

INTERAKCIJA KONVENCIONALNIH IP MREŽA I MREŽA KOJE IMPLEMENTIRAJU AQM MEHANIZME

Stanislav Mišković¹, Grozdan Petrović², Ljiljana Trajković³

¹ Institut Mihajlo Pupin, Beograd

² Elektrotehnički fakultet, Beograd

³ Simon Fraser University, Canada

I UVOD

Današnji Internet je zasnovan na razmeni paketa posredstvom TCP/IP skupa protokola. Vreme je pokazalo da je ovaj skup protokola dovoljno fleksibilan u odnosu na različite vrste tehnologija fizičkog sloja mreže (modemske linije, FrameRelay, satelitski i optički linkovi, WLAN, Ethernet), dok sa druge uspešno opslužuje najrazličitije zahteve aplikativnih slojeva.

Jedan od najznačajnijih problema današnjeg Interneta je zagušenje. Iako Internet pruža servis najboljeg pokušaja na sloju mreže, rešenja za problem zagušenja su zastupljena od sloja povezivanja podataka do sloja transporta. QoS (*engl.* Quality of Service) je platforma koja pokušava da reši mnoge nedostatke u današnjim mrežama. QoS koncept se može delimično uspešno primeniti u mrežama sa jedinstvenom politikom projektovanja i administracije. Značajnije širenje QoS platforme zahteva suštinsku promenu načina funkcionisanja Interneta. Zbog nemogućnosti centralizovane administracije mreže tolikih razmera, takođe bi bilo neophodno uspostaviti veliki broj ugovora (*engl.* Service Level Agreement, SLA) između posrednika Internet servisa (*engl.* Internet Service Providers, ISPs).

Pored QoS koncepta postoje rešenja koja teže da podignu opšti nivo servisa, iako bez čvrstih garancija. Ovakva rešenja se ostvaruju upravljanjem baferima i raspoređivanjem paketa u baferima. Tehnike aktivnog upravljanja baferima (*engl.* Active Queue Management, AQM) mogu da posredstvom ECN platforme (*engl.* Explicit Congestion Notification) saraduju sa TCP mehanizmima kontrole zagušenja. Ovo je veoma bitno jer se procenjuje da preko 90% Internet saobraćaja koristi TCP protokol. Još jedna bitna prednost AQM mehanizama jeste mogućnost njihove postepene i nesmetane implementacije u postojeću arhitekturu Interneta.

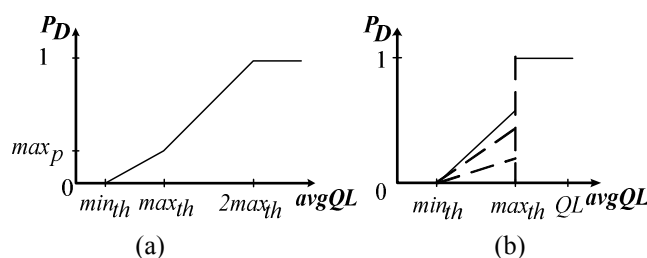
Jedan od osnovnih AQM algoritama je RED [1], koji podrazumeva preventivno odbacivanje paketa u skladu sa trenutnom vrednošću prosečne popunjenosti bafera. Postoje istraživanja [2], [3] koja su pokazala da RED mehanizam nije uvek u prednosti u odnosu na uobičajeni FIFO (*DropTail*) bafer. Takvi rezultati su usporili širenje AQM platforme u mreže posrednika Internet servisa. Od svog nastanka RED je višestruko modifikovan (*gentle* RED, *adaptive* RED, FRED, RED-PD). IETF organizacija je počela da snažno podržava

ECN, kojim se preventivno odbacivanje paketa zamenjuje markiranjem.

Cilj ovog rada je da pruži uvid u efekte koji nastaju na granici konvencionalne mreže i mreže sa AQM mehanizmom.

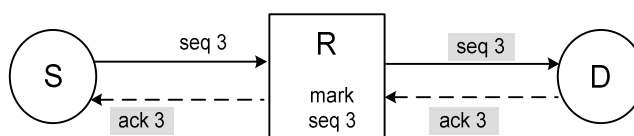
II METODOLOGIJA I POSTAVKE TESTOVA

Ispitivanja u ovom radu su obavljena simulacijom. Ispitivana su dva AQM mehanizma: *gentle* RED (sa "agresivnom" verovatnoćom preventivnog odbacivanja $\max_p=0.1$) i adaptivni RED. Opis ovih mehanizama je naveden u radovima [4] i [5], dok je na sl. 1 prikazana funkcija verovatnoće odbacivanja paketa.



sl. 1 Verovatnoća odbacivanja paketa P_D u zavisnosti od prosečne popunjenosti bafera $avg QL$: (a) *gentle* RED i (b) *adaptive* RED.

Takođe je ispitano dejstvo ECN platforme. AQM mehanizmi su podloga za ECN koji preventivno markira pakete. TCP transport koji podržava ECN na taj način dobija informaciju o nastupajućem zagušenju u toku samo jednog vremena obilaska (RTT interval) i bez gubitka paketa. Detalji implementacije ECN tehnologije su opisani u radu [6]. Na sl. 2 je prikazan jedan ECN ciklus.



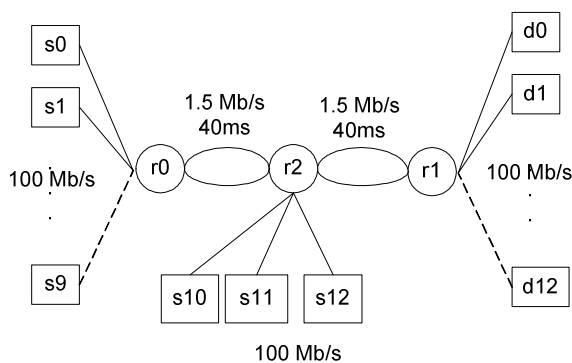
sl. 2 Ciklus ECN markiranja. Zasenčeni paketi su markirani posredstvom ECN mehanizma.

Na sloju transporta su konfigurisane dve TCP implementacije: NewReno sa ECN podrškom i SACK. Oba rešenja su podržana u većini savremenih operativnih sistema. NewReno je relativno jednostavna modifikacija

najrapsrostranjenije TCP implementacije (TCP Reno). NewReno uvodi parcijalne potvrde i time povećava otpornost osnovne implementacije na višestruke gubitke u okviru jednog prozora potvrđivanja (*cwnd*) [7]. Druga testirana TCP varijanta je SACK. SACK predstavlja znatnu nadgradnju TCP mehanizama deleći prozor potvrđivanja na segmente uzastopno primljenih paketa. Ovo rešenje bi trebalo da učini TCP izuzetno otpornim na gubitke. Cena unapređenja je povećana količina informacija u TCP zaglavljinama i dodatno vreme neophodno za oglašavanje SACK podrške u toku uspostave konekcije [8].

Obavljene simulacije su izvedene na *ns-2* simulatoru, koji se koristi u mnogim RFC dokumentima i naučnim radovima za ispitivanje ponašanja TCP protokola, AQM tehnika, višestrukog usmeravanja (engl. *multicast*), bežičnih mreža i veb keširanja. Simulator je baziran na praćenju diskretnih događaja. *Ns-2* je objektno orijentisani softver otvorenog kôda koji je izgrađen na dve jezičke platforme, C++ i OTcl.

Test konfiguracija je prikazana na sl. 3 i ima za cilj kreiranje što realnije zagušene mreže. Zato je generator saobraćaja za sve konekcije bila FTP aplikacija sa neograničenom količinom podataka.



sl. 3 Test topologija.

Između rutera *r0* i *r1* je pokrenuto 9 SACK i 9 NewReno+ECN konekcija. Realniji uslovi su ostvareni upotrebom jednog UDP toka koji generise pozadinski saobraćaj neosetljiv na mehanizme kontrole zagušenja. Između rutera *r2* i *r1* je pokrenuto 9 NewReno konekcija.

Na linkovima *r0-r2* i *r2-r1* su primenjeni mehanizmi upravljanja baferima u sledećim redosledima:

- RED – *DropTail*, (RED-DT),
- *DropTail* – RED. (DT-RED),
- *DropTail* – *DropTail*, (DT-DT).

III ISKRIŠĆENJE MREŽNIH RESURSA

U tabeli 1 su prikazani rezultati simulacija ukupne efektivne brzine razmene paketa za konekcije koje prolaze kroz jedan ili dva linka uskog grla. Efektivna brzina razmene podataka (engl. *goodput*) je definisana kao ukupna količina prenetih podataka na sloju aplikacije za vreme trajanja testa.

Total goodput [Mb/s]		QL=72 pkt		QL=300 pkt	
		Red 10%	Adapt. RED	Red 10%	Adapt RED
RED-DT	end nodes	1.367	1.361	1.158	1.158
	inter. nodes	0.039	0.043	0.222	0.222
DT-RED	end nodes	0.854	0.883	0.899	0.915
	inter. nodes	0.496	0.466	0.488	0.469
DT-DT	end nodes	1.374		1.158	
	inter. nodes	0.028		0.222	

Tabela 1 Ukupna efektivna brzina razmene podataka pri različitim redosledima tehnika upravljanja baferima.

Rezultati prikazani u tabeli 1 su saglasni sa radom [3], u kojem je pokazano da performanse mreže zavise od redosleda *DropTail* i RED linkova. Značajan rezultat naših testova je da u scenariju u kojem *DropTail* ruter upravlja većinom saobraćaja (link *r2-r1*) nastaje izuzetno nepravična raspodela mrežnih resursa. Kao što rezultati u tabeli 1 pokazuju, NewReno konekcije sa manjim RTT intervalom postižu od 2.5 do 20 puta manju efektivnu brzinu razmene podataka u odnosu na konekcije sa boljim algoritmima kontrole zagušenja i dvostruko većim RTT intervalom. Iako se ovakvo ponašanje nije moglo pretpostaviti, ono se može objasniti proučavanjem učestanosti odbacivanja paketa. Još je potrebno napomenuti da povećanje kapaciteta bafera delimično popravlja pravičnost. Kada su na linku *r2-r1* postavljeni RED mehanizmi odnos pravičnosti je izrazito bolji, bez obzira na kapacitet bafera.

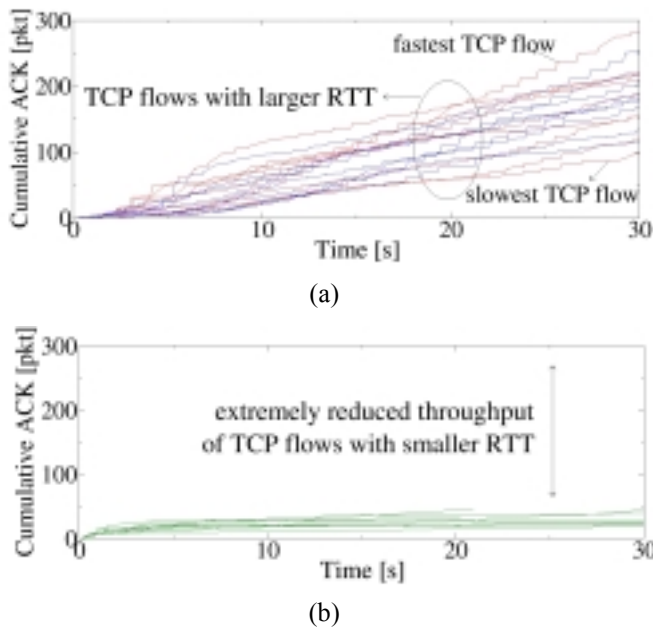
Sledeća posmatrana metrika je ukupna učestanost odbacivanja paketa. Rezultati su prikazani u tabeli 2.

Total Drop Rate [kb/s]		QL=72 pkt		QL=300 pkt	
		Red 10%	Adapt. RED	Red 10%	Adapt RED
RED-DT	end r0-r2	13.920	15.326	0.000	0.000
	end r2-r1	21.600	22.663	17.074	17.074
	inter. nodes	17.040	21.051	17.143	17.143
DT-RED	end r0-r2	0.000	0.000	0.000	0.000
	end r2-r1	104.503	98.331	16.629	26.983
	inter. nodes	64.869	62.606	18.514	23.006
DT-DT	end r0-r2	24.000		0.000	
	end r2-r1	14.263		17.074	
	inter. nodes	11.863		17.143	

Tabela 2 Ukupna učestanost odbacivanja paketa pri različitim redosledima tehnika upravljanja baferima.

Posmatranjem učestanosti odbacivanja paketa pri dužini bafera QL=72 pkt se mogu uočiti dve bitne pojave. Adaptive RED i gentle RED daju slične performanse bez obzira na redosled RED i DT tehnika. Primetno je da u DT-RED

rasporedu dolazi do većeg odacivanja koje obezbeđuje bolju pravičnost. Sa druge strane konekcije bliže odredištima (r2-r1 konekcije) ostvaruju optimalne rezultate u smislu metrike odbacivanja paketa pri DT-DT kombinaciji. Manja količina odbacjenih paketa u ovom slučaju ne rezultuje boljom brzinom razmene za tih konekcija. Naprotiv, ovakav rezultat je posledica izuzetno smanjenog protoka ovih konekcija (sl. 4).



sl. 4 Prikaz kumulativnog potvrđivanja u DT-DT rasporedu (a) NewReno+ECN i SACK konekcije sa dužim RTT intervalom (b) NewReno konekcije sa kraćim RTT intervalom.

Slika sl. 4 ilustruje da konekcije sa dužim RTT vremenom (NewReno+ECN i SACK) počinju razmenu sporije. Sa druge strane, NewReno konekcije startuju agresivnije zahvaljujući manjem RTT intervalu. Nakon nekoliko sekundi ove konekcije prepunjuju bafer na linku r2-r1 i nastupa odbacivanje paketa u grupama. Time agresivne konekcije bivaju trajno usporene. U tom intervalu, konekcije sa većim kašnjenjem trajno preuzimaju veći deo propusnog opsega linka uskog grla, zahvaljujući manjoj agresivnosti pristupa baferu, brojnosti konekcija i naprednim TCP mehanizmima. Sličan tok događaja je primećen i pri RED-DT scenarijima, što potvrđuje da je primena *DropTail* mehanizma na linku r2-r1 glavni uzrok neravnopravnosti. Ovakvi rezultati potvrđuju da učestanost odbacivanja paketa i efektivna brzina razmene podataka nisu međusobno redundantne metrike.

Još jedan interesantan scenario nastaje pri DT-RED redosledu linkova. U toj situaciji RED ruter u potpunosti preuzima upravljanje TCP konekcijama (tabela 2). Pri QL=72pkt učestanost odbacivanja paketa svih tipova konekcija se utrostručuje. Tako se stvara pravična raspodela propusnog opsega linka uskog grla bez smanjenja njegovog iskorišćenja (tabela 1).

Konačno, treba naglasiti da povećana učestanost odbacivanja paketa možda ne bi odgovarala kraćim HTTP konekcijama [2]. Ostaje pitanje da li bi raznovrsnija mešavina saobraćaja rezultovala manjom učestanošću odbacivanja paketa ili bi

precizno podešavanje RED paramara bilo neophodno za dobijanje pozitivnih efekata.

Povećanje kapaciteta bafera na QL=300pkt je dovelo do očekivanog smanjenja učestanosti odbacivanja paketa. Takođe se primećuje da ruter r2 u celosti preuzima funkciju upravljanja zagušenjem. Ovakav rezultat je očekivan, s obzirom da udaljene konekcije mogu da prođu kroz usko grlo r0-r2 koristeći skoro maksimalnu veličinu *cwnd* prozora. U poređenju sa testovima sa kraćim baferom, odbacivanje paketa je smanjeno dva do tri puta.

IV RAVNOPRAVNOST KONEKCIJA

Ispitivanje ravnopravnosti TCP konekcija je obavljeno u odnosu na redosled tehnika upravljanja baferima. Takođe smo ispitali ravnopravnost perspektivnih TCP unapređenja na mestu razgraničenja konvencionalnog i AQM domena.

Indeksi pravičnosti za posmatrane test scenarije su prikazani u tabeli 3. Indeks pravičnosti predstavlja prosečnu vrednost ravnopravne raspodele propusnog opsega i definiše se kao:

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

Veličine x_i predstavljaju neko merilo brzine razmene podataka (*goodput* ili *throughput*).

Fairness Index		QL=72 pkt		QL=300 pkt	
		Red 10%	Adapt. RED	Red 10%	Adapt. RED
RED-DT	end nodes	0.99229	0.993193	0.989203	0.989203
	inter. nodes	0.533823	0.803208	0.984169	0.984169
DT-RED	end nodes	0.98294	0.991884	0.991322	0.98732
	inter. nodes	0.994613	0.993914	0.994806	0.995022
DT-DT	end nodes	0.985197		0.989203	
	inter. nodes	0.427537		0.984169	

Tabela 3 Ukupni indeksi pravičnosti u zavisnosti od redosleda tehnika upravljanja baferima i varijante RED mehanizma.

FI vrednosti su u skladu sa prethodnim zaključcima. Sledeće rezultate treba naglasiti:

- ukupni indeksi pravičnosti se povećavaju sa povećanjem kapaciteta bafera
- ukupna pravičnost je bitno bolja kada dominantnu ulogu u kontroli zagušenja imaju AQM mehanizmi
- pri malom kapacitetu bafera (QL=72 pkt) i dominantnoj ulozi *DropTail* mehanizma, adaptivni RED uspeva da obezbedi bolju pravičnost u odnosu na *gentle* RED.

Rad zaključujemo ispitivanjem ravnopravne raspodele propusnog opsega između grupa SACK i NewReno+ECN konekcija. Rezultati testova su prikazani u tabeli 4 i tabeli 5.

Uočava se da NewReno+ECN i SACK imaju slično i ravnopravno ponašanje [9], čime je potvrđeno da obe implementacije mogu uspešno rešavati problem zagušenja na sloju transporta. SACK implementacija podrazumeva povećanje robusnosti konekcija upotrebom dodatnih kontrolnih informacija u sloju transporta. NewReno+ECN kombinacija podrazumeva jednostavniju modifikaciju TCP protokola i saradnju sa nižim slojevima mrežne hijerarhije.

Goodput [Mb/s]	Red 10%		Adapt RED	
	NR+ECN	SACK	NR+ECN	SACK
QL=72 pkt				
RED-DT	0.694	0.673	0.699	0.661
DT-RED	0.446	0.408	0.466	0.417
DT-DT	0.699	0.674		
QL=300 pkt				
RED-DT	0.565	0.593	0.565	0.593
DT-RED	0.468	0.432	0.495	0.420
DT-DT	0.565	0.593		

Tabela 4 Efektivna brzina razmene podataka NewReno+ECN i SACK konekcija.

Fairness Index	Red 10%		Adapt RED	
	NR+ECN	SACK	NR+ECN	SACK
QL=72 pkt				
RED-DT	0.99035	0.99486	0.99637	0.99130
DT-RED	0.97513	0.99668	0.99560	0.99409
DT-DT	0.98701	0.98395		
QL=300 pkt				
RED-DT	0.996445	0.983766	0.996445	0.983766
DT-RED	0.997941	0.9872	0.991013	0.997891
DT-DT	0.996445	0.983766		

Tabela 5 Indeks pravičnosti NewReno+ECN i SACK konekcija.

Autori su obavili i ispitivanja [10] čiji su rezultati pokazali da konekcije sa ECN mehanizmom mogu da obezbede povoljnije uslove prenosa u smislu ravnopravnosti i količine odbačenih paketa. Sa druge strane, u sredinama sa povećanom verovatnoćom odbacivanja paketa SACK, kao robusniji mehanizam, nije pokazao bitne prednosti u odnosu na NewReno+ECN.

V ZAKLJUČCI

U ovom radu je testiran spoj mreže koja podržava napredne AQM tehnike i konvencionalne mreže. Simulacije su potvrdile inferiorno ponašanje *DropTail* mehanizma. U radu su primećeni i objašnjeni novi efekti. Veliki broj pojava je bio primećen posmatranjem središnjih NewReno konekcija povezanih na ruter r2. Ovaj detalj je zanemaren u literaturi [3], što je dovelo do zaključka da RED nema bitnih prednosti u odnosu na *DropTail*.

Glavni nedostatak primene *DropTail* discipline na ruteru r2 je posledica velikog broja konekcija. Rezultat dejstva ovog mehanizma je izuzetno nepravedan odnos prema NewReno konekcijama sa kraćim RTT intervalom.

Primena RED mehanizma na najviše opterećenom ruteru r2 je uspostavila usaglašenu pravičnost sve tri grupe konekcija. Cena te pravičnosti je znatno povećanje broja odbačenih paketa pri malom kapacitetu bafera. Postavljanje RED mehanizma u ruteru r2 pokazuje još jedan efekat. RED mehanizam može da preuzme celokupno upravljanje TCP konekcijama, bez obzira na kapacitet bafera. Ova pojava, kao i uticaji koji se odnose na kašnjenje će biti predmet budućeg istraživanja.

LITERATURA

- [1] B. Braden, D. Clark, J. Crowcroft, B. Davie, S. Deering, D. Estrin, S. Floyd i dr., "Recommendations on queue management and congestion avoidance in the Internet", RFC 2309, april 1998.
- [2] M. Christiansen, K. Jeffay, D. Ott, F. D. Smith, "Tuning RED for web traffic", *IEEE/ACM Trans. on Networking*, 9(3), str. 249 – 264, jun 2001.
- [3] M. May, J. Bolot, C. Diot, B. Lyles, "Reasons not to deploy RED", *Proc. 7th. International Workshop on Quality of Service (IWQoS'99)*, London, jun 1999.
- [4] S. Floyd. (2000, mart). Recommendation on using the 'gentle' variant of RED. [Online]. Dostupno na: <http://www.icir.org/floyd/red/gentle.html>.
- [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] K. Ramakrishnan, S. Floyd, S. Black, "The addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP", RFC 3168, sep. 2001.
- [7] S. Floyd, T. Henderson, "The NewReno modification to TCP's Fast Recovery algorithm", RFC 2582, apr. 1999.
- [8] S. Floyd, J. Mahdavi, M. Mathis, M. Podolsky, "An extension to the Selective Acknowledgement (SACK) Option for TCP", RFC 2883, jul 2000.
- [9] S. Mišković, G. Petrović, Lj. Trajković, "Analiza iskorišćenja SACK i NewReno mehanizama kontrole zagušenja na bazi simulacije", *ETRAN*, Čačak, jun 2004.
- [10] S. Mišković, "Simulaciono ispitivanje performansi TCP tehnika kontrole zagušenja u sloju transporta", Magistarska teza, Elektrotehnički fakultet Beograd, 2004.

Abstract: In this paper, we consider edge areas between DropTail (FIFO) and AQM domains. We analyze efficient use of network resources (bandwidth, data rate, and loss rate) and their fair sharing. We confirm effects already reported in the literature and also provide new insights. In summary, AQM shows superior performance, albeit with certain drawbacks that need to be considered in AQM implementations.

INTERACTION BETWEEN CONVENTIONAL IP NETWORKS AND NETWORKS WITH AQM MECHANISMS, Stanislav Mišković, Grozdan Petrović, Ljiljana Trajković