

Servis sa sigurnim prosleđivanjem u arhitekturi diferenciranih servisa u Internetu

Ljubica Pavlica

(mentori: prof. dr Vladanka Aćimović-Raspopović, doc. dr Mirjana Stojanović)

Sadržaj — U ovom radu su opisani mehanizmi servisa sa sigurnim prosleđivanjem u arhitekturi diferenciranih servisa u Internetu. Zatim su metodom simulacije, pomoću mrežnog simulatora NS2, analizirane i upoređivane performanse mehanizama za opsluživanje paketa i upravljanje redovima za različita opterećenja mreže u slučaju implementacije tri klase servisa.

Gljučne reči — Diferencirani servisi, Internet protokol, opsluživanje paketa, simulacija, upravljanje redovima

I. UVOD

ARHITEKTURA diferenciranih servisa (*Differentiated Services*, DiffServ) je danas praktično usvojena kao osnov za implementaciju kvaliteta servisa (*Quality of Service*, QoS) u telekomunikacionim mrežama zasnovanim na tehnologiji Internet protokola (IP). DiffServ se zasniva na pristupu po klasi saobraćaja, što znači da paketi koji imaju slične zahteve za QoS mogu da budu grupisani u jedan agregatni tok (klasu) saobraćaja i procesirani na isti način u čvorovima mreže, iako pripadaju različitim pojedinačnim tokovima saobraćaja [1]. Okvirni rad za DiffServ arhitekturu standardizovan je krajem devedesetih godina, IETF RFC dokumentom 2475. Koncept DiffServ podrazumeva podelu mreže na domene diferenciranih servisa (DS domeni), čiji čvorovi koriste zajednička pravila za upotrebu resursa mreže i način obrade paketa u zavisnosti od klase IP saobraćaja. Granični čvorovi obavljaju klasifikaciju ulaznog saobraćaja na osnovu vrednosti nekoliko polja iz zaglavlja IP paketa, tako da se pojedinačni tokovi uklope u konačan i ograničen skup klasa saobraćaja. Svaki IP paket markira se uz pomoć određenih bita u zaglavlju (*Differentiated Services Code Point*, DSCP), čime se definiše način obrade paketa u svakom čvoru DS domena (*Per-Hop Behavior*, PHB). Ruteri jezgra obavljaju klasifikaciju paketa samo na osnovu vrednosti polja DSCP.

PHB određuje prioritet obrade, najveće kašnjenje zbog obrade u čvoru, dodeljeni propusni opseg i verovatnoću odbacivanja paketa. Arhitektura DiffServ definiše tri tipa PHB: (1) PHB sa ubrzanim prosleđivanjem (*Expedited Forwarding* PHB, EF PHB), koji garantuje vršni protok i koristi se da obezbedi apsolutne garancije QoS u smislu propusnog opsega, kašnjenja i džitera; (2) PHB sa

sigurnim prosleđivanjem (*Assured Forwarding* PHB, AF PHB [2]), koji pruža relativne garancije QoS, zasnovane na statističkim preduslovima i (3) *default* PHB odnosno servis najboljeg pokušaja, bez garancija QoS.

Koncept DiffServ, karakteristike EF i AF PHB servisa, kao i mogućnosti nadgradnje DiffServ za potrebe obezbeđivanja QoS od jednog do drugog krajnjeg korisnika analizirani su u literaturi [1], [3], [4]. Cilj ovog rada je da se metodom simulacije ispituju karakteristike AF PHB, definisanog u [2], u uslovima velikog saobraćajnog opterećenja mreže. Simulacijom su analizirani mehanizmi za upravljanje redovima i opsluživanje paketa, za slučaj AF PHB sa tri klase servisa. Osnovni doprinos rada predstavlja definisanje skupa simulacionih eksperimenata, razvoj skupa programa (skriptova) za simulaciju, kao i analiza performansi koja pokazuje da se odgovarajućim konfigurisanjem navedenih mehanizama može postići zadovoljavajuća diferencijacija performansi za različite klase servisa u uslovima zagušenja mreže.

II. SERVIS SA SIGURNIM PROSLEĐIVANJEM

AF PHB treba da obezbedi sigurno prosleđivanje IP paketa tako što DS domen pruža garanciju korisniku da će IP paketi biti ispravno isporučeni sa najvećom verovatnoćom, sve dok ulazni saobraćaj ne premaši ugovoreni profil. U graničnim ruterima DiffServ mreže se testira saglasnost ulaznog saobraćaja sa ugovorenim profilom, i svakom paketu se dodeli prioritet odbacivanja u zavisnosti da li je saobraćaj u ili van definisanog profila. Ovaj tip servisa, u nekim slučajevima, dozvoljava prekoračenje ugovorenog profila, pri čemu se ima u vidu da će prekomerni saobraćaj (saobraćaj van profila) biti prosleđen, ali sa potencijalno većom verovatnoćom odbacivanja paketa u uslovima zagušenja mreže.

Preporučena klasifikacija saobraćaja unutar AF PHB obuhvata četiri klase saobraćaja i tri prioriteta odbacivanja saobraćaja unutar svake klase, u uslovima opasnosti od zagušenja mreže. Tri moguće vrednosti prioriteta odbacivanja su: LDP (*Low Drop Precedence*), MDP (*Medium Drop Precedence*), HDP (*High Drop Precedence*). U uslovima zagušenja, prioritet odbacivanja paketa određuje relativnu važnost tog paketa u okviru AF klase. Čvor u kome je došlo do zagušenja pokušava da zaštiti pakete koji imaju niži prioritet odbacivanja, tako što će odbaciti pakete sa višim prioritetom odbacivanja.

A. Opsluživanje paketa

Opsluživanje paketa (vremensko raspoređivanje paketa – *scheduling*) je mehanizam zadužen za multipleksiranje paketa iz više tokova ili klasa saobraćaja po zajedničkom izlaznom linku i za kontrolu čekanja paketa u izlaznom redu rutera, pre prosleđivanja sledećem elementu mreže.

Opsluživanje na osnovu prioriteta – *PRI (Priority)* je disciplina koja opslužuje pakete na osnovu statički određenih prioriteta pri čemu se podrazumeva postojanje zasebnog reda čekanja za svaki nivo prioriteta. Nivoi prioriteta su fiksni i unapred definisani. Prvo se opslužuju paketi iz reda najvišeg prioriteta do god u njemu ima paketa, a zatim se vrši opsluživanje paketa iz redova nižih prioriteta.. Svaki red opslužuje se po *FCFS (First Come First Served)* principu. Postoji mogućnost da saobraćaj višeg prioriteta iscrpi propusni opseg linka za saobraćaj nižeg prioriteta što se može izbeći ograničavanjem maksimalnog propusnog opsega kojim jedan red raspolaže.

Ciklično opsluživanje sa težinskim faktorima – *WRR (Weighted Round Robin)* je disciplina u kojoj se paketi različitih klasa pridružuju zasebnim redovima čekanja, kojima se unapred dodeljuju fiksni težinski faktori. Opsluživanje redova obavlja se ciklično, pri čemu je učestanost selektovanja paketa iz određenog reda, u jednoj rotaciji, određena njegovim težinskim faktorom.

B. Upravljanje redovima

Upravljanje redovima je mehanizam odlučivanja da li će paketi koje treba proslediti sledećem elementu mreže biti smešteni u odgovarajući izlazni red i sačekati opsluživanje ili će biti odbačeni, da bi se izbeglo zagušenje mreže u uslovima velikog saobraćajnog opterećenja.

Mehanizam za dinamičko upravljanje redovima u IP mrežama čije varijante će biti analizirane u radu je *RED (Random Early Detection)*, koji se zasniva na probabilističkom odbacivanju paketa ako se proceni da postoji opasnost od zagušenja. Postoje različite varijante bazičnog algoritma *RED* prilagođene za primenu u arhitekturi *DiffServ*, kao što su *WRED (Weighted RED)*, *RIO (RED In or Out)* i dr.

Mehanizam *RIO-C (RIO - Coupled)* je varijanta *RED* mehanizma namenski projektovana za *AF PHB*. *RIO* mehanizam diskriminiše saobraćaj za koji je utvrđeno da je van profila, tako što će koristiti jedan skup *RED* parametara (sa većim pragovima i manjom maksimalnom verovatnoćom odbacivanja paketa) za saobraćaj u profilu, a drugi (sa manjim pragovima i većom verovatnoćom odbacivanja paketa) za saobraćaj van profila.

III. SIMULACIJA I REZULTATI

A. Simulator NS2 i pridruženi alati

NS2 je multi-protokolski simulator koji implementira različite aplikacione protokole, transportne protokole, *unicast* i *multicast* protokole rutiranja, protokole za simulaciju lokalnih računarskih mreža, protokole za mobilne mreže, protokole za satelitsku komunikaciju [5]. *NS2* sadrži bogat skup generatora saobraćaja i ima mogućnost rada sa uzorcima realnog saobraćaja. U

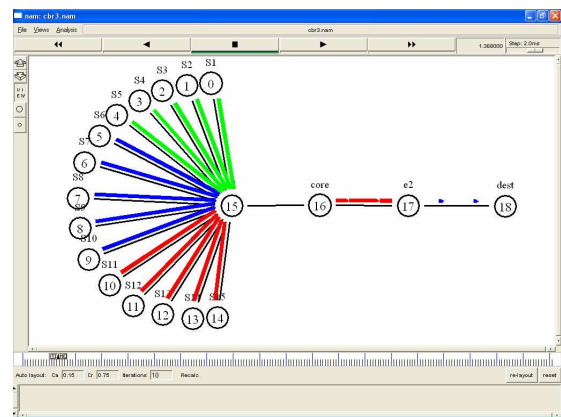
simulatoru su implementirani mehanizmi *QoS*, kao što su *DiffServ*, algoritmi za opsluživanje paketa i upravljanje redovima, i dr. Moduo *DiffServ* u simulatoru *NS2* podržava četiri klase saobraćaja od kojih svaka klasa ima tri prioriteta odbacivanja paketa (*LDP, MDP, HDP*). Unutar jedne klase saobraćaja paketi se smeštaju u isti fizički red koji sadrži tri virtuelna reda (svaki za po jedan prioritet odbacivanja).

U analizi je korišćen alat spregnut sa simulatorom *NAM (Network Animator)* koji omogućava vizuelno praćenje procesa simulacije, a analiza rezultata i generisanje grafičkih prikaza na bazi *trace* fajla izvršeni su uz pomoć alata *Tracegraph* i *Gnuplot*.

B. Parametri simulacije

Da bi se ispitao rad mehanizama unutar *DiffServ* arhitekture korišćena su dva simulaciona eksperimenta [6].

Topologija simulirane mreže prikazana na sl. 1 i dalje navedeni parametri su isti u oba eksperimenta.



Sl. 1. Simulacioni model – topologija mreže (*NAM*)

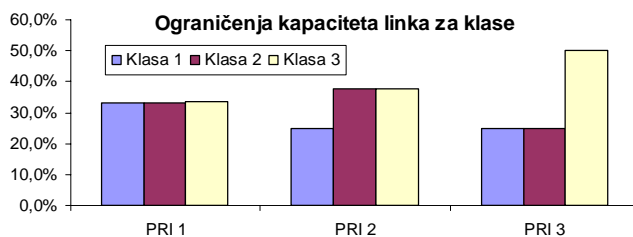
Mreža se sastoji od izvorišnih čvorova (s_1, s_2, \dots, s_{15}), određeni čvor ($dest$), graničnih čvorova (ulazni- e_1 i izlazni- e_2) i čvorova u jezgru mreže ($core$). Linkovi između izvorišnih čvorova i e_1 su dvosmerni, kapaciteta 1 Mbps, sa kašnjenjem od 1 ms. Linkovi između graničnih čvorova (e_1 i e_2) i čvorova jezgra ($core$) su jednosmerni i posebno se definišu za svaki smer zbog razlike u konfigurisanju graničnih rutera i rutera jezgra. Link između e_2 i $dest$ je dvosmeran. Kašnjenje koje ostali linkovi unose je 5 ms. Veličina paketa je 1000 bajtova. Pretpostavljeno je tri *AF PHB* klase sa različitim nivoima prioriteta odbacivanja. Izvori saobraćaja su deterministički *CBR (Constant Bit Rate)*. *CBR* izvorima su pridruženi agenti transportnog protokola *UDP (User Datagram Protocol)*, povezani na odgovarajuće izvorišne čvorove. Odredište saobraćaja je $dest$ čvor kome su pridruženi *null* agenti. Izabrani tip kondicionera je *SRTCM*. Parametri mreže koji su različiti biće navedeni u svakom eksperimentu posebno.

C. Analiza mehanizama za opsluživanje paketa

Simulacijom su analizirana dva mehanizma za opsluživanje paketa *PRI* i *WRR*, koji su implementirani u čvoru $core$. Kapacitet linkova e_1-core u oba smera je 5 Mb/s, $core-e_2$ u oba smera je 2 Mb/s i e_2-dest je 5 Mb/s.

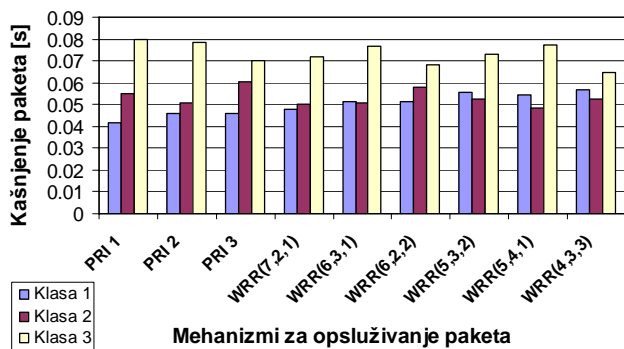
CBR izvori emituju saobraćaj brzinama od 0,1 Mb/s. Vrednosti parametara pridruženih SRTCM su sledeće: CIR =1 Mb/s, CBS =1500 bajtova, EBS =3000 bajtova. Svi čvorovi koriste mehanizam RIO-C za upravljanje redovima koji je postavljen po *default*-u. Trajanje simulacije je 20 s.

Tokom simulacije su varirani: (1) u okviru mehanizma PRI, ograničenja kapaciteta linka za klasu 1, 2 i 3, kao što je prikazano na sl. 2 i (2) u okviru mehanizma WRR, težinski faktori za klasu 1, 2 i 3. Ispitane su varijante WRR(7,2,1), WRR(6,3,1), WRR(6,2,2), WRR(5,3,2), WRR(5,4,1) i WRR(4,4,3).



Sl. 2. Mehanizam PRI

Na sl. 3 prikazano je prosečno kašnjenje paketa kada se primenjuju različiti mehanizmi za opsluživanja paketa. Za klasu 1 najbolji rezultati prosečnog kašnjenja postižu se primenom mehanizma PRI koji u sve tri varijante ima manje prosečno kašnjenje od mehanizama WRR. Za klasu 2 dobri rezultati se postižu i jednim i drugim mehanizmom, kod PRI mehanizma većim ograničenjem kapaciteta linka za klasu 1, a kod WRR većim težinskim faktorom. Klasa 3 ima bolji tretman kod mehanizma WRR.



Sl. 3. Prosečno kašnjenje paketa u čvoru jezgra

Mehanizam PRI je pogodniji kada treba obezbediti visok nivo performansi za klasu 1 i 2, a klasi 3 obezbediti neophodne resurse, dok se mehanizmom WRR mogu postići bolje performanse za klase nižeg prioriteta. U suštini, mehanizmi PRI i WRR imaju zadovoljavajući raspon podešavanja tako da mogu da obezbede različit tretman klasama u zavisnosti od specificiranih zahteva.

D. Analiza mehanizma RIO-C

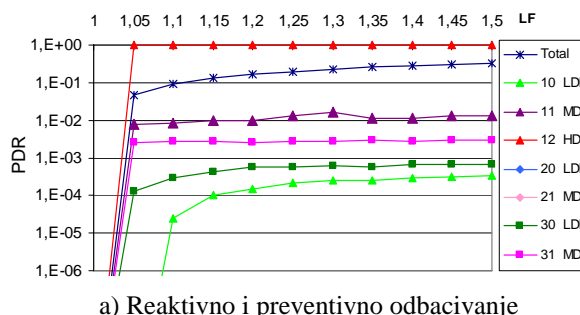
U eksperimentu se posmatra čvor jezgra (*core*) i link *core-e₂* na kome se simulira zagušenje da bi se ispitao rad mehanizma RIO-C i performanse DiffServ mehanizma za tri klase servisa. Kapacitet linka *e_{2-dest}* je 20 Mb/s, *e_{1-core}*

u oba smera je 10 Mb/s i *core-e₂* u oba smera je 3 Mb/s. Vrednosti parametara pridruženih SRTCM su sledeće: CIR=0,2 Mb/s CBS=1000 bajtova, EBS=3000 bajtova. Za mehanizam upravljanja redovima izabran je RIO-C, čije su vrednosti parametara prikazane u tabeli 1, a mehanizam PRI za opsluživanje paketa. Trajanje simulacije je 1000 s. Simulirana su dva slučaja: (1) Saobraćaj u klasi 1 je veći od ugovorenog saobraćaja. (2) Saobraćaj u klasi 2 je veći od ugovorenog saobraćaja.

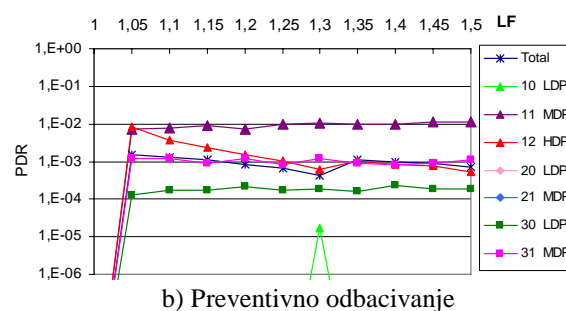
TABELA 1. KONFIGURISANJE RIO-C REDOVA

Prioritet odbacivanja	Parametri RIO-C		
	Tmin	Tmax	P
Nizak LDP	20	40	0.02
Srednji MDP	10	20	0.10
Visok HDP	5	10	0.20

LF (*Load Factor*) predstavlja količnik maksimalnog ulaznog opterećenja i kapaciteta linka i varira od 1 do 1,5. PDR (*Packet Discard Ratio*) predstavlja količnik broja odbačenih paketa za određeni prioritet odbacivanja (LDP, MDP i HDP) i ukupnog broja generisanih paketa za taj prioritet odbacivanja. Odbacivanje paketa može biti: (1) reaktivno (*ldrop – link drop*), koje se dešava u uslovima zagušenja odnosno usled većeg ulaznog saobraćaja u odnosu na propusni opseg linka; (2) preventivno (*edrop – early drop*), koje se vrši u cilju izbegavanja zagušenja usled aktiviranja RIO-C mehanizma.



a) Reaktivno i preventivno odbacivanje



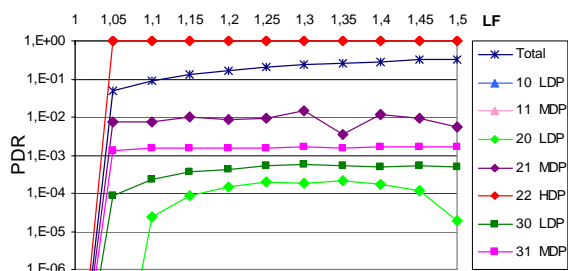
b) Preventivno odbacivanje

Sl. 4. Stepen odbačenih paketa – opterećena klasa 1

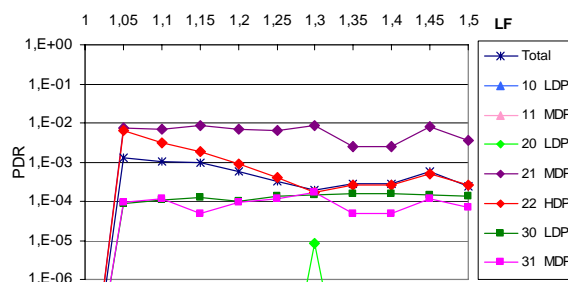
Na sl. 4 prikazan je stepen odbačenih LDP, MDP i HDP paketa u slučaju preventivnog i reaktivnog odbacivanja paketa za sve tri klase servisa, kada se opterećuje klasa 1, a na sl. 5 kada se opterećuje klasa 2.

Uporednom analizom stepena gubitaka paketa u odnosu na prioritet odbacivanja LDP, MDP i HDP, koji su preventivno odbačeni dejstvom RIO-C mehanizma, u prvom i drugom slučaju, došlo se do sledećih zaključaka. Za relativno malo zagušenje u mreži (LF=1,05) odmah se

aktivira RIO-C mehanizam, najviše se odbacuju paketi sa HDP prioriteto odbacivanja. Kako zagušenje u mreži raste, smanjuje se preventivno odbacivanje HDP paketa, što je posledica porasta njihovog reaktivnog odbacivanja, jer ruter uvek reaktivno odbacuje, prvo pakete najvećeg prioriteta HDP, pa pakete drugih prioriteta MDP i LDP.



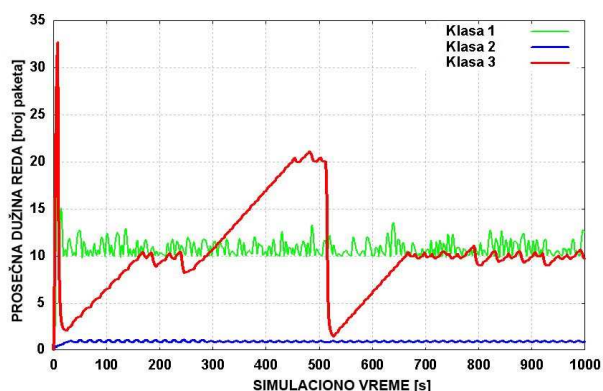
a) Reaktivno i preventivno odbacivanje



b) Preventivno odbacivanje

Sl. 5. Stepen odbačenih paketa – opterećena klasa 2

MDP paketi imaju relativno ujednačen i stepen preventivnog odbacivanja i stepen reaktivnog odbacivanja paketa za sve klase, u oba analizirana slučaja. LDP paketi imaju najmanji stepen, kako preventivnog tako i reaktivnog odbacivanja paketa. Sa preventivnim odbacivanjem ovih paketa se počinje u klasama manjeg prioriteta, dok se reaktivno odbacuju tek u uslovima velikog zagušenja, kad ruter nema drugog izbora.



Sl. 6. Prosečna dužina reda- opterećena klasa 1

Na sl. 6 prikazane je promena prosečne dužine redova za sve klase saobraćaja za LF=1,05 u slučaju kada se opterećuje klasa 1. Prosečna dužina reda za klasu 2 je mala i stabilna, jer ona ne trpi gubitke i na nju zagušenje u mreži nema nikakav uticaj. Prosečna dužina reda klase 1 je veća, pri čemu nema značajnih varijacija u dužini reda zbog konstantnog odbacivanja paketa usled emitovanja

prekomernog saobraćaja klase 1. Klasa 3 trpi najveće promene u prosečnoj dužini reda jer u momentima velikog opterećenja mreže ima veliki broj odbačenih paketa.

Diferencijacija performansi za klase različitog prioriteta najvažnija je za saobraćaj u profilu. U oba ispitivana slučaja, ni u klasi 1, ni u klasi 2, bez obzira na prekoračenje ugovorenog profila saobraćaja, ne dolazi do preventivnog odbacivanja saobraćaja u profilu, ali u klasi 3 dolazi, jer ona ima najmanji prioritet. Takođe u uslovima zagušenja kada ruter mora da reaguje reaktivnim odbacivanjem paketa saobraćaja u profilu, počinje se sa odbacivanjem paketa klase 3, pa tek sa porastom zagušenja počinje i odbacivanje paketa klase 1 i 2.

IV. ZAKLJUČAK

U radu je analiziran servis sa sigurnim prosleđivanjem (AF PHB) u arhitekturi DiffServ. Metodom simulacije, pomoću DiffServ modula mrežnog simulatora NS2, analizirani su mehanizmi opsluživanja paketa PRI i WRR, kao i mehanizam RIO-C za aktivno upravljanje redovima. Rezultati simulacije za tri klase AF PHB su pokazali da se pravilnim konfigurisanjem navedenih mehanizama može postići zadovoljavajuća diferencijacija performansi za različite klase servisa u uslovima zagušenja mreže.

LITERATURA

- [1] M. Stojanović, V. Aćimović-Raspopović, *Inženjering telekomunikacionog saobraćaja u multiservisnim IP mrežama*, naučna monografija, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, oktobar 2006.
- [2] J. Heinanen et al., "Assured Forwarding PHB Group", RFC 2597 (Category: Standards Track), IETF, June 1999.
- [3] P. Giacomazzi et al., "Two different approaches for providing QoS in the Internet backbone", *Computer Communications*, vol. 29, no. 18, pp. 3957-3969, November 2006.
- [4] C. Bouras, A. Sevasti, "Service Level Agreements for DiffServ-based Services Provisioning", *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 28, 2005, pp. 285-302.
- [5] "Network Simulator NS2 and Network Animator NAM". [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam>
- [6] Lj. Pavlica, *Servis sa sigurnim prosleđivanjem u arhitekturi diferenciranih servisa u Internetu*, diplomski rad, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, decembar 2006.

ABSTRACT

This paper analyses Assured Forwarding Per Hop Behavior in the Internet Differentiated Services architecture. The case of three service classes has been considered under network congestion. Performances of packet scheduling and active queue management have been investigated using computer simulation with Network Simulator ver. 2.

ASSURED FORWARDING PHB IN THE INTERNET DIFFERENTIATED SERVICES ARCHITECTURE

Ljubica Pavlica