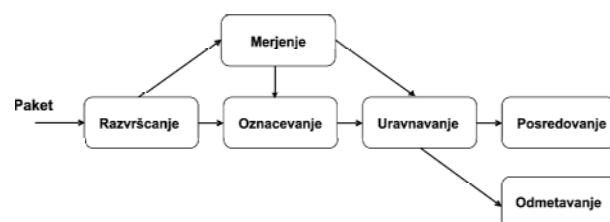
Razred \ Prednost	AFx1 Prednost z nizko izgubo paketov	AFx2 Prednost s srednjo izgubo paketov	AFx3 Prednost z visoko izgubo paketov
AFx1	001 010	001 100	001 110
AFx2	010 010	010 100	010 110
AFx3	011 010	011 100	011 110
AFx4	100 010	100 100	100 110

Slika 4. Priporočene vrednosti polja DSCP
Figure 4: Recommended DSCP field values

Obravnavanje vedenjske skupine v vsakem elementu omrežja posebej predstavlja omejitev modela DiffServ. Element omrežja ne pozna stanja drugih elementov, zato je kakovost zagotovljena le v eni točki, aplikacije pa zahtevajo določeno raven storitve na celotni poti od izvora do ponora.

6 Kakovost storitev v paketnih omrežjih

Zagotavljanje kakovosti storitev je proces, ki povezuje več mehanizmov. Te mehanizme lahko uporabi že končni uporabnik v svojem lokalnem omrežju ali pa jih ponudi ponudnik storitve ob vstopu v njegovo omrežje. Katere mehanizme bosta uporabnik in/ali ponudnik izbrala vsak v svojem omrežju, je odvisno od njiju samih. Tako lahko uporabnik izbere model IP s prednostjo, ponudnik pa DiffServ. Seveda ponudnik prilagodi model uporabnika svojemu. Način povezovanja mehanizmov je prikazan na sliki 5.



Slika 5. Mehanizmi za zagotavljanje kakovosti storitev
Figure 5: Set of mechanisms for QoS assurance

V nadaljevanju bodo opisani posamezni mehanizmi, s katerimi se zagotavlja kakovost storitev:

Razvrščanje (*Classifying*) - razdeli promet v več razredov. Temelji na vrednosti polja v glavi paketa IP (izvorni/ponorni naslov IP, številka vrat TCP/UDP, polje ToS, polje DSCP...) ali pa na bolj naprednih funkcijah, na primer prepoznavanju tipa aplikacij.

Označevanje (*Marking*) - Ko je promet razvrščen v razrede, ga je treba ustrezno označiti. Glede na izbrani model se nastavi določeno polje v glavi paketa IP. Pri modelu IP s prednostjo se nastavi ustrezna vrednost polja ToS, v primeru modela DiffServ pa polja DSCP.

Merjenje (*Metering*) - Uporabnik storitve ponavadi sklene s ponudnikom pogodbo o zagotavljanju ustreznih ravnih storitev. V tej pogodbi so zapisani prometni parametri (dovoljena pasovna širina, velikost izbruhov,...). Zato mora ponudnik meriti promet, da ne bi odstopal od pogojev v pogodbi. Pogosto se uporablja metoda vedra z žetoni (*Token Bucket*). Ko je vedro polno, je promet v okviru dogovorjenega. Če pa je vedro prazno, promet presega dogovorjene vrednosti in prenos ni mogoč.

Urnavanje (*Shapping/Dropping/Policing*) - Mehanizem urnavanja skrbi za ustrezno obravnavanje prometa, ki presega parametre, zapisane v pogodbi. Promet se lahko obravnava na veliko načinov, ki imajo različne posledice:

- Promet, ki presega parametre, se preprosto zavrže (*dropping*). Odmetavanje paketov ni

primerno za prenos datotek (na primer FTP - File Transfer Protocol), saj je treba vsak završeni segment paketa IP ponovno prenesti. Takšno ponavljanje lahko vodi v zasičenje omrežja.

- Promet, ki presega parametre, se označi kot manj pomemben in se v omrežju ponudnika storitve po potrebi (če nastopi zasičenje) zavrže.
- Promet, ki presega parametre, se začasno shrani v pomnilnik. Ko so parametri prometa zopet v okviru dogovorjenih, se shranjeni paketi prenesejo. Seveda so le-ti zakasnjeni, vendar to ne moti pri prenosu datotek, je pa moteče pri prenosu govora. V tem primeru govorimo o oblikovanju prometa (Traffic Shapping). Začasno shranjevanje ne pride v poštev pri aplikacijah v realnem času (prenos govora, video na zahtevo...).

Omenjeni mehanizmi se ponavadi izvajajo pri vhodu v ponudnikovo omrežje ali pri zasebnem omrežju podjetja na obrobju jedra omrežja. To pomeni, da v jedru omrežja ni treba analizirati celotne vsebine paketa, temveč le tisti del glave paketa IP v katerem je zapisana pripadnost razredu storitve (na primer polje DSCP ali ToS).

7 Sklep

Ustrezna kakovost storitve v omrežju je zagotovljena in ustreza pogodbi o zagotavljanju ustreznih ravni storitve takrat, ko uporabnik ne opazi omrežja med točkama komunikacije. To je ponavadi subjektivna ocena uporabnika, ki je lahko podkrepljena tudi z meritvami zakasnitev, spreminjanja zakasnitev, pasovne širine... V članku so bili opisani različni modeli in metode, s katerimi lahko ponudnik zagotavlja kakovost storitev. Uporabnika metode in modeli ne zanimajo, pred seboj ima pogodbo o zagotavljanju ravni storitve, ki jo je sklenil s ponudnikom in pričakuje, da jo bo ponudnik spoštoval ne glede na količino prometa oziroma števila drugih uporabnikov omrežja. Glede na možnosti, ki jih ponuja model DiffServ, je v večini omrežij uporabljen prav omenjeni model. Model IntServ se zaradi zapletenosti ne uporablja. Je pa struktura in uporaba signalizacije med omrežnimi elementi slednjega bolj sprejemljiva in omogoča celovitejše zagotavljanje kakovosti storitev v omrežju, saj je treba zmogljivost omrežnih virov najprej rezervirati.

8 Literatura

- [1] Anton Kos, Robert Verlič, Sašo Tomažič: *Zagotavljanje kakovosti storitve v paketnih omrežjih*, Elek-

trotehniški vestnik, 2004, letnik 71, št. 3, str. 103-108

- [2] www.cisco.com: *Differentiated Services white paper*
- [3] P. Almquits (Editor): *Type of Service in the Internet Protocol Suite*, RFC 1349
- [4] R. Braden: *Requirements for Internet Hosts - Communication Layers*, RFC 1122
- [5] K. Nichols, S. Blake, F. Baker, D. Black: *Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers*, RFC 2474
- [6] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss: *An Architecture for Differentiated Services*, RFC 2475
- [7] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss, J. Wroclawski: *Assured Forwarding PHB Group*, RFC 2597
- [8] V. Jacobson, K. Nichols, K. Poduri: *An Expedited Forwarding PHB*, RFC 2598
- [9] B. Davie, A. Charny, J. C. R. Bennet, K. Benson, J. Y. le Boudec, W. Courtney, S. Davari, V. Firoiu, D. Stiliadis: *An Expedited Forwarding PHB (Per-Hop Behavior)*, RFC 3246
- [10] Marjan Bradeško: *Zagotavljanje kakovosti storitev v dostopovnih omrežjih*, Vitel, 2001

Mag. Robert Verlič je diplomiral in magistriral iz elektrotehnike na Fakulteti za elektrotehniko in 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. Zaposlen je v podjetju Cisco Systems. Sodeluje pri svetovanju in načrtovanju podatkovnih omrežij. Je nosilec nazivov CCIE (Cisco Certified Internetwork Expert) in CCNP (Cisco Certified Network Professional).

Anton Kos je diplomiral leta 1994, magistriral leta 1998 in doktoriral leta 2006 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 zanimajo zagotavljanje kakovosti storitev v sodobnih komunikacijskih omrežjih in možnosti prenosa podatkov v realnem času.

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 (www.lkn.fe.uni-lj.si) in predstojnik Katedre za telekomunikacije. Bil je nacionalni koordinator za področje telekomunikacij na tedanjem MZT in član strateškega sveta na MORS. Njegovo sedanje delo zajema raziskave na področju obdelave signalov, varnosti v telekomunikacijah, elektronskega poslovanja in porazdeljenih podatkovnih sistemov. Je vodja raziskovalnega programa *Algoritmi in optimizacijski postopki v telekomunikacijah*. Predava predmete Osnove telekomunikacij, Digitalne komunikacije, Komunikacijska vezja, Gradniki TK sistemov, Digitalna obdelava signalov, Adaptivna obdelava signalov in Mobilne komunikacije.