

ANALIZA ISKORIŠĆENJA TCP NewRENO i TCP SACK MEHANIZAMA KONTROLE ZAGUŠENJA NA BAZI SIMULACIJE

Stanislav Mišković, *Institut Mihajlo Pupin, Beograd,*
Grozdan Petrović, *Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd,*
Ljiljana Trajković, *School of Engineering Science, Simon Fraser University, Canada.*

Sadržaj – U radu su prikazane osnovne postavke i rezultati simulacionih eksperimenata obavljenih sa ciljem da se izvrši komparativna analiza mehanizama kontrole zagušenja u transportnom sloju mreže. Jedan od ključnih zaključaka analize je da TCP NewRENO, poboljšan sa ECN mehanizmom, daje bolje rezultate pri većem kašnjenju i umerenim verovatnoćama grešaka u odnosu na TCP SACK.

1. UVOD

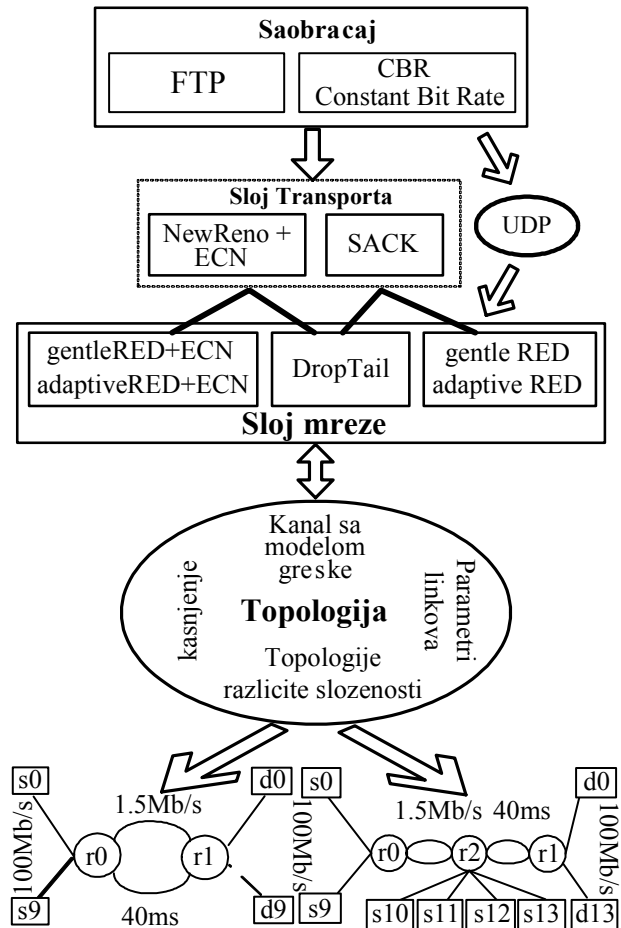
Iako postupci ispitivanja protokola, koji predstavljaju okosnicu današnjeg Interneta, nisu u potpunosti definisani [1], postoje izvesni okviri [2] koji omogućuju da se dođe do upotrebljivih rezultata. Efikasnost protokola zavisi od mnoštva činilaca, kao što su implementacija, topološka struktura mreže, interakcija sa drugim protokolima i karakteristike saobraćaja. Metode za ispitivanje se mogu podeliti na: matematičko modelovanje, simulaciju, emulaciju, merenje i eksperimente na realnim implementacijama. Bitna uloga simulacije je ispitivanje funkcionisanja protokola u relativno kompleksnim mrežnim topologijama. Pored toga, složenost mrežnog okruženja često nalaže i formiranje pravila najbolje prakse, koja ponekad proizilaze samo iz iskustva.

U ovom radu su prikazane postavke i osnovni rezultati simulacionih eksperimenata šireg istraživanja koje je imalo za cilj da prouči bitne karakteristike savremenih mehanizama kontrole zagušenja SACK [3] i NewRENO [4], kao i RED [5], [6] i [7] mehanizama aktivnog upravljanja baferima (AQM) i ECN [11] tehnologije. Konkretno, u radu je ukratko predstavljena simulaciona platforma. Zatim su date osnovne simulacione postavke. U nastavku je iz obimnijeg materijala [9] izdvojen i prikazan deo rezultata koji se odnosi na karakteristiku iskorišćenja mrežnih resursa. Na kraju su dati zaključci istraživanja i pregled relevantne literature.

2. SIMULACIONA PLATFORMA

Istraživanje je obavljeno na *ns-2* simulatoru [10], koji predstavlja široko prihvaćenu platformu za ispitivanje TCP/IP mreža. Simulator je napisan kao objektno orijentisani softver otvorenog kôda i raspodeljen je na dve jezičke platforme. Detalji koji simuliraju rad u realnom vremenu napisani su u jeziku C++. Scenariji simulacionih testova se programiraju u jeziku Otel, čime se otklanjanja potreba za prevodjenjem.

Na sl. 1 je prikazana šema simulacione platforme upotrebene u istraživanju [9]. Neki njeni delovi su iskorišćeni i u ovom radu.



Sl. 1 Šema simulacione platforme.

Konfigurisanje parametara test platforme na *ns-2* simulatoru je veoma realistično i fleksibilno, a zanemaruje samo detalje adresiranja i rutiranja. Pri ispitivanju protokola u slojevima transporta ili aplikacije potrebno je navedenim redosledom programski zadati sledeće:

- topologiju čvorova i linkova,
- propusne opsege i kašnjenja linkova,
- kapacitete bafera čvorova,
- modele grešaka na linku,
- tehniku upravljanja redovima za čekanje,
- konfiguraciju protokola na sloju transporta,
- pridruživanje protokola transporta formiranim čvorovima,
- parametre protokola sloja transporta,
- povezivanje tačaka izvora i odredišta na sloju transporta,
- uspostavu praćenja (engl. *tracing*) parametara TCP protokola na odgovarajućoj konekciji,

- konfiguraciju saobraćaja ili aplikacionih protokola,
- pridruživanje izvora saobraćaja transportnom protokolu,
- parametre saobraćaja,
- praćenje na željenim linkovima ili opšte praćenje simulacije.

Detaljniji prikaz postavki parametara konfigurisanih za potrebe ovog rada se mogu naći u [9].

3. POSTAVKE SIMULACIJE

Osnova svakog ispitivanja je izbor topologije. U ovom radu su prikazani samo rezultati dobijeni na topologiji u donjem levom uglu sl.1. Čvorovi označeni sa s_i predstavljaju izvore saobraćaja, r_i modeluju rutere, dok su d_i odredišta posmatranih tokova.

Obavljena ispitivanja bi trebalo da prikažu koliko efikasno različite discipline upravljanja baferima koriste propusni opseg "uskog grla" i da uporede svojstva SACK i NewRENO+ECN protokola. Testiranje je obavljeno u rasponu od 2 TCP + 1 UDP do 18 TCP + 1 UDP aktivnih konekcija. Broj konekcija je ravnomerno raspodeljen između posmatranih TCP implementacija. Svi tokovi su startovali ili istovremeno ili unutar intervala od 1s, a prenosili su podatke u trajanju od 150s i 380s (odn. od oko 940 do 2375 RTT (*Round Trip Time*) intervala). Kašnjenja od izvora s_i do rutera r_0 i od odredišta d_i do rutera r_1 su jednaka i iznose 1ms.

Za poređenje su korišćene sledeće metrike: *efikasnost efektivne brzine razmene podataka* (GEff) i *procenat odbacivanja paketa*. Efikasnost efektivne brzine razmene podataka je jednaka odnosu zbira svih efektivnih brzina razmene (engl. *goodput*) i propusnog opsega linka uskog grla:

$$GEff = \frac{\sum_i goodput(i)}{1.5Mb/s}$$

Optimalna vrednost ovog parametra za posmatranu simulacionu platformu je 0.9533 i označava da TCP tokovi koriste sav propusni opseg (umanjen za propusni opseg UDP toka) za razmenu novih podataka, bez retransmisije.

Procenat odbacivanja paketa (Drop [%]) – metrika je jednaka odnosu broja odbačenih paketa na linku uskog grla i ukupnog broja paketa koji se pojavljuju na tom linku.

$$Drop[\%] = \frac{\sum_i drop(i)}{\sum_i throughput(i) + drop(i)}$$

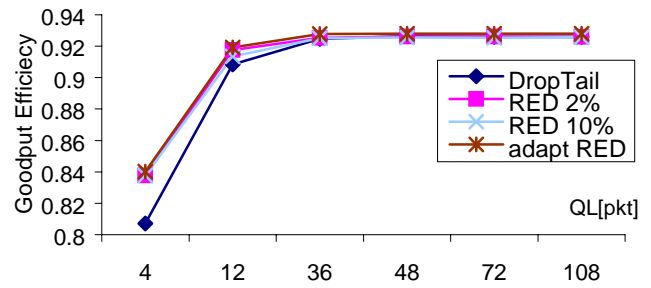
Zbog ograničenosti prostora za izlaganje veći deo rezultata će biti prikazan samo grafički.

4. REZULTATI ANALIZE

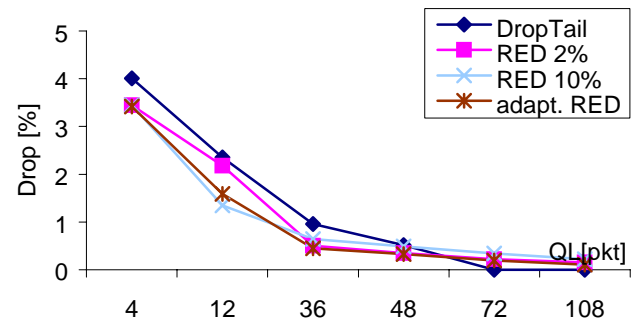
Uvodne simulacije su obavljene sa dve aktivne TCP konekcije i jednim pozadinskim UDP tokom. Menjan je kapacitet bafera, a rezultati su poslužili za poređenje efekata koji nastaju porastom broja aktivnih TCP konekcija.

Na slikama sl. 2(a) i sl. 2(b) se uočavaju dve zone karakteristične za testove sa malim i umerenim brojem aktivnih TCP konekcija. Grubo bi se moglo proceniti da je ova granica određena fizičkim potrebama konekcija, odn.

$bandwidth \times delay$ proizvodom. Ipak, testovi su pokazali da je neefikasno korišćenje propusnog opsega prisutno i iznad te granice.



(a)



(b)

Sl. 2 Zavisnost metrika (a) GEff i (b) Drop TCP konekcije u zavisnosti od kapaciteta bafera QL .

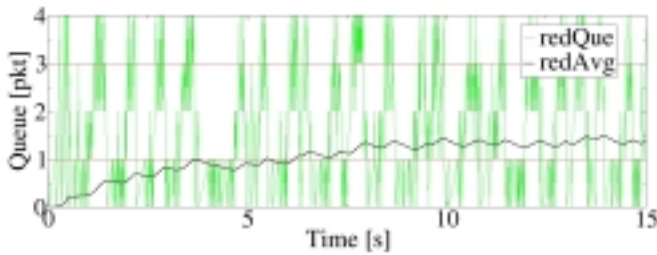
Najveće razlike između posmatranih mehanizama upravljanja baferima se uočavaju pri dužini $QL=4$ pkt, odn. ispod granice $bandwidth \times delay \approx 10$ pkt. U takvoj situaciji bafer biva brzo inicijalno popunjen, pa determinističko funkcionisanje *DropTail* discipline dovodi do istovremenog odbacivanja paketa obe TCP konekcije u grupama. Tako se učestalo aktiviraju radikalni mehanizmi za izbegavanje zagušenja SACK i NewRENO implementacija, što ima za posledicu neefikasno iskorišćenje propusnog opsega.

DropTail u ovakvim uslovima mreže stvara optimalne preduslove za formiranje globalne sinhronizacije [8]. Detaljnim praćenjem otvora prozora zagušenja ($cwnd$) u svim testovima istraživanja je zaključeno da je ovaj efekat ipak izbegnut. Stoga se sa velikom pouzdanošću može pretpostaviti da su efekti sinhronizacije prevaziđeni uvođenjem novih stanja (*fast retransmit/fast recovery*) i unapređene identifikacije gubitaka u Reno implementacijama TCP protokola.

RED mehanizmi i u ovako nepovoljnoj situaciji nešto bolje koriste propusni opseg i daju skoro potpuno jednake performanse, što bi se moglo objasniti dvojako. Iz jedne perspektive bi se moglo pretpostaviti da trenutna popunjenost RED bafera ($redQ$) osciluje brzo, velikom amplitudom i relativno pravilno. U tom slučaju bi dejstvo RED zone ($min_{th}, max_{th}=(1,3)$ [pkt]) bilo relativno kratkotrajno. Čak i tada bi paketi bili odbacivani slučajno i pojedinačno, pa bi se TCP mehanizmi mogli bolje prilagoditi uslovima linka.

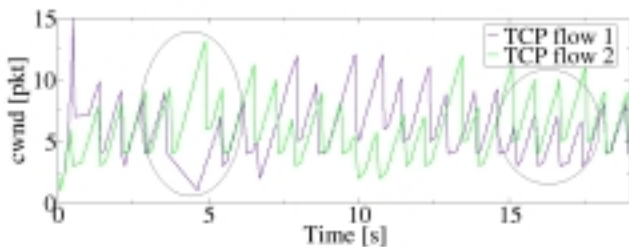
Druga mogućnost je da trenutna popunjenost RED bafera učestalo izlazi iz RED zone, što bi značilo da RED neadekvatno obaveštava TCP mehanizme o mogućem nivou zagušenja. Upravo to je potvrđeno merenjima prikazanim na

sl. 3, što znači da intervali agresivnog i konzervativnog ponašanja TCP mehanizama imaju dominantnu ulogu u izbegavanju zagušenja.



Sl. 3. Ilustracija delovanja RED mehanizma pri veoma kratkoj dužini bafera, $QL=4\text{pkt}$.

Ponašanje TCP konekcija u datom slučaju je prikazano na slici sl. 4.

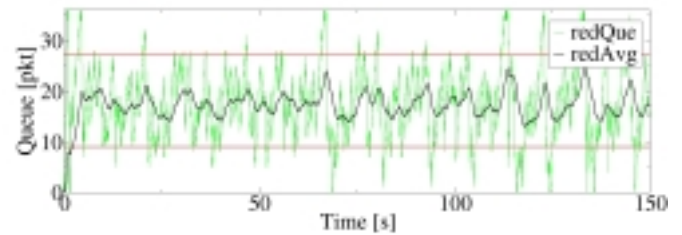


Sl. 4. Promena prozora zagušenja ($cwnd$) za RED.

Na početku, obe konekcije agresivno startuju i premašuju kapacitet bafera na linku uskog grla. Zatim, konekcije smanjuju $cwnd$, međutim ne dobijaju dovoljno novih ACK paketa da bi povećale svoje prozore u fazi *congestion avoidance*, odn. *fast recovery*. U naredne tri sekunde obe konekcije su naizgled sinhronisane u *congestion avoidance* fazama, pa bafer biva periodično prepunjen i nedovoljno iskorišćen. Zatim u intervalu (3.8s, 4.7s) konekcija sa SACK mehanizmom pokazuje bolje sposobnosti oporavka od gubitaka paketa, dok NewRENO konekcija prolazi kroz RTO interval. Bafer je nedovoljno iskorišćen, jer SACK konekcija u *congestion avoidance* fazi šalje jedan po jedan paket.

Glavni zaključak ovog dela izlaganja jeste da usamljeno dejstvo AQM mehanizma ne može bitno unaprediti performanse značajne za krajnjeg korisnika u slučaju izuzetno malih kapaciteta bafera.

Neposredno iznad granice zagušenosti uslovljene fizičkim parametrima mreže ($QL \approx 10\text{pkt}$) sve posmatrane discipline znatno bolje koriste propusni opseg uskog grla. Ipak, detaljnijim proučavanjem rezultata simulacije je ustanovljeno da AQM mehanizmi ne mogu obezbediti optimalno upravljanje baferima u zoni neposredno iznad granice $bandwidth \times delay$ proizvoda. Ilustracija ove tvrdnje je prikazana na sl.5 za *adaptive* RED pri dužini bafera $QL=36\text{pkt}$. Posmatrani AQM mehanizam u prvih 50s uglavnom uspeva da održi trenutnu popunjenost bafera ($redQ$) u RED zoni (9pkt, 27pkt). Analizom eksperimentalnih rezultata je utvrđeno da u 60s nastupa nepravedna raspodela propusnog opsega (engl. *lockout*). Praćenjem promene veličine $cwnd$ je ustanovljeno da postoje intervali u kojima obe TCP konekcije pokušavaju da šalju pakete sličnim intenzitetom i time brzo popunjavaju bafer uskog grla. U takvim situacijama *adaptive* RED nije u stanju da se adekvatno prilagodi, što se manifestuje čestim izletima $redQ$ vrednosti ispod RED zone. Ova pojava se može objasniti na sledeći način.

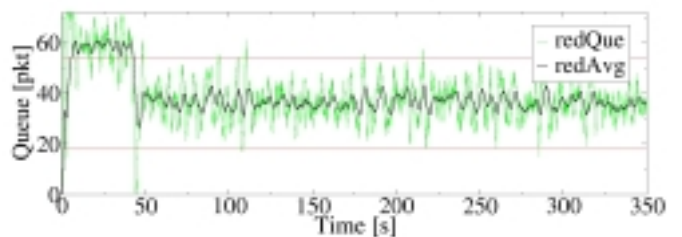


Sl. 5. Promena popunjenosti *adaptive* RED bafera za $QL = 36\text{pkt}$.

Prosečna popunjenost RED bafera ($avgQ$) je uglavnom relativno visoka (18pkt do 20pkt). Pri povećanju $redQ$ vrednosti iznad $avgQ$ granice, konstanta usrednjavanja w_q suviše precizno prati povećanje, što dovodi do naglog skoka učestanosti odbacivanja paketa. Posledica toga je ulaz TCP mehanizama u stanja *fast retransmit/fast recovery* što dovodi do nedovoljne popunjenosti RED bafera. Značajno je napomenuti da je izabrana w_q vrednost u skladu sa trenutno važećim preporukama i ažurira $avgQ$ u intervalima dužim od vremena obilaska (RTT). Nastalo podbacivanje RED zone je stoga posledica malog broja tokova, koji se u pojedinim trenucima mogu slično ponašati.

Povećanjem broja TCP konekcija je potvrđeno da konzervativan *gentle* RED mehanizam ubrzo počinje da se ponaša kao *DropTail*. Eksperimenti su pokazali da povećano multipleksiranje dovodi do povećanja ukupne $GEff$ metrike, ali i do povećanja procenta izgubljenih paketa.

Testovi sa 18 aktivnih TCP konekcija su doveli do novih zaključaka. Nivo multipleksiranja, a samim tim i povećana efektivna agresivnost pristupa linku "uskog grla" su doveli do gubljenja granice između zona prikazanih na sl.2. Svi RED mehanizmi su izgubili prednost u odnosu na *DropTail* u posmatranim metrikama. Najlošije ponašanje ovih mehanizama je primećeno pri malim dužinama bafera. U tim situacijama ni jedan RED algoritam nije uspeo da održi $avgQ$ vrednost unutar RED zone. Povećanje kapaciteta bafera je pozitivno uticalo na *adaptive* RED, koji je uspeo da postavi i $redQ$ i $avgQ$ u RED zonu na način prikazan na sl.6.



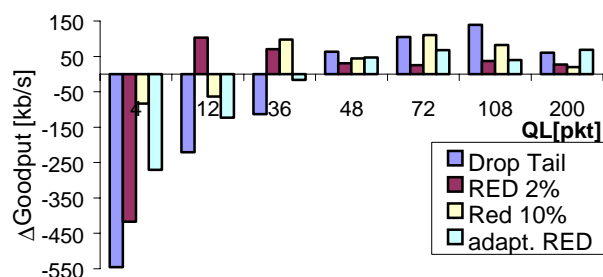
Sl. 6 Popunjenost *adaptive* RED bafera, $QL = 72\text{pkt}$.

Ponašanje prikazano na sl.6 navodi na zaključak da *adaptive* RED može da u pojedinim situacijama promeni stanje mreže tako što će uz povećanu učestanost odbacivanja paketa konvergirati u RED zonu. Ovo ponašanje nije opisano u dosadašnjim proučavanjima ove klase AQM algoritama.

Ilustrovani primeri potvrđuju da postoje okolnosti pod kojima i usavršeni RED mehanizmi ispoljavaju znatnu osetljivost na postavke parametara.

U završnom delu ovog rada će biti prikazano poređenje dve vrste naprednih TCP mehanizama u scenariju sa 18 aktivnih konekcija. Na sl.7 je prikazana razlika ukupne brzine

razmene podataka NewRENO+ECN i SACK tokova. Primetno je da je NewRENO+ECN u većini slučajeva u prednosti.



sl.7 Razlika efektivnih brzina slanja grupe NewRENO+ECN konekcija u odnosu na grupu SACK konekcije

Ovakav rezultat se mogao očekivati iz perspektive smanjenja učestanosti odbacivanja paketa pri upotrebi ECN mehanizma. Ipak, moglo se pretpostaviti i da će SACK svojom sposobnošću precizne identifikacije izgubljenih paketa biti u prednosti. Stoga su obavljene dve dodatne grupe testova.

Prva grupa je trebalo da stvori još povoljnije uslove za NewRENO+ECN time što je verovatnoća markiranja $mark_p$ povećana iznad $(0, max_p)$ zone. Time su izazvana četiri veoma bitna efekta. Konekcije koje koriste ECN su bitno poboljšale ukupnu efektivnu brzinu prenosa podataka. Zatim, za te konekcije je pravičnost raspodele mrežnih resursa unapređena u celom intervalu trajanja testa. Ova dva efekta su pozitivna i u skladu sa očekivanjima. Proširenjem zone ECN markiranja je bitno smanjen ukupan protok SACK konekcija, što se *ne može* smatrati dugoročno pozitivnim efektom. Prikazano ponašanje konekcija sa podrškom za ECN može da stvori povlašćenu klasu saobraćaja. Kako ECN još uvek nije široko rasprostranjena tehnologija, to znači da bi u vremenu njenog širenja moglo da dođe do ugrožavanja pravičnosti u odnosu na postojeće TCP mehanizme. Konačno je uočeno da poboljšanje performansi ECN konekcija koje nastaje podizanjem vrednosti $mark_p$ nije konstantno, već postoji zasićenje.

Druga grupa dodatnih testova je trebalo da pruži prednost SACK konekcijama uvođenjem generatora grešaka sa dva stanja na link uskog grla. I pored variranja parametara generatora greške u širokom opsegu, nisu primećene očekivane prednosti. Naprotiv, jedini primećen efekat je bio pogoršanje pravične raspodele resursa na svim tipovima konekcija. Ovime je konačno potvrđeno da NewRENO sa ECN podrškom ima slične, a često i bolje, performanse u poređenju sa SACK mehanizmom.

5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je deo obimnijeg istraživanja ponašanja protokola sloja transporta i AQM mehanizama. Prikazani rezultati su pratili metrike iskorišćenja mrežnih resursa i to ukupnu efikasnost efektivne brzine razmene podataka i ukupan procenat odbačenih paketa. Uslovi testiranja su bili u potpunosti ravnopravni, a test scenariji su se razlikovali u broju aktivnih konekcija, kapacitetima bafera i primenjenim mehanizmima upravljanja baferima. Osnovni zaključak je da pri razumnim kapacitetima bafera TCP mehanizmi ostvaruju zavidno iskorišćenje propusnog opsega linka uskog grla.

Za razliku od originalnih radova [5] i [6], uočeno je da se adaptivni RED mehanizam ne može uvek adaptirati na uslove saobraćaja. Ista tvrdnja važi i za *gentle* RED varijante, pa se može reći da oba RED unapređenja i dalje zavise od konfiguracije parametara. Takođe je uočeno da *adaptive* RED može izmeniti stanje mreže i postaviti $avgQ$ u RED zonu u uslovima u kojima se *gentle* RED ponaša kao *DropTail*. Konačno, pokazano je da se povećanjem broja konekcija gube prednosti AQM tehnika u odnosu na *DropTail* u smislu posmatranih metrika.

LITERATURA

- [1] V. Paxson, S. Floyd, "Why we don't know how to simulate the Internet," in *Proc. 1997 Winter Simulation Conference*, dec. 1997.
- [2] S. Floyd, V. Paxson, "Difficulties in Simulating the Internet", *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol.9, no.4, avg 2001.
- [3] S. Floyd, J. Mahdavi, M. Mathis, M. Podolsky, "An Extension to the Selective Acknowledgement (SACK) Option for TCP", RFC 2883, jul 2000.
- [4] S. Floyd, T. Henderson, "The NewReno Modification to TCP's Fast Recovery Algorithm", RFC 2582, apr. 1999.
- [5] S. Floyd, R. Gummadi, S. Shenker. (2001, avg.). Adaptive RED: An Algorithm for Increasing the Robustness of RED's Active Queue Management. [Online]. Dostupno na: <http://www.icir.org/floyd/papers/adaptiveRed.pdf>
- [6] W. Feng, D. Kandlur, D. Saha, K. Shin, "A Self-Configuring RED Gateway", *IEEE INFOCOM '99*, mart 1999.
- [7] S. Floyd. (2000, mart). Recommendation on using the "gentle_" variant of RED. [Online]. Dostupno na: <http://www.icir.org/floyd/red/gentle.html>
- [8] L. Zhang, S. Shenker, D. D. Clark, "Observations of a Congestion Control Algorithm: The Effects of Two Way Traffic", *ACM SIGCOMM '91*, sep. 1991.
- [9] S. Mišković, "Simulaciono ispitivanje performansi TCP tehnika kontrole zagušenja u sloju transporta", magistarska teza u pripremi, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, 2004.
- [10] Network simulator – ns-2. [Online]. Dostupno na: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [11] K. Ramakrishnan, S. Floyd, S. Black, "The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP", RFC 3168, sep. 2001.

Abstract – *In this paper, we presented basic setup and simulation results that compared congestion control mechanisms on transport layer. One of the most important results of our analysis is that NewRENO combined with ECN shows better performance than SACK in environments with moderate error probability and higher latency.*

UTILIZATION ANALYSIS OF TCP NewRENO and TCP SACK CONGESTION CONTROL MECHANISMS THROUGH SIMULATIONS

Stanislav Mišković, Grozdan Petrović, Ljiljana Trajković