

# Интеракције TCP протокола са механизмима за активно управљање редовима

Милорад Поповић

(ментори: доц. др Мирјана Стојановић и проф. др Владанка Аћимовић-Распоповић)

**Садржај** — У овом раду приказане су основне карактеристике TCP (*Transmission Control Protocol*) и механизма за активно управљање редовима. Затим су методом симулације, помоћу мрежног симулатора NS2, испитане интеракције TCP са механизмом RED (*Random Early Detection*), у условима великог саобраћајног оптерећења у мрежи. Симулациони експерименти су извршени на две топологије са различитим бројем активних TCP конекција. Понашање механизма RED је упоређено са статичким механизмом за управљање редовима *DropTail*.

**Кључне речи** — Активно управљање редовима, загушење, Интернет протокол, симулација, транспортни протокол.

## I. УВОД

СВРХА овог рада је анализа проблема загушења у мрежама заснованим на технологији Интернет протокола (IP). Контрола загушења на мрежном слоју се остварује статичким или динамичким (активним) механизмима за управљање редовима. Најпознатији механизам за активно управљање редовима (AQM – *Active Queue Management*) је RED (*Random Early Detection*), који подразумева превентивно одбацивање пакета у зависности од просечне попуњености реда.

TCP (*Transmission Control Protocol*) имплементира механизме контроле загушења на транспортном слоју, односно од једног до другог краја везе.

У литератури су предложени и анализирани приступи за избор и конфигурирање параметара механизма RED [1], функционалност и имплементацију AQM блокова у IP рутерима [2], као и допринос концепта AQM обезбеђивању квалитета сервиса у окосници мреже [3]. Циљ истраживања у овом раду су интеракције TCP механизма контроле загушења са AQM механизмом RED у условима великог саобраћајног оптерећења мреже. Основни допринос рада презентирани су кроз идентификацију и анализу услова под којима механизам RED показује предности у односу на статички механизам *DropTail*.

Милорад Поповић, Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, Војводе Степе 305, 11000 Београд, Србија; (тел: 064/63-56-299, e-mail: [miloradpopovic@gmail.com](mailto:miloradpopovic@gmail.com)).

## II. TCP И АЛГОРИТМИ ЗА УПРАВЉАЊЕ РЕДОВИМА

### A. TCP

TCP врши пренос података у облику непрекидних токова октета (бајтова) у оба смера између корисника паковањем одређеног броја бајтова у сегменте за слање кроз IP мрежу. TCP обезбеђује обнову података који су оштећени, изгубљени, дуплирани или достављени погрешним редоследом у току преноса преко IP мреже. Ово TCP постиже доделом редног броја свакој јединици података (TCP пакету) који пошаље и захтевом за позитивном потврдом (ACK - *Acknowledgment*) од стране TCP пријемника. Ако ACK не буде примљен у току одговарајућег временског интервала, TCP поново врши слање података. На пријемној страни редни бројеви се користе да правилно поређају сегменте који могу бити примљени без реда и да уклони дубликате. Додавањем контролног збира (*checksum*) сваком послатом сегменту и његовом провером на пријемној страни уочавају се оштећени сегменти, што омогућује TCP-у да одбаци оне који су оштећени.

TCP обавља следеће основне функције: (1) пренос података; (2) поузданост; (3) контрола протока; (4) мултиплексирање; (5) успостављање и одржавање логичких веза – конекција и (6) приоритет и безбедност.

### B. Алгоритми за управљање редовима

Управљање редовима је механизам одлучивања да ли ће пакети које треба проследити следећем елементу мреже бити смештени у одговарајући излазни ред и сачекати опслуживање или ће бити одбачени, да би се избегло загушење мреже у условима великог саобраћајног оптерећења. Капацитет реда се димензионише тако да апсорбује појаве краткотрајних експлозија саобраћаја [1].

Први задатак алгоритма за управљање редовима је да минимизира попуњеност (дужину) редова у условима нормалног функционисања мреже. Други задатак је спречавање појединачног тока саобраћаја да у потпуности исцрпљује капацитет реда. Алгоритми за управљање редовима могу бити статички и динамички [4]. Динамички механизми називају се и механизмима за активно управљање редовима (AQM). Типичан представник статичких механизма је *DropTail*, а најзначајнији представник AQM механизма је RED.

Код статичких алгоритама, критеријум за одбацивање пакета је тренутна попуњеност реда. *DropTail* представља једноставнију варијанту алгоритама код кога се ред попуњава док се у потпуности не исцрпи његов капацитет, после чега се одбацују сви приспели пакети. То је тзв. *FIFO (First In First Out)* систем опслуге.

RED као најзначајнији представник механизма за динамичко управљање редовима у IP (*Internet Protocol*) мрежама, заснива се на пробабилистичком одбацивању пакета ако се процени да постоји опасност од загушења.

Базични алгоритам RED се састоји од два главна дела: процена просечне дужине реда,  $l_{avg}$ , којом се одређује дозвољени ниво експлозивности саобраћаја и одлучивање о одбацивању приспелог пакета у коме фигуришу три конфигурабилна параметра: доњи праг попуњености реда,  $T_{MIN}$ , горњи праг попуњености реда,  $T_{MAX}$ , и највећа дозвољена вероватноћа одбацивања пакета,  $P_{max}$ .

Алгоритам RED подразумева повећавање вероватноће одбацивања пакета ако је већа процењена просечна дужина реда у посматраном интервалу времена.

У зависности од величине  $l_{avg}$  разликујемо три фазе: нормално функционисање мреже када је  $l_{avg} < T_{MIN}$ , фазу избегавања загушења за  $T_{MIN} < l_{avg} < T_{MAX}$  и фазу контроле загушења за  $l_{avg} > T_{MAX}$ .

### III. СИМУЛАЦИЈА И РЕЗУЛТАТИ

#### A. Симулатор NS2 и придружени алати

Симулације су извршене уз помоћ симулатора NS2, који припада класи симулатора вођених догађајима у дискретном времену [5]. У њему су имплементирани комуникациони протоколи различитих слојева, генератори саобраћаја, механизми квалитета сервиса, механизми за управљање редовима, статички и динамички алгоритми рутирања и др. Симулатор је спрегнут са алатом за анимацију – NAM [5] и различитим алатима за обраду и анализу NS2 *trace* фајлова, као што је *Trace Graph*.

У оквиру NS2 симулатора постоји више различитих механизма за управљање редовима, као што су: *DropTail*, RED, FQ (*Fair Queueing*), SFQ (*Stochastic Fair Queueing*). NS2 подржава неколико верзија TCP протокола (*Tahoe, Reno, Sack1, Vegas, Fack*).

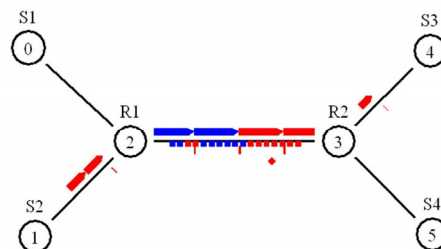
#### B. Опис симулације

Симулација је изведена у два експеримента на две различите топологије у којима је извршена анализа токова FTP (*File Transfer Protocol*) саобраћаја [6]. FTP извори саобраћаја се налазе у изворишним чворовима и њима су придружени TCP агенти (коришћена је *default* NS2 верзија – *Tahoe*). Одредишни TCP *sink* објекти придружени су одредишним чворовима.

За потребе анализе и приказа резултата коришћени су *Trace Graph*, *GnuPlot* и *MS Excel*, а за визуелну проверу симулације коришћен је аниматор NAM.

#### B. Експеримент 1 – анализа перформанси у зависности од величине реда

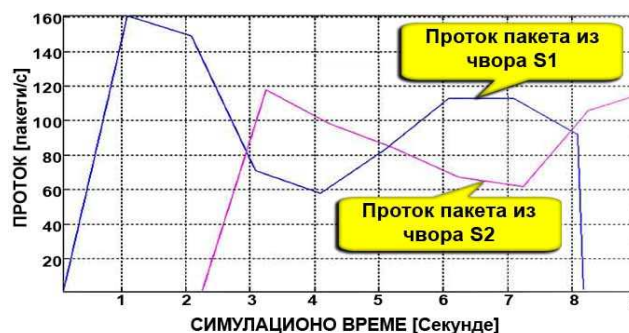
Симулација је извршена на топологији која је приказана на сл. 1, а састоји се од изворишних чворова S1 и S2, граничних чворова R1 и R2 и одредишних чворова S3 и S4. Сви линкови у мрежи су двосмерни. Линкови између чворова S1 и S2 и чвора R1 су капацитета 10 Mb/s и уносе кашњење од 2 ms и 3 ms респективно. Између чвора R2 и чворова S3 и S4 линкови су капацитета 10 Mb/s и уносе кашњење 4 ms и 5 ms респективно. Између граничних чворова линк је капацитета 1,5 Mb/s са кашњењем од 20 ms.



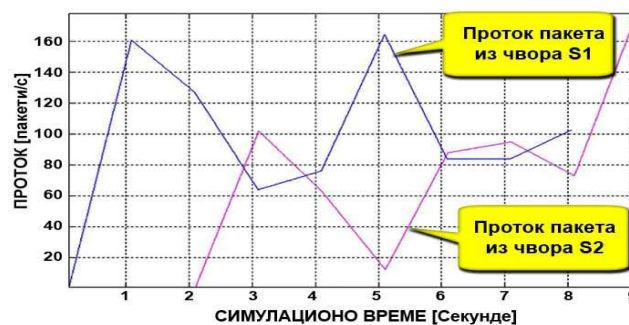
Сл. 1. Експеримент 1: топологија мреже (NAM)

Тестови су обављени са две активне TCP конекције, које емитују саобраћај са протоцима од по 10 Mb/s што доводи мрежу у стање великог загушења. У чвору R1 се посматрају параметри од значаја. У њему је у зависности од поставке примењен или *DropTail* или RED. У свим поставкама у чвору R2 примењен је *DropTail*. Величина свих генерисаних пакета чворовима је 1000 бајтова. Величина TCP прозора је подешена на 50 пакета.

На сл. 2 и 3 приказан је проток прослеђених пакета у функцији трајања симулације.



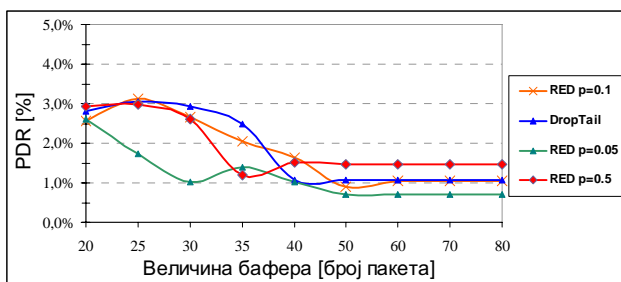
Сл. 2. Проток - RED (величина реда 40 пакета)



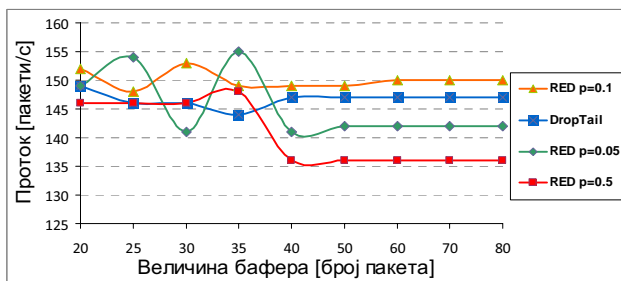
Сл. 3. Проток - DropTail (величина реда 40 пакета)

Утврђено је да је RED алгоритам успео боље од *DropTail*-а да се прилагоди појавама тзв. експлозивног (*bursty*) саобраћаја из изворишних чворова. RED је због свог система раног случајног одбацивања пакета, којим је обезбеђено постојање одређеног слободног простора у реду у скоро сваком тренутку, успео да компензује наилазак саобраћаја већег обима. Самим тим, нема значајног одбацивања пакета, тако да TCP није морао на дуже временске периоде да зауставља слање пакета. На тај начин је онемогућена појава монополисања реда од стране једног тока саобраћаја. Са друге стране *DropTail* је, због одбацивања тек при пуном реду, условио да један ток монополише канал на одређени период времена.

Затим је варирана величина реда у чвору R1, за *DropTail* и RED са различитим максималним вероватноћама одбацивања ( $P_{max}=0,05$  до  $P_{max}=0,5$ ).



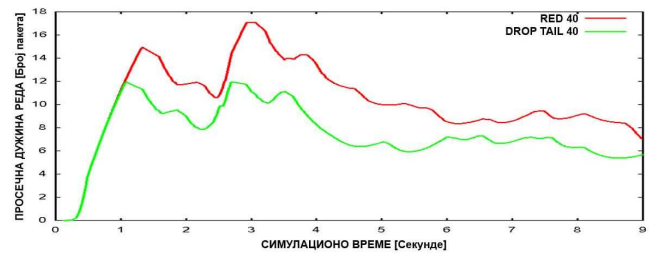
Сл. 4. Укупан проценат одбацивања пакета у функцији капацитета реда



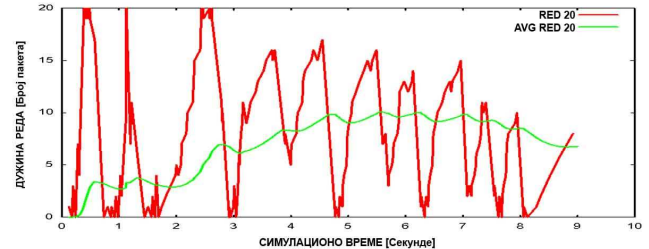
Сл. 5. Укупан проток у функцији капацитета реда

Највеће разлике између посматраних механизма управљања редовима се уочавају при дужини реда од 35 пакета, као што је приказано на сл. 4 и 5. Када се у таквој ситуацији примени *DropTail*, ред бива брзо попуњен, па се нови пакети одбацују у групама. Неселективно функционисање *DropTail*-а доводи до тога да пакети обе TCP конекције буду истовремено одбачени. То доводи до учестале активације TCP механизма избегавања загушења, па се пропусни опсег не може ефикасно користити.

Због честог одбацивања пакета од стране RED-а услед великог обима саобраћаја, тј. великог загушења TCP мора често да започиње ретрансмисије. Из тог разлога просечна дужина реда код RED-а је већа, него код *DropTail*-а, што се може уочити на сл. 6. На сл. 7 види се да често започињање TCP ретрансмисије доводи и до тога да тренутна попуњеност RED реда осцилује брзо.



Сл. 6. Промена просечне попуњености RED и *DropTail* реда капацитета 40 пакета

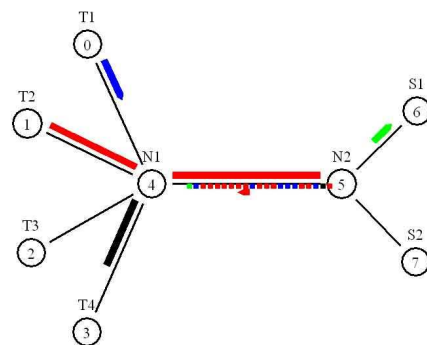


Сл. 7. Попуњеност RED реда капацитета 20 пакета

Осцилације имају велику амплитуду и релативно су правилне, стога је просечна попуњеност RED реда знатно нижа од максималног капацитета реда.

#### Г. Експеримент 2 — анализа перформанси у односу на промену саобраћајног оптерећења

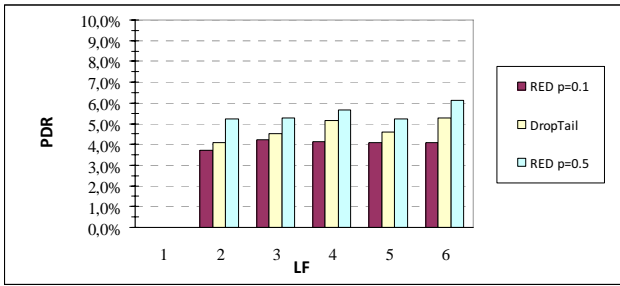
У другом експерименту симулација је извршена на топологији приказаној на сл. 8, која се састоји од изворишних чворова T1, T2, T3 и T4, граничних чворова N1 и N2 и одредишних чворова S1 и S2. Сви линкови у мрежи су двосмерни. Линкови између изворишних чворова и чвора N1 су, зависно од фазе експеримента, капацитета од 0,5 Mb/s до 3 Mb/s. Између чвора N2 и чворова S1 и S2 линкови су капацитета 10 Mb/s. Између граничних чворова линк је капацитета 2 Mb/s. Кашњење свих линкова је 2 ms.



Сл. 8. Експеримент 2: топологија мреже (NAM)

Тестови су обављени са четири активне TCP конекције. У зависности од поставке у чвору N1 је примењен или *DropTail* или RED алгорита. У свим поставкама у чвору N2 примењен је *DropTail*. Величина свих генерисаних пакета у изворишним чворовима је 1000 бајтова. Величина TCP прозора је 50 пакета. Највећа дозвољена вероватноћа одбацивања пакета  $P_{max}$  постављана је на вредности 0,1 и 0,5. Величина реда износи 40 пакета и за RED и за *DropTail* у свим поставкама експеримента.

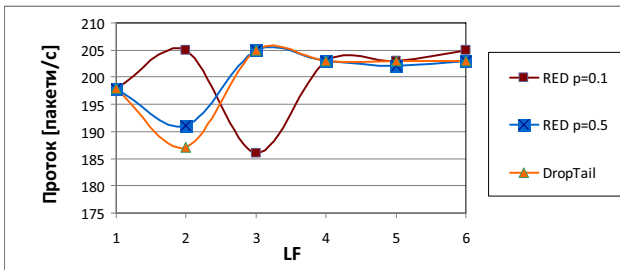




Сл. 9. Укупан проценат одбацивања пакета - PDR (*Packet Discard Ratio*) у функцији од LF

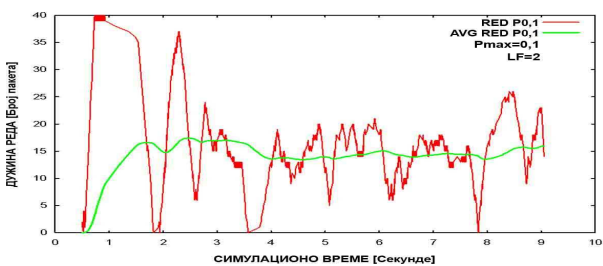
Посматрајући сл. 9, у области за  $LF > 1$  може се закључити да је RED са  $P_{max}=0,5$  претерано ригорозан, тј. сувише стрма карактеристика вероватноће одбацивања проузрокује малу толеранцију попуњености реда. LF (*Load Factor*) је однос максималног генерисаног агрегатног саобраћаја  $u$  и капацитета линка  $c$  и израчунава се из израза (1):

$$LF = \frac{u}{c} \quad (1)$$



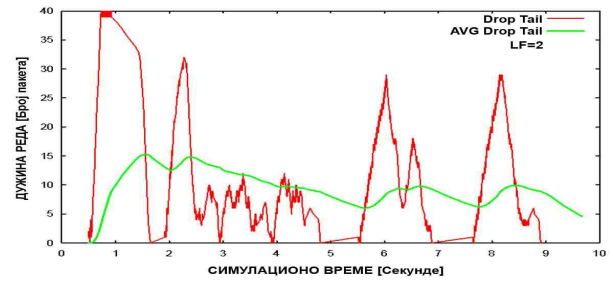
Сл. 10. Укупан проток у функцији од LF

На сл. 10 се уочава да у условима великог загушења RED не показује предности у односу на *DropTail*. У условима изразито великог оптерећења ( $LF > 4$ ), систем долази у засићење и нема значајне разлике у перформансама између RED-а и *DropTail*-а.



Сл. 11. Промена попуњености RED реда

На сл. 11 и 12 уочава се на почетку симулације значајна попуњеност реда, услед тога што сви извори емитују свој саобраћај истовремено. Због тога RED врши значајна одбацивања пакета, што проузрокује често активирање TCP механизма за избегавање загушења. Ово објашњава сличности у понашању RED-а и *DropTail*-а који због свог неселективног одбацивања при потпуној попуњености реда приморавља TCP на сличну реакцију. Иако RED показује мало боље карактеристике тренутне и просечне попуњености реда, он у овом случају нема значајну предност у односу на *DropTail*.



Сл. 12. Промена попуњености *DropTail* реда

#### IV. ЗАКЉУЧАК

У раду су приказане основне карактеристике TCP протокола и AQM механизма. Методом симулације испитане су интеракције TCP са RED и *DropTail* механизмима у условима великог саобраћајног оптерећења у мрежи. У првом експерименту резултати симулације су показали предност механизма RED у односу на *DropTail*, у смислу већег протока и мањег процента одбачених пакета. У другом експерименту при варирању оптерећења линка на коме се јавља загушење резултати симулације су показали да у условима екстремно великог загушења механизам RED не показује предности у односу на *DropTail*, односно да у неким случајевима показује лошије перформансе.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Стојановић, М., Аћимовић-Распоповић, В.: *Инжењеринг телекомуникационог саобраћаја у мултисервисним IP мрежама*, научна монографија, Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, октобар 2006.
- [2] S. Mišković et al., "Implementation and Performance Analysis of Active Queue Management Mechanisms", in *Proc. of TELSIKS 2005*, vol. 2, pp. 317-326, Niš, September 2005.
- [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] H. J. Chao, X. Guo, *Quality of Service Control in High-Speed Networks*, John Wiley & Sons, 2002.
- [5] "Network Simulator NS2". [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [6] Милорад, М. Поповић, *Интеракције TCP протокола са механизмима за активно управљање редовима*, дипломски рад Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, јун 2007.

#### ABSTRACT

In this paper, we present main features of the Transmission Control Protocol (TCP) and the Active Queue Management mechanisms. Further, interactions of the TCP and Random Early Detection (RED) have been investigated, by computer simulation with network simulator NS2. Two network topologies with different number of active TCP connections have been assumed, as well as condition of heavy network congestion. RED behavior has been compared with static queue management mechanism *DropTail*.

**INTERACTIONS BETWEEN THE TCP AND ACTIVE QUEUE MANAGEMENT MECHANISMS**  
**M. Popović**