



# BPR<sup>+</sup> RASPOREĐIVAČ ZA PROPORCIONALNU DIFERENCIJACIJU KAŠNJENJA

---

Vladimir Vukadinović  
Grozdan Petrović

Elektrotehnički fakultet  
Univerzitet u Beogradu  
Beograd, Srbija i Crna Gora

Ljiljana Trajković

School of Engineering Science  
Simon Fraser University  
Vancouver, Canada

---



# Uvod

---

- Internet aplikacije imaju različite zahteve u pogledu kvaliteta servisa (QoS):
  - **delay-sensitive** (DS): real-time aplikacije (IP telefonija, Video on Demand)
  - **throughput-sensitive** (TS): bulk data transfer (File Transfer Protocol (FTP), Simple Mail Transfer Protocol (SMTP))
- Dva pristupa za obezbeđivanje kvaliteta servisa u Internetu:
  - **absolutna diferencijacija servisa**
  - **relativna diferencijacija servisa**
- Relativna diferencijacija servisa se pokazala kao jednostavniji i prihvatljiviji pristup.
- Proporcionalnu diferencijaciju je vrsta relativne diferencijacije servisa koja podrazumeva obezbeđivanje približno konstantnog odnosa QoS parametara (verovatnoće gubitka paketa, kašnjenja i protoka) između različitih klasa mrežnog saobraćaja.



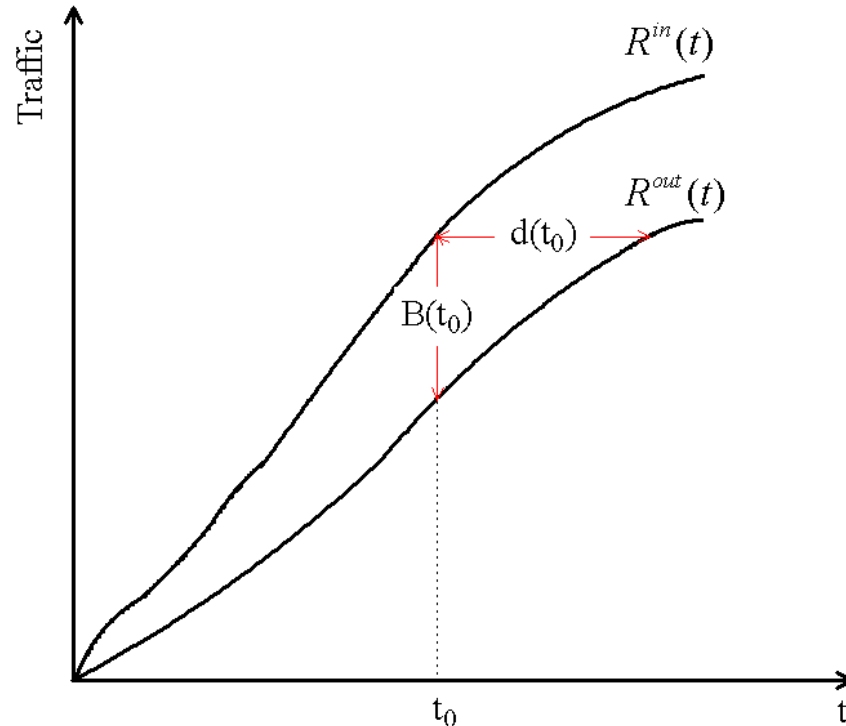
# Proporcijalna diferencijacija kašnjenja

---

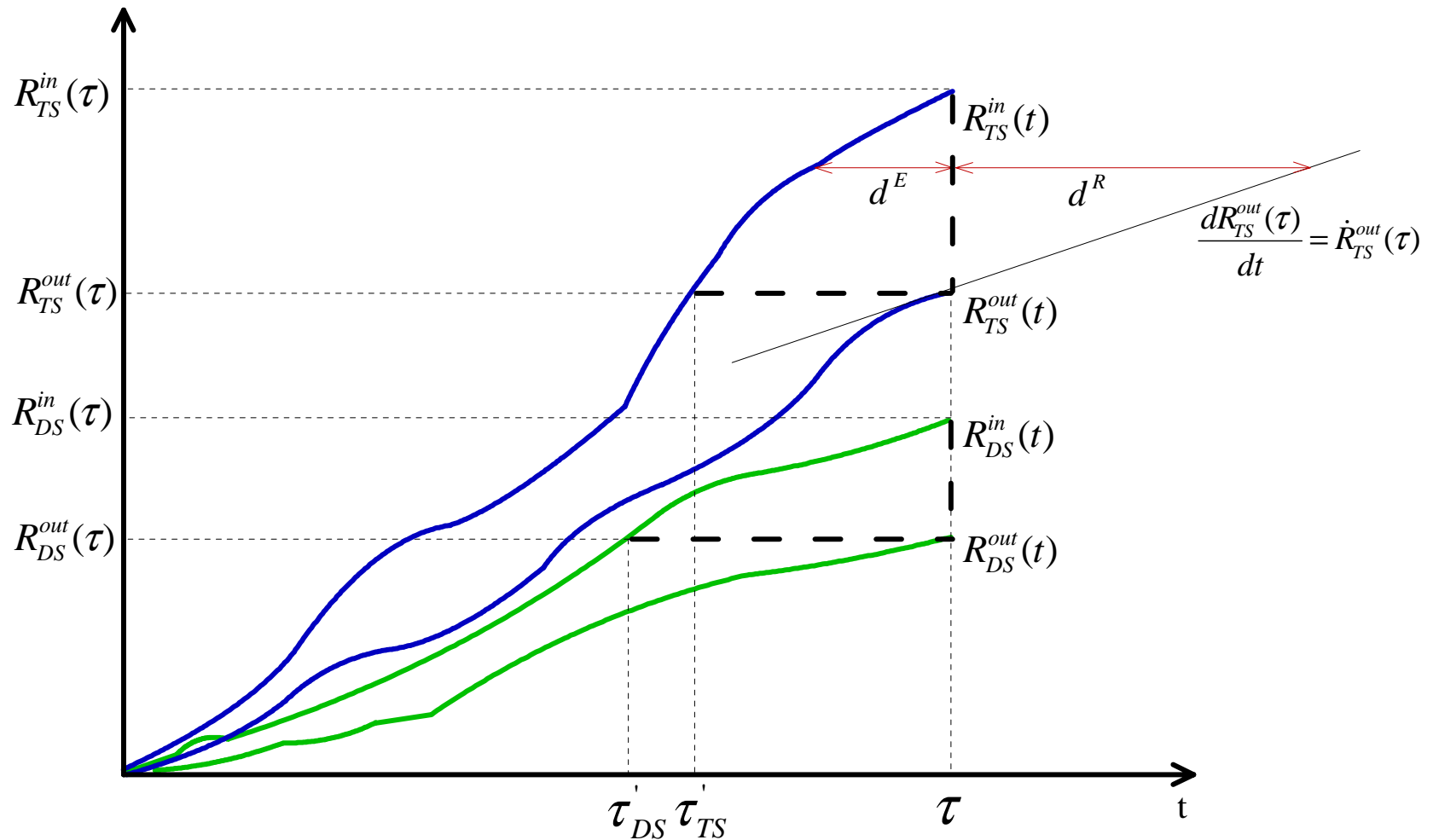
- Raspoređivači paketa za proporcionalnu diferencijaciju kašnjenja u izlaznim baferima rutera su bitan element modela za proporcijalnu diferencijaciju servisa.
- U ovom radu je predstavljen novi raspoređivač za proporcionalnu diferencijaciju kašnjenja pod nazivom BPR<sup>+</sup>: Optimized Backlog-Proportional Rate.
- BPR<sup>+</sup> je baziran na Backlog-Proportional Rate (BPR) [1], [2] algoritmu, poznatom u literaturi i kao Proportional Queue Control Mechanism (PQCM) [3].
- Za razliku od postojećih algoritama za proporcionalnu diferencijaciju kašnjenja [1] – [9], BPR<sup>+</sup> uzima u obzir vreme čekanja paketa u baferu pri odabiru narednog paketa za servisiranje.
- Cilj predstavljenog raspoređivača je da obezbedi preciznu i konzistentnu diferencijaciju kašnjenja između delay-sensitive (DS) i throughput-sensitive (TS) saobraćaja.

# Fluidna aproksimacija mrežnog saobraćaja

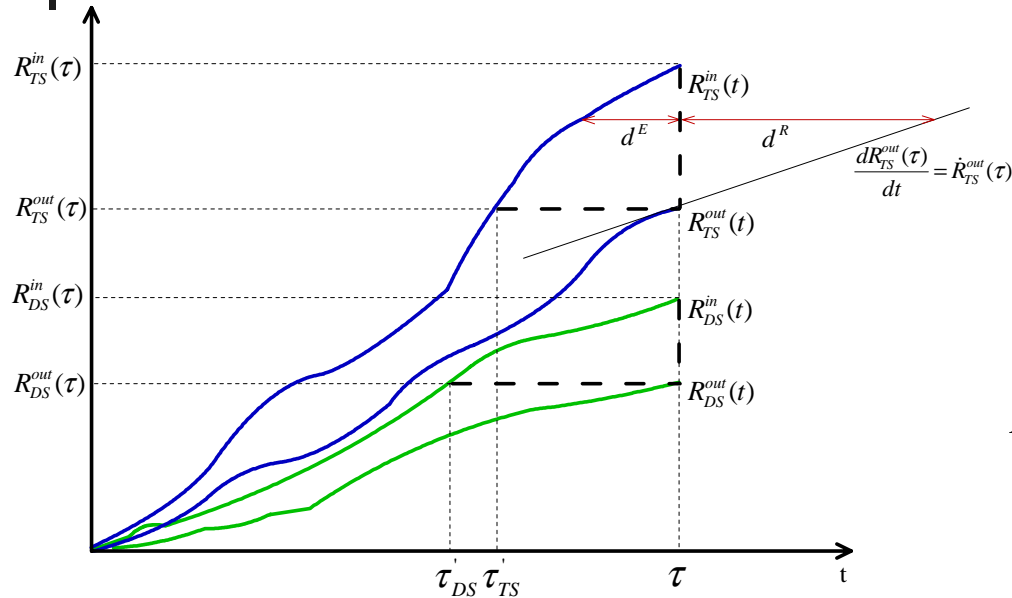
- BPR<sup>+</sup> server je baziran na fluidnoj aproksimaciji mrežnog saobraćaja.
- Fluidna aproksimacija je predstavljena skupom saobraćajnih krivih.
- Ulazna kriva označava količinu saobraćaja koja je stigla u bafer do trenutka  $t$ .
- Izlazna kriva označava količinu saobraćaja koja je servisirana do trenutka  $t$ .
- Vertikalno rastojanje između ulazne i izlazne krive odgovara trenutnom zaostatku u baferu.
- Horizontalno rastojanje između ulazne i izlazne krive odgovara trenutnom kašnjenju u baferu.



# Fluidni BPR<sup>+</sup> server



# Fluidni BPR<sup>+</sup> server



$$\bar{d}_{TS}(\tau) = \bar{d}_{TS}^E(\tau) + \bar{d}_{TS}^R(\tau)$$

$$R_{TS}^{in}(\tau_{TS}') = R_{TS}^{out}(\tau), \tau_{TS}' \leq \tau$$

- Ukoliko su servisirani brzinom  $\dot{R}_{TS}^{out}$ , očekivano kašnjenje paketa

koji pripadaju TS klasi je  $\bar{d}_{TS}(\tau) = \left( \frac{1}{B_{TS}(\tau)} + \frac{1}{\dot{R}_{TS}^{out}(\tau)(\tau - \tau_{TS}')} \right) I_{TS}(\tau)$

gde su  $B_{TS}(\tau) = R_{TS}^{in}(\tau) - R_{TS}^{out}(\tau)$  i  $I_{TS}(\tau) = \int_{\tau_{TS}'}^{\tau} (R_{TS}^{in}(t) - R_{TS}^{out}(\tau)) dt$ .

# Brzine servisiranja u fluidnom BPR<sup>+</sup>-u

- Slično, za DS klasu važi  $\bar{d}_{DS}(\tau) = \left( \frac{1}{B_{DS}(\tau)} + \frac{1}{\dot{R}_{DS}^{out}(\tau)(\tau - \tau'_{DS})} \right) I_{DS}(\tau)$ ,

gde su  $B_{DS}(\tau) = R_{DS}^{in}(\tau) - R_{DS}^{out}(\tau)$  i  $I_{DS}(\tau) = \int_{\tau'_{DS}}^{\tau} (R_{DS}^{in}(t) - R_{DS}^{out}(\tau)) dt$ .

- Brzine servisiranja  $\dot{R}_{TS}^{out}$  i  $\dot{R}_{DS}^{out}$  koje zadovoljavaju  $\frac{\bar{d}_{TS}}{\bar{d}_{DS}} = \delta$  i

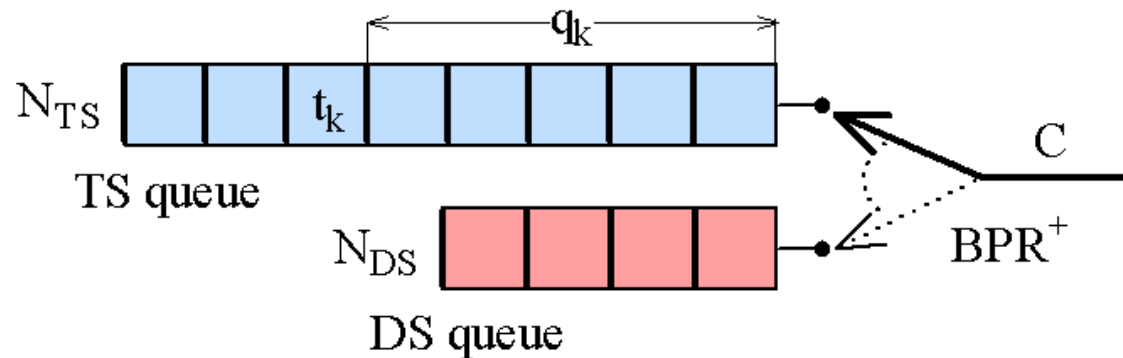
$\dot{R}_{TS}^{out} + \dot{R}_{DS}^{out} = C$  mogu se dobiti iz:

$$\dot{R}_{TS}^{out2} + \dot{R}_{TS}^{out} \left( \frac{1}{B_{TS}(\tau) - \delta Z(\tau) B_{DS}(\tau)} \left( \frac{1}{\tau'_{TS}} + \frac{\delta Z(\tau)}{\tau'_{DS}} \right) - C \right) - \frac{1}{B_{TS}(\tau) - \delta Z(\tau) B_{DS}(\tau)} \frac{C}{\tau'_{TS}} = 0$$

$$\dot{R}_{DS}^{out} = C - \dot{R}_{TS}^{out},$$

gde je  $Z(\tau) = \frac{I_{DS}(\tau)}{I_{TS}(\tau)}$ .

# Paketizovani BPR<sup>+</sup> server



$$d_k(t) = (t - t_k) + \frac{q_k}{r(t)}$$

- Ukoliko su servisirani brzinom  $r_{TS}$ , očekivano kašnjenje paketa

koji pripadaju TS klasi je  $\bar{d}_{TS} = \frac{1}{N_{TS}} \left( \sum_{k=1}^{N_{TS}} (t - t_k) + \sum_{k=1}^{N_{TS}} \frac{q_k}{r_{TS}} \right)$  ili

$$\bar{d}_{TS} = D_{TS} + \frac{1}{r_{TS}} Q_{TS} \text{ gde su } D_{TS} = t - \frac{1}{N_{TS}} \sum_{k=1}^{N_{TS}} t_k \text{ i } Q_{TS} = \frac{1}{N_{TS}} \sum_{k=1}^{N_{TS}} q_k .$$





# Brzine servisiranja u paketizovanom BPR<sup>+</sup>-u

- Slično, za DS klasu važi  $\bar{d}_{DS} = D_{DS} + \frac{1}{r_{DS}} Q_{DS}$ , gde su:

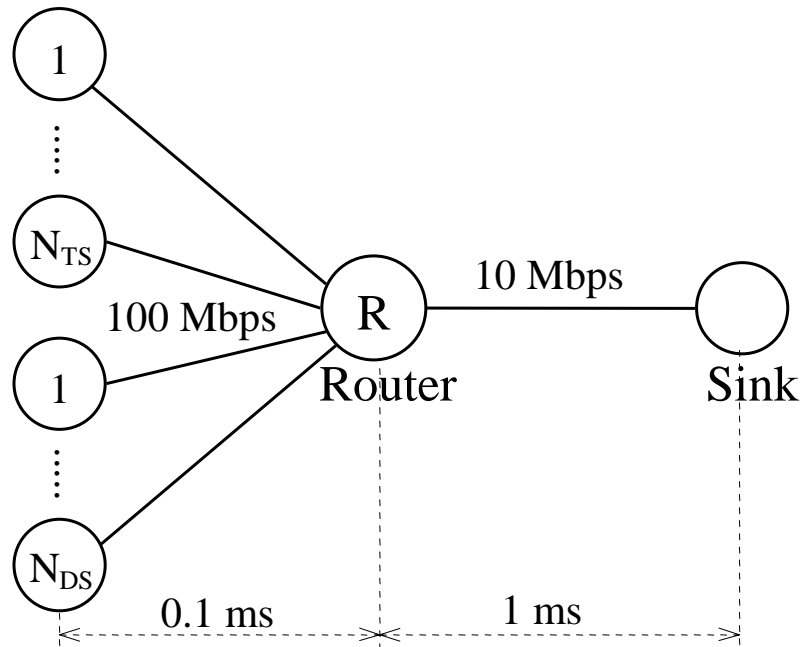
$$D_{DS} = t - \frac{1}{N_{DS}} \sum_{k=1}^{N_{DS}} t_k \quad \text{i} \quad Q_{DS} = \frac{1}{N_{DS}} \sum_{k=1}^{N_{DS}} q_k .$$

- Brzine servisiranja  $r_{TS}$  i  $r_{DS}$  koje zadovoljavaju  $\frac{\bar{d}_{TS}}{\bar{d}_{DS}} = \delta$  i  $r_{TS} + r_{DS} = C$  mogu se dobiti iz:

$$r_{TS}^2 + \left( \frac{Q_{TS} + \delta Q_{DS}}{D_{TS} - \delta D_{DS}} - C \right) r_{TS} - \frac{Q_{TS} C}{D_{TS} - \delta D_{DS}} = 0$$

$$r_{DS} = C - r_{TS} .$$

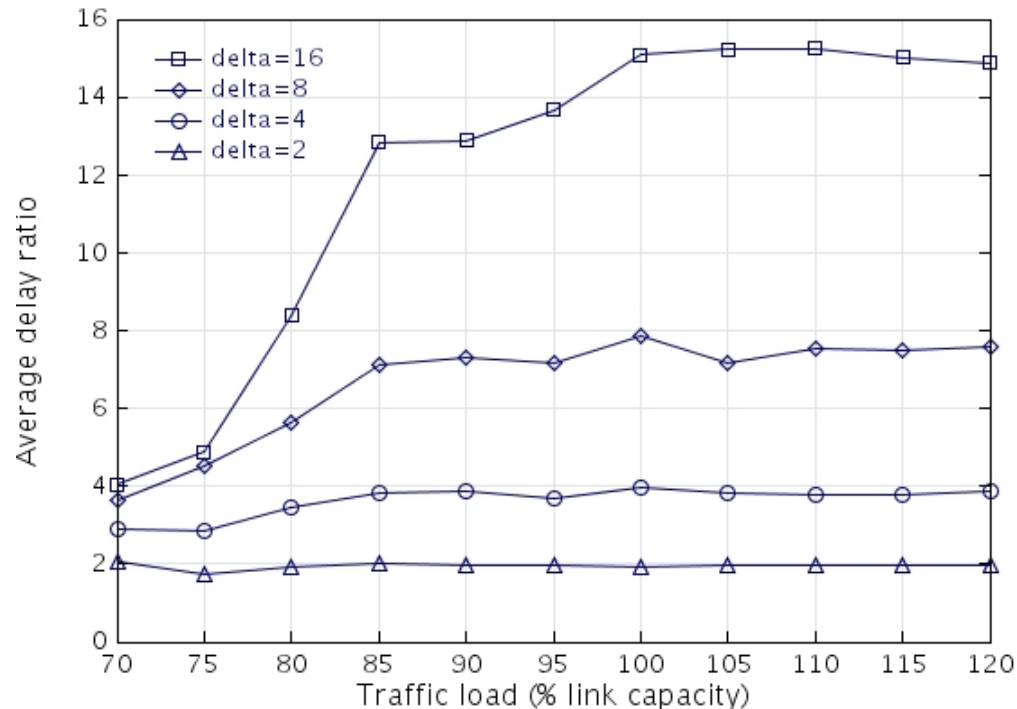
# Simulaciona topologija



- Parametri Pareto izvora:
  - veličina paketa 500 bajta
  - ON period 50 ms
  - OFF period 50 ms
  - brzina 2 Mbps
  - shape parametar 1.5

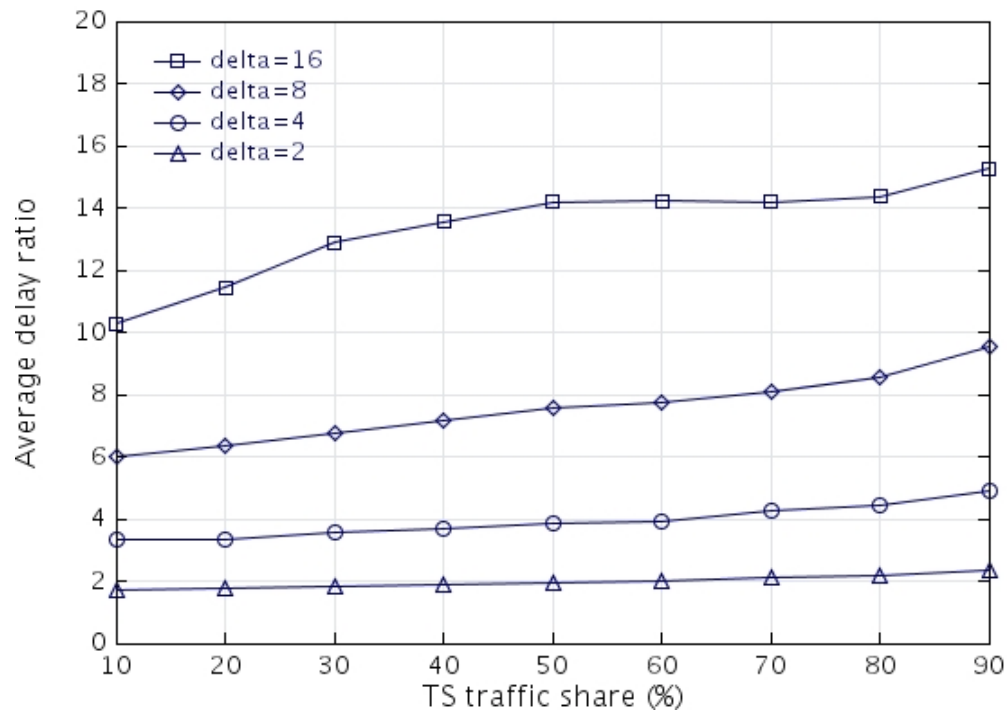
- Broj Pareto ON/OFF izvora: 5 TS i 5 DS
- Kapacitet bafera: 100 ms (250 paketa)

# Uticaj intenziteta dolaznog saobraćaja



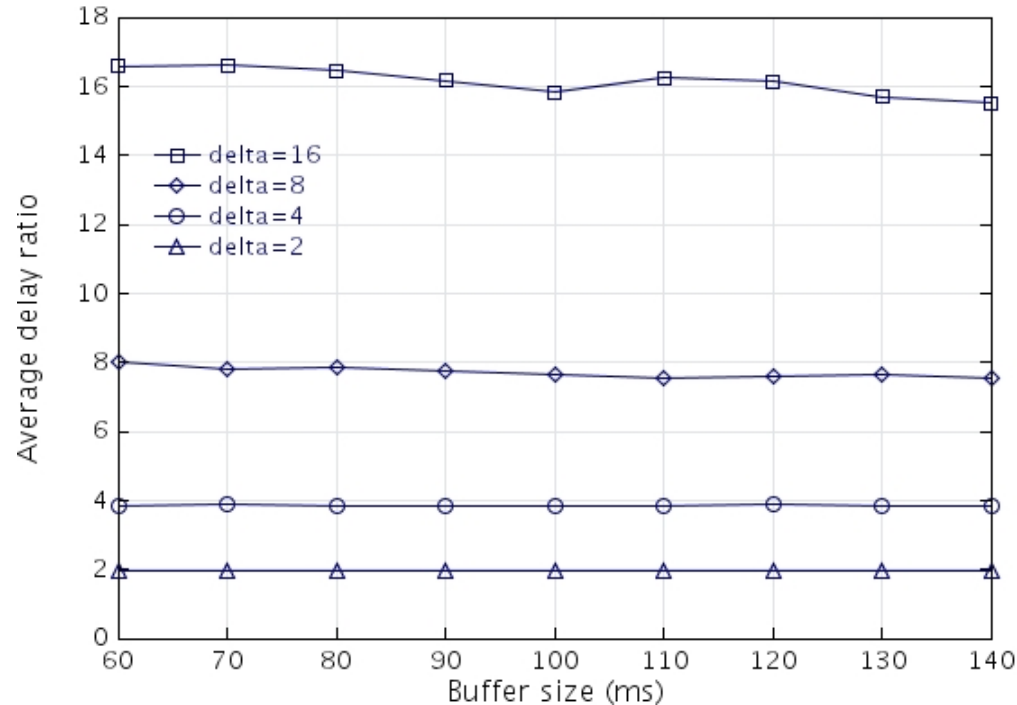
- BPR+ obezbeđuje željenu diferencijaciju kašnjenja kada je ponuđeni saobraćaj veći od kapaciteta mreže.
- U slučajevima kada mreža nije zagušena, diferencijacija kašnjenja nije potrebna jer svi paketi imaju malo kašnjenje (baferi u čvorovima mreže su većim delom vremena prazni).

# Uticaj distribucije dolaznog saobraćaja



- Postignuti odnos kašnjenja u izvesnoj meri zavisi od distribucije dolaznog saobraćaja po klasama. Klasa koja čini većinu ponuđenog saobraćaja trpi veće kašnjenje nego što bi u idealnom slučaju.
- Najverovatniji uzrok je izvesna neravnoteza u korist klase sa manjim brojem paketa u baferu koja je uslovljena aproksimativnim algoritmom za paketizaciju fluidnog BPR<sup>+</sup> raspoređivača.

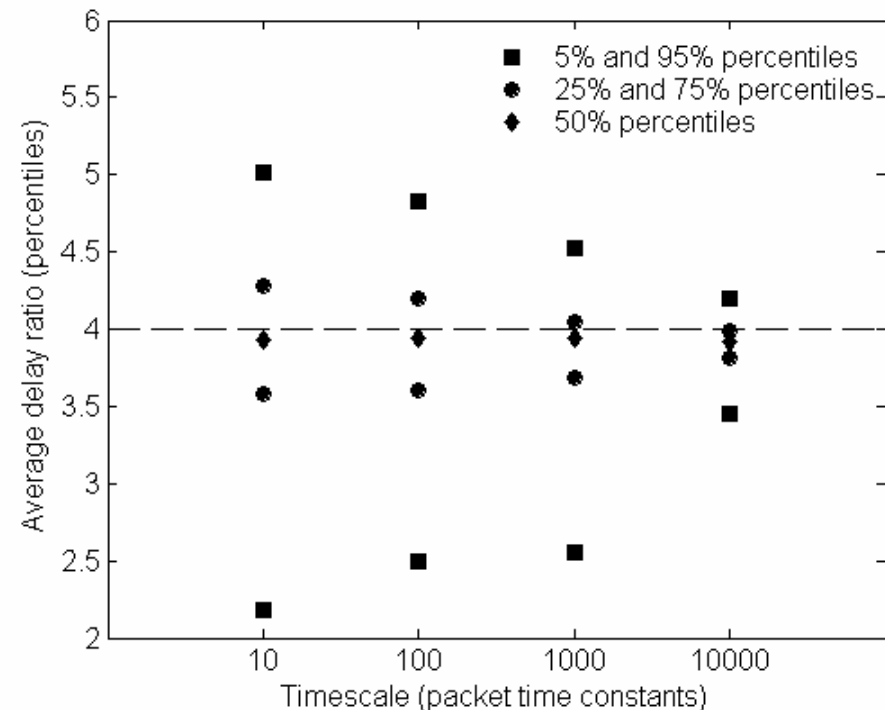
# Uticaj kapaciteta bafera



- U ispitivanom opsegu, veličina bafera ne utiče na performanse BPR<sup>+</sup> raspoređivača.
- Veoma mali kapacitet bafera bi mogao da utice na postignuti odnos kašnjenja. Ne razmatramo ovaj slučaj jer podrazumevamo da su baferi korektno dimenzionisani.

# Uticaj vremenske skale

- Vremenska skala je izražena u broju vremenskih jedinica. Vremenska jedinica je vreme potrebno za transmisiju paketa veličine 500 bajta na linku kapaciteta 10 Mb/s.
- Celokupno vreme simulacije je podeljeno na intervale čije trajanje odgovara ispitivanim vremenskim skalama. Odnos kašnjenja je meren za svaki interval zasebno.
- Kako se vremenska skala povećava, procentili odnosa kašnjenja konvergiraju ka specificiranom odnosu  $\delta=4$ .
- Dakle, BPR<sup>+</sup> obezbeđuje precizniju diferencijaciju kašnjenja na dužim vremenskim skalama, tj. pruža željeni odnos *prosečnih* kašnjenja.





# Zaključci

---

- Rezultati simulacija ukazuju da je BPR<sup>+</sup> u stanju da obezbedi proporcionalnu diferencijaciju kašnjenja između različitih klasa mrežnog saobraćaja.
- Performanse BPR<sup>+</sup>-a u izvesnoj meri zavise od intenziteta ponuđenog saobraćaja i vremenske skale na kojoj se posmatra odnos kašnjenja.
- BPR<sup>+</sup> je efikasniji u slučajevima intenzivnijeg saobraćaja i dužeg intervala posmatranja.
- Jedan od načina da se poboljšaju performanse BPR<sup>+</sup> raspoređivača je dalja optimizacija algoritma za paketizaciju fluidnog servera.
- Poboljšanje koje je ostvareno zahvaljujući korišćenju vremena čekanja individualnih paketa u baferu pri odabiru paketa za servisiranje potrebno je verifikovati poređenjem sa postojećim raspoređivačima za proporcijalnu diferencijaciju kašnjenja.



# Reference

---

- [1] C. Dovrolis, D. Stiliadis, and P. Ramanathan, "Proportional differentiated services: delay differentiation and packet scheduling," in *Proceedings of ACM SIGCOMM 1999*, Cambridge MA, September 1999, pp. 109-120.
- [2] C. Dovrolis, D. Stiliadis, and P. Ramanathan, "Proportional differentiated services: delay differentiation and packet scheduling," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 10, no. 1, pp. 12-26, February 2002.
- [3] Y. Moret and S. Fdida, "A proportional queue control mechanism to provide differentiated services," in *Proceedings of International Symposium on Computer and Information Systems (ISCIS 1998)*, Belek, Turkey, October 1998, pp. 17-24.
- [4] S. Bodamer, "A new scheduling mechanism to provide relative differentiation for real-time IP traffic," in *Proceedings of IEEE GLOBECOM 2000*, San Francisco, CA, December 2000, pp. 646-650.
- [5] C. C. Li, S.-L. Tsao, M. C. Chen, Y. Sun, and Y.-M. Huang, "Proportional delay differentiation service based on weighted fair queueing," in *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN 2000)*, October 2000, pp. 418-423.





# Reference

---

- [6] J.-S. Li and H.-C. Lai, "Providing proportional differentiated services using PLQ," in *Proceedings of IEEE GLOBECOM 2001*, San Antonio, TX, November 2001, pp. 2280-2284.
- [7] Y-C. Lai and W-H. Li, "A novel scheduler for proportional delay differentiation by considering packet transmission time," *IEEE Communications Letters*, vol. 7, no. 4, pp. 189-191, April 2003.
- [8] H. Saito, C. Lukovzski, and I. Moldovan, "Local optimal proportional differentiated services scheduler for relative differentiated services," in *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN 2000)*, October 2000, pp. 544-550
- [9] H-T. Ngin and C-K. Tham, "Achieving proportional delay differentiation efficiently," in *Proceedings of IEEE International Conference on Networks (ICON 2002)*, Singapore, August 2002, pp. 169-174.
- [10] The Network Simulator - ns-2: <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns>.

