

PRIMER UTICAJA RAZLIKE KAŠNENJA NA PERFORMANSE SAVREMENIH IMPLEMENTACIJA TCP PROTOKOLA

Stanislav Mišković, Borislav Đorđević
Institut Mihajlo Pupin, Beograd

Sadržaj – U radu je prikazan uticaj različitog kašnjenja na performanse NewReno i SACK implementacija TCP protokola. Proučeno je kako se ove tehnike ponašaju pri saradnji sa različitim mehanizmima za upravljanje baferima. Ispitane su metrike koje se odnose na razliku brzine razmene podataka, učestanost odbacivanja paketa i pravičnost raspodele mrežnih resursa. Ispitivanja su obavljena simulacijom na ns-2 simulatoru.

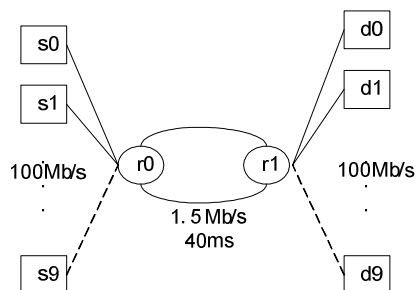
1. UVOD

Polazna tačka ovog rada je bila kreiranje što realnije platforme za ispitivanje TCP/IP protokola. Ova grupa protokola rukovodi mrežama čija se veličina kreće od svega nekoliko računara do Interneta kao najveće danas poznate mreže. Razumljivo je da se u ovakvom okruženju svi parametri ne mogu ni simulirati ni analizirati. Stoga su autori obavili ispitivanja u skladu sa važećim preporukama [1] i [2] za simulaciju u Internet okruženju.

U radu je prikazan uticaj kašnjenja na međusoban odnos NewReno [3] i SACK [4] mehanizama koji su bili zastupljeni jednakim brojem tokova. NewReno i SACK su savremene implementacije TCP protokola, koje su podržane u većini operativnih sistema [5]. U savremenim mrežama je prisutna rastuća potreba za uvođenjem kvaliteta servisa ili podizanjem opšteg nivoa servisa. Takođe je prisutna potreba za distribucijom TCP kontrole zagušenja, koja je dizajnirana da deluje samo sa kraja-na-kraj. Stoga su, pored standardnih FIFO bafera sa DropTail disciplinom opsluživanja, u simulacionu platformu ubačeni mehanizmi aktivnog upravljanja baferima (AQM). Ovi mehanizmi saraduju sa TCP protokolom i tako distribuiraju kontrolu zagušenja na usputne tačke konekcije. Ciljevi istraživanja su bili utvrđivanje ponašanja TCP implementacija pri povećanom kašnjenju u prisustvu različitih tehnika upravljanja baferima.

2. METODOLOGIJA I POSTAVKE TESTOVA

Sva ispitivanja su obavljena simulacijom na ns-2 [6] simulatoru. Upotrebljena topologija mreže je prikazana na sl.1.



Sl.1 Simulaciona topologija.

Razlike kašnjenja (ΔT_D) su konfigurisane parametrima kašnjenja na linkovima $s_i - r_0$, $i \in \{0, 1, 2, \dots, 8\}$. Izabrane

ΔT_D vrednosti odgovaraju realnim WAN mrežama i iznose 20 ms, 50 ms i 100 ms. Fizički parametri mreže određuju proizvod propusnog opsega i kašnjenja (engl. *bandwidth-delay product*), kojim je određen kapacitet mreže kao bafera paketskog saobraćaja. Pri navedenim postavkama ovaj kapacitet je u rasponu vrednosti od 120 000 bita do 420 000 bita. Kako su sve konekcije razmenjivale segmente veličine 1460 bajta, granice baferisanja mreže se kreću od 10 do 36 segmenata. Ispitivanja su obavljena u zagušenom okruženju. Konfigurisanjem kapaciteta bafera u ruterima r_0 i r_1 je učinjeno da zagušenje bude posledica nivoa multipleksiranja saobraćaja, a ne fizičkih ograničenja same mreže. U tako formiranom okruženju je jedino moguće ispitati ponašanje i prednosti posmatranih TCP implementacija. Zato su kapaciteti bafera (QL) u ruterima r_0 i r_1 postavljeni iznad granice od 36 segmenata.

U ruterima r_0 i r_1 je postavljena jedna od sledećih tehnika upravljanja baferima:

- DropTail,
- *gentle* RED, $max_p = 10\%$ [7],
- *adaptive* RED [8].

Po svom dizajnu SACK je nešto kompleksniji i robusniji mehanizam u odnosu na NewReno. Da bi se ove razlike smanjile, NewReno tokovima je dodata podrška za ECN [9]. Pokrenuto je ukupno 18 TCP konekcija i to 9 konekcija sa NewReno i 9 konekcija sa SACK implementacijom. Realističnost okruženja je poboljšana upotrebom dodatnog UDP saobraćaja. Brzina razmene podataka ovog tipa saobraćaja je postavljena na 70 kb/s.

TCP konekcije su prenosile saobraćaj FTP aplikacije sa neograničenom količinom podataka. UDP tok je prenosio saobraćaj generatora konstantne učestanosti generisanja paketa (CBR). Ovakva mešavina saobraćaja nije u potpunosti realna, ali su autori pretpostavili da je dovoljna za proučavanje posmatranih pojava.

Jedna od merenih performansi je bila razlika brzine razmene podataka (ΔG_p) SACK i NewReno+ECN konekcija iz perspektive aplikativnog sloja. Pored toga merena je i učestanost odbacivanja paketa. Prethodna ispitivanja [10] i [11] su pokazala da ove dve metrike nisu međusobno redundantne. One bi trebalo da pokažu koliko se efikasno koriste resursi mreže kada posmatrane grupe konekcija imaju različito kašnjenje. Unutar svake grupe TCP konekcija je meren indeks pravičnosti FI [12].

$$FI = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n \sum_{i=1}^n x_i} \quad (1)$$

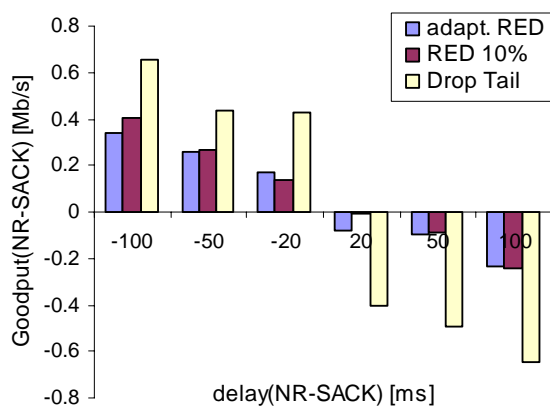
Promenljive x_i u izrazu (1) mogu označavati bilo koju veličinu brzine razmene podataka. Indeks pravičnosti pokazuje koliko ravnopravno posmatrani tokovi saobraćaja

dele propusni opseg mreže. Vrednosti indeksa su u intervalu (0, 1], a veće vrednosti ukazuju na bolju pravičnost.

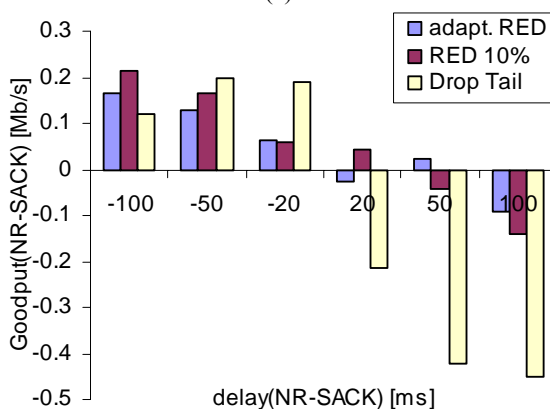
3. REZULTATI

Rezultati merenja razlike brzine razmene podataka iz perspektive aplikacije (ΔG_p) su prikazani na sl. 2. Simulacije su obavljene pri različitim parametrima razlike kašnjenja, različitim tehnikama za upravljanje baferima i različitim kapacitetima bafera.

Posmatranjem sl. 2 se uočava očekivana pravilnost, koja govori da konekcije sa većim kašnjenjem sporije razmenjuju podatke. Dobijeni rezultati ilustruju da povećanje kapaciteta bafera u ruterima povoljno utiče na sve test scenarije. Razlike u brzini prenosa nastale usled kašnjenja se smanjuju oko 2 puta. U ovom radu nije posmatran uticaj kašnjenja na aplikativni sloj OSI modela. Stoga se ne može dati konačan zaključak o poboljšanjima dobijenim povećanjem kapaciteta bafera. Takođe je primetno da pri $QL=200$ pkt postoje situacije u kojima zakašnjena grupa NewReno+ECN konekcija razmenjuje podatke većom brzinom.



(a)



(b)

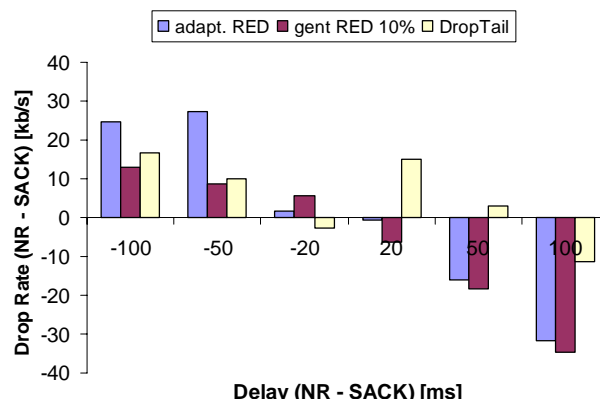
sl. 2 Razlika brzine razmene podataka (ΔG_p) grupe NewReno+ECN i grupe SACK konekcija. Kapaciteti bafera rutera r0 i r1 su (a) $QL=48$ pkt i (b) $QL=200$ pkt.

Rezultati simulacije pokazuju da zakašnjene NewReno+ECN konekcije u svim scenarijima sa AQM tehnikama imaju bolje performanse u odnosu na zakašnjene SACK konekcije. Ovakvo ponašanje je posledica povoljnog dejstva ECN mehanizma, koji smanjuje broj preventivno odbačenih paketa i prenosi informacije o zagušenju u toku samo jednog intervala obilaska, RTT.

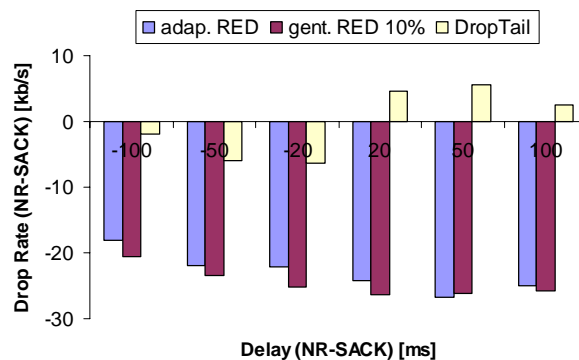
Posmatranjem uticaja tehnika upravljanja baferima se može zaključiti da *gentle* RED ($max_p=10\%$) i *adaptive* RED u većini scenarija imaju slično ponašanje. Najveće oscilacije u ΔG_p metrici su uočene pri upravljanju DropTail disciplinom. Dobijeni rezultati potvrđuju da je ova tehnika izuzetno osetljiva na fizičke parametre i stanje mreže.

Pri $QL=200$ pkt i DropTail upravljano je dobijena asimetrija brzine razmene podataka u odnosu na kašnjenje. Zakašnjena grupa NewReno konekcija je oko dva puta sporije razmenjivala podatke u odnosu na scenarije u kojima su zakašnjene SACK konekcije. Ovi rezultati potvrđuju da na ovakvoj topologiji većina prednosti NewReno konekcija potiče od dejstva ECN tehnologije. To se može uočiti i poređenjem rezultata koji su dobijeni za zakašnjene NewReno konekcije pri upotrebi AQM i DropTail upravljanja.

Ispitivanja su nastavljena merenjem učestanosti odbacivanja paketa. Povećanje kapaciteta bafera u ruterima je imalo očekivan povoljan uticaj i na ovu metriku. Odbacivanje paketa pri $QL=72$ pkt se kretalo u granicama od 113kb/s do 160kb/s, a pri $QL=200$ pkt u granicama od 20kb/s do 34kb/s. Povećanje kapaciteta bafera je smanjilo učestanost odbacivanja paketa za oko pet puta.



(a)



(b)

sl. 3 Razlika učestanosti odbacivanja paketa (ΔD_r) grupe NewReno+ECN i grupe SACK konekcija. Kapaciteti bafera rutera r0 i r1 su (a) $QL=48$ pkt i (b) $QL=200$ pkt.

Na sl.3 su prikazane razlike učestanosti odbacivanja paketa (ΔD_r) grupe NewReno+ECN u odnosu na grupu SACK konekcija. Metrika ΔD_r se slično ponaša kao metrika ΔG_p pri umerenom kapacitetu bafera ($QL=48$ pkt). Ove metrike ipak nisu međusobno redundantne, što se može uočiti posmatranjem rezultata dobijenih primenom različitih tehnika upravljanja baferima. U skladu sa tim, rezultati simulacija na

sl.3(a) prikazuju da *adaptive* RED upravljanje rezultuje najvećim promenama posmatrane metrike. U slučaju brzine razmene podataka, najveće oscilacije su primećene kod DropTail mehanizma. Da bi se proučili uzroci ovakvog ponašanja, posmatrani su svi parametri RED bafera u ruterima r0 i r1. Uočeno je da *adaptive* RED agresivnije odbacuje pakete kako bi postavio parametar prosečne popunjenosti bafera na sredinu RED zone. Prosečna popunjenost bafera za *gentle* RED i DropTail tehnike je bila veća.

Stoga se može zaključiti da je prednost dejstva *adaptive* RED mehanizma zavisi od zahteva dizajna mreže. Ako se zahteva manje prosečno kašnjenje, *adaptive* RED će održavanjem manje popunjenosti bafera biti u prednosti. Ako je cilj dizajna mreže što manji prosečan broj odbačenih paketa, bolji rezultati će se verovatno dobiti primenom *gentle* RED discipline. Ovo zaključivanje ipak nije u potpunosti tačno, jer će porastom broja konekcija prosečna popunjenost *gentle* RED bafera potpuno izaći iz RED zone. To znači da će ova disciplina izgubiti prednosti aktivnog upravljanja baferima i početi da se ponaša kao DropTail mehanizam.

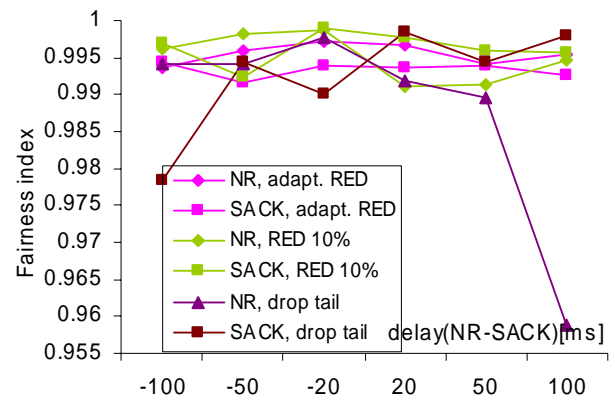
Pri povećanju kapaciteta bafera (sl.3(b)) na $QL=200$ pkt, ponašanje posmatranih grupa TCP konekcija se bitno promenilo u odnosu na ΔG_p metriku. Posmatranjem apsolutnih vrednosti odbacivanja paketa se došlo do zaključka da NewReno+ECN konekcije odbacuju od 5 do 10 puta manje paketa pri upotrebi *adaptive* RED upravljanja. Kada je u ruterima bila konfigurisana *gentle* RED tehnika, grupa NewReno konekcija čak uopšte nije odbacivala pakete. Nastale razlike u ponašanju TCP implementacija su posledica dva mehanizma. Prvo, ECN tehnika pri dovoljnom kapacitetu bafera može da u potpunosti spreči odbacivanje paketa koje nastaje kao posledica zagušenja ili preventivnog delovanja AQM mehanizma. Drugi uzrok razlika jeste specifično delovanje *adaptive* RED mehanizma, koji u ovom slučaju potpuno nepotrebno odbacuje pakete NewReno+ECN konekcija. Posmatranjem dešavanja unutar bafera, ponovo je ustanovljeno da je *adaptive* RED postavio prosečnu popunjenost bafera na sredinu RED zone.

Obavljena merenja su dala dovoljno konzistentnih rezultata na osnovu kojih bi se u ovom trenutku mogao napraviti zaključak u vezi dejstva tehnika za upravljanje baferima. Iz perspektive iskorišćenosti resursa mreže, AQM tehnike su uvek u prednosti u odnosu na uobičajeni Drop Tail mehanizam. Posmatrane TCP tehnike prenose podatke sličnom brzinom u prisustvu *adaptive* RED i *gentle* RED ($max_p=10\%$) disciplina. Razlike nastaju u odnosu na ΔD_r metriku. Pri većem kapacitetu bafera $QL=200$ pkt, *gentle* RED tehnika je odbacivala manje podataka i usled toga je u ukupnom smislu bolja tehnika. Ako je nivo multipleksiranja tokova u mreži veliki ili ako mreža ne poseduje bafere dovoljnog kapaciteta, *adaptive* RED tehnika će fokusiranjem prosečne popunjenosti bafera obezbediti ravnopravnije uslove.

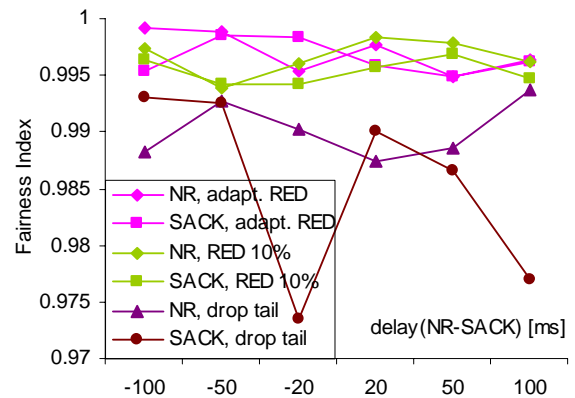
Završna merenja ovog rada su se bavila ravnopravnošću pojedinačnih tokova unutar grupe NewReno+ECN i grupe SACK. Ovo ispitivanje je pokrenuto da bi se ustanovilo da li TCP implementacije u prethodnim testovima stiču prednosti na osnovu samo nekoliko tokova unutar grupe ili sve konekcije unutar grupe ravnopravno dele raspoložive resurse mreže. Rezultati su prikazani na sl.4.

Pri kapacitetu bafera $QL=48$ pkt i upotrebi AQM mehanizama obe grupe TCP implementacija su održale visok indeks pravičnosti $FI > 0.99$. Stoga bi se moglo reći da u ovakvim postavkama razlika kašnjenja ne utiče bitno na pravičnost posmatranih TCP implementacija. DropTail

mehanizam je dao slične *FI* performanse kao AQM upravljanje, sve do razlika kašnjenja od 100ms. Pri velikim razlikama kašnjenja nepravična raspodela resursa se pojavila u samo u zakašnjenim grupama TCP konekcija. DropTail ne nudi mogućnost preventivnog obaveštavanja, pa pravičnost zakašnjenih konekcija zavisi od prostora u baferu rutera, odn. od trenutka u kojem će određena konekcija poslati svoje pakete. Ako nekoliko paketa zakašnjenje konekcije bude odbačeno, ona će veoma sporo oporaviti. Ostale zakašnjene konekcije će nastaviti da razmenjuju pakete uobičajenom brzinom. Ovakav scenarij opisuje razlog nastanka neravnopravne raspodele propusnog opsega u grupi zakašnjenih konekcija. Interesantno je primetiti da ove situacije ukazuju da sama implementacija TCP mehanizma ne može uvek da obezbedi pravičnost. Ova činjenica je veoma značajna za SACK, koji je dizajniran kao veoma robusna TCP implementacija.



(a)



(b)

sl. 4 Indeksi pravičnosti unutar posmatranih grupa TCP implementacija pri različitim vrednostima razlike kašnjenja. Kapaciteti bafera rutera r0 i r1 su (a) $QL=48$ pkt i (b) $QL=200$ pkt.

Pri dužini bafera $QL=200$ pkt ponašanje indeksa pravičnosti se neznatno promenilo u scenarijima sa AQM tehnikama. Vrednost indeksa je bila visoka $FI > 0.99$. Najveće promene su primećene pri upotrebi DropTail mehanizma. Primećeni efekti su neočekivani, jer bi dovoljni kapaciteti bafera trebalo obezbede bolju pravičnost i manje razlike između primena AQM i DropTail disciplina. Izmerene DropTail performanse pri kapacitetu bafera $QL=200$ pkt su lošije nego u scenarijima sa $QL=48$ pkt. NewReno grupa konekcija je posedovala veći indeks pravičnosti u odnosu na SACK konekcije. SACK tokovi su bili neravnopravni u neočekivanim konfiguracijama kašnjenja. Najmanja vrednost

razlike kašnjenja od 20 ms je dovela do najnižeg indeksa pravičnosti. Ipak, najlošiji rezultat je dobijen kada su SACK konekcije imale 100 ms manje kašnjenje i vrednost indeksa $FI=0.976$. U tom scenariju bi SACK konekcije trebalo da brzim razmenama informacija o zagušenju obezbede bolji indeks pravičnosti u odnosu na zakašnjenu grupu NewReno konekcija. Svi dobijeni rezultati još jednom potvrđuju da savremene TCP implementacije ne mogu ispoljiti sve prednosti ako baferima upravlja DropTail. I ova grupa merenja je dokazala da je DropTail upravljanje izuzetno osetljivo na stanje mreže, čak i kada su fizički parametri mreže više nego dovoljni.

4. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane simulacije koje su poredile performanse dve savremene TCP implementacije u uslovima različitih kašnjenja. Merene su performanse koje se odnose na brzinu razmene podataka, učestanost odbacivanja paketa i pravičnu raspodelu resursa mreže. Dobijeni rezultati pokazuju da NewReno i SACK implementacije TCP protokola u velikom broju scenarija imaju slične performanse. Dokazano je da veliki uticaj na ponašanje TCP protokola imaju tehnike upravljanja baferima. DropTail upravljanje je u nekoliko test scenarija pokazalo nepredvidivo ponašanje koje je izuzetno osetljivo na stanje mreže.

Razlika kašnjenja je uglavnom proizvela očekivano ponašanje. Grupa konekcija sa manjim kašnjenjem je postizala bržu razmenu podataka. Ipak uočeno je da delovanje AQM i ECN mehanizama može da dovede do suprotnih rezultata, odn. da izjednači ili da prednost konekcijama sa većim kašnjenjem. Ovakvi rezultati su se pojavljivali do razlike kašnjenja od 50ms.

Učestanost odbacivanja paketa se slično ponašala kao brzina razmene podataka pri umerenom kapacitetu bafera $QL=48$ pkt. Potpuno drugačiji rezultati su dobijeni pri $QL=200$ pkt, kada je upotreba ECN tehnologije učinila da NewReno konekcije bitno smanje odbacivanje paketa bez obzira na konfigurisano kašnjenje.

U pogledu pravičnosti NewReno i SACK se slično ponašaju kada saraduju sa AQM tehnikama. Razlike performansi nastaju pri upotrebi DropTail mehanizma i posledica su osetljivosti ovog mehanizma na stanje u mreži.

LITERATURA

- [1] M. Allman, A. Falk, "On the effective evaluation of TCP," *ACM Computer Communication Review*, October 1999.
- [2] S. Floyd, V. Paxson, "Difficulties in simulating the Internet," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 9, no. 4, August 2001.

- [3] S. Floyd, T. Henderson, "The NewReno Modification to TCP's Fast Recovery Algorithm," RFC 2582, April 1999.
- [4] S. Floyd, J. Mahdavi, M. Mathis, M. Podolsky, "An Extension to the Selective Acknowledgement (SACK) Option for TCP", RFC 2883, June 2000.
- [5] Enabling High Performance Data Transfers. [Online]. Dostupno na: http://www.psc.edu/networking/perf_tune.html
- [6] Network simulator – ns-2. [Online]. Dostupno na: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [7] S. Floyd. (2000, March). Recommendation on using the "gentle" variant of RED. [Online]. Dostupno na: <http://www.icir.org/floyd/red/gentle.html>
- [8] S. Floyd, R. Gummadi, S. Shenker. (2001, August). Adaptive RED: An Algorithm for Increasing the Robustness of RED's Active Queue Management. [Online]. Dostupno na: www.icir.org/floyd/papers/adaptiveRed.pdf
- [9] K. Ramakrishnan, S. Floyd, S. Black, "The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP," RFC 3168, September 2001.
- [10] S. Mišković, G. Petrović, Lj. Trajković, "Interakcija konvencionalnih IP mreža i mreža koje implementiraju ARQ mehanizme", TELFOR, 2004, Beograd, nov. 2004.
- [11] S. Mišković, G. Petrović, Lj. Trajković, "Analiza iskorišćenja SACK i NewReno mehanizama kontrole zagušenja na bazi simulacije", XLVIII Konferencija ETRAN-a, Čačak, jun 2004.
- [12] R. Jain, "The Art of Computer Systems Performance Analysis", John Wiley and Sons, 1991.

Abstract – In this paper we examined the impact of latency difference on performance of NewReno and SACK implementations of TCP protocol. Cooperation of these techniques and active queue management is studied. We presented the results through goodput difference, drop rate and fairness index metrics. The research was done through simulations on ns-2 simulator.

AN EXAMPLE OF LATENCY DIFFERENCE IMPACT ON THE PERFORMANCE OF CURRENT TCP PROTOCOL IMPLEMENTATIONS

Stanislav Mišković, Borislav Đorđević