

Kvalitet servisa

Quality of Service - QoS

Predavač:

dr Slavko Gajin
dr Pavle Vuletić

Autori:

prof. dr Zoran Jovanović
dr Pavle Vuletić
dr Slavko Gajin

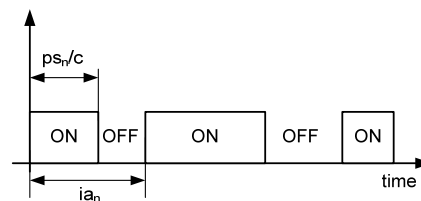


ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

1

Priroda saobraćaja u računarskim mrežama

- U jednom trenutku na medijumu ili ima ili nema paketa – ON/OFF model
- Kada se paket emituje on putuje maksimalnom brzinom po medijumu (line rate) – maksimalni kapacitet medijuma C (capacity)
- Protok (throughput) predstavlja broj bita u jedinici vremena i određuje se kao prosečna vrednost u nekom vremenskom intervalu.



ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

2

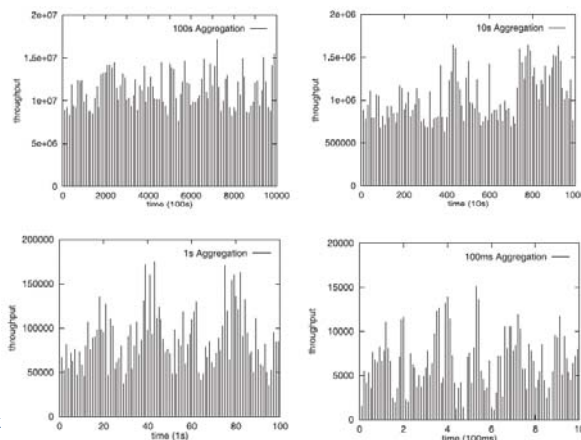
Statističke osobine saobraćaja u RM

- Količina saobraćaja, veličine paketa (ps) i vremena između dolazaka paketa (ia) poseduju dugu vremensku zavisnost (LRD) => Klasična teorija redova čekanja je neupotrebljiva
- Posledica LRD je to da je saobraćaj vrlo varijabilan sa dužim ekskurzijama ka velikim ili malim vrednostima (bursty). Takođe, sa višim stepenom agregacije zadržava varijabilnost
- Saobraćaj se najčešće modeluje kao sebi-sličan (self-similar)



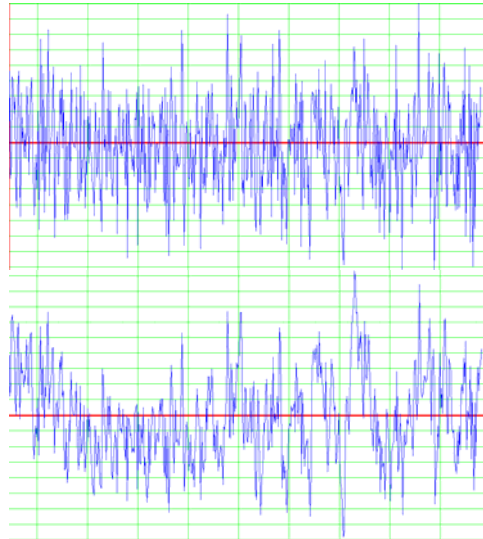
Self-similarity

- Saobraćaj je statistički sebi-sličan (distribucije verovatnoće) na različitim nivoima agregacije



fGn

- $H=0.5$ – iid
- $H=0.95$ – LRD, SSSI



ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

5

Koristan propusni opseg

- Odnos kapaciteta linka i korisnih informacija
- Primer:
 - 802.3 – Preambula+SFD+adrese+Type+CRC = 26 bajta (interframe spacing – 12 bajta)
 - IPv4 zaglavlje – 20 bajta
 - TCP zaglavlje – 20 bajta
 - Ukupno – 78 bajta
- Ako je MTU 1500 bajta, a brzina linka 2048Kbps – aplikacija može da pošalje maksimalno oko 1941Kbps – oko 5% saobraćaja je izgubljeno u kontrolnim porukama



ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

6

Šta je QoS?

- QoS skup mehanizama koji omogućavaju računarskim mrežama da pružaju bolji servis (uslugu) za izabrani mrežni saobraćaj preko različitih osnovnih tehnologija uključujući Frame Relay, ATM, Ethernet i 802.3 mreže, SONET i IP-rutirane mreže.
- QoS osobine pružaju poboljšane i predvidive mrežne servise:
 - Rezervisani propusni opseg (brzina prenosa, *bandwidth*)
 - Minimiziranje gubitka paketa
 - Oblikovanja saobraćaja
 - Prioritiziranja saobraćaja
 - Upravljanja i izbegavanja zagušenja
- **Osnovne karakteristike** kojima se definiše kvalitet prenosa su:
 - Gubljenje paketa
 - Kašnjenje (u isporuci)
 - Varijacije kašnjenja - *jitter*



Gubitak paketa

- Gubitak paketa je na procenat paketa koji ne stiže do odredišta
- Gubitak paketa potiče od grešaka u mreži, oštećenih paketa i naročito od **zagušenih mreža**.
- Mnogi paketi koji se gube u optimizovanim mrežama se **namerno** uklanjaju od strane mrežnih uređaja, da bi se sprečila zagušenja.
- Za mnoge TCP/IP bazirane saobraćajne tokove (TCP na trećem sloju, a IP na drugom), kao što su servisi vezani za udaljeno štampanje i udaljeni pristup datotekama, insistiranje na malom procentu gubitaka paketa nema smisla, jer će TCP/IP mehanizam retransmisije obezbediti stizanje paketa kad-tad.
- Međutim, za UDP saobraćaj koji se koristi kod real-time aplikacija kao što je prenos slike i govora, retransmisija nije ostvarljiva i gubici se teže tolerišu.
- Kao orijentaciono pravilo, mreža sa visokom raspoloživošću treba da ima manje od jednog procenta gubitaka i za prenos govora, gubici treba da su veoma bliski 0 procenata.



Kašnjenje

- Kašnjenje se definiše kao vreme koje je potrebno paketu da putuje od izvorišta do odredišta.
Sastoji se iz:
 - **Fiksnog kašnjenja** - uključuje komponente kao što su serijalizacija, kodovanje i dekodovanje i propagaciona kašnjenja.
 - **Promenljivog kašnjenja** - najčešće posledica zagušenja i uključuje pre svega vreme koje paketi provode u mrežnim baferima (prihvatnicima) dok čekaju na pristup prenosnom mediju.
- Generalno, kašnjenje kod bidirekcionih - dvosmernih saobraćajnih tokova pravi mnogo veće probleme, jer se u primeni kašnjenja u svakom od smerova efektivno sabiraju.
Primeri:
 - telnet sesije (pristup udaljenom hostu) gde se kašnjenje za korisnika iskazuje kao sporo prihvatanje unetih slova
 - govorni saobraćaj - ukupno kašnjenje otežava normalnu konverzaciju, bez istovremenog pričanja sagovornika.
Pravilo projektovanja za govorni saobraćaj je da totalno vreme potrebno paketu da se prenese kroz mrežu mora da bude manje od 150ms. (ITU G.114 preporuke kažu da ta kašnjenja treba da su unutar granica od 150 ms za žične - zemaljske komunikacione linije i unutar 250-300 ms za satelitske komunikacije.)



Jitter

- Jitter - varijacije kašnjenja, odnosno razlike u vremenima kašnjenja paketa u istom toku
- **jitter bafer** - za poravnavanje vremena pristizanja. Postoje trenutni i totalni limiti u pogledu mogućnosti baferisanja.
- Bilo koji tip baferisanja uveden sa ciljem smanjenja jitter-a direktno povećava ukupno kašnjenje u mreži.
- Opšte je pravilo da saobraćaj koji traži malo kašnjenje takođe zahteva i minimalne varijacije u kašnjenju.
- Pravilo za interaktivni govorni saobraćaj – **jitter treba da bude manji od 30 ms.**
- Veliki jitter kod prenosa slike (video streaming) izaziva iskidane pokrete, gubitak kvaliteta slike ili čak gubitak video slike.

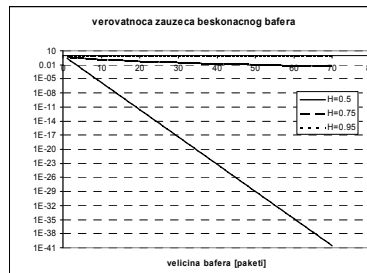
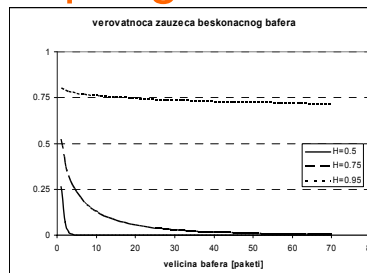


Gde je propusni opseg?

- Deluje kao iznenađenje da propusni opseg nije nabrojan kao element QoS.
- Neodgovarajući propusni opseg izaziva povećanje kašnjenja paketa, jer paketi provode više vremena u redovima čekanja (baferima) mrežnih uređaja.
- U jako zagušenim mrežama neodgovarajući propusni opseg dovodi do gubitka paketa jer se redovi čekanja (baferi) prepune.
- Nemoguće je ispuniti QoS zahteve ako LAN i WAN komunikacioni kanali imaju nedovoljnu propusnost.
- Dodavanje propusnosti poznato kao *over-provisioning* (predimenzioniranje mreže), neće uvek rešiti problem QoS.
- Verovatnoća zagušenja predimenzionirane mreže je mala.
- Ako postane zagušena, predimenzionirana mreža može da se ponaša lošije od mreže sa manjom propusnošću koja koristi napredne QoS osobine.



ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku



11

QoS zahtevi za aplikacije

- Različite aplikacije, protokoli i tipovi saobraćaja imaju različite QoS zahteve u pogledu količine gubitaka, kašnjenja i jittera koji se mogu tolerisati.
- Prepoznavanje ovih razlika je ključni element u projektovanju i konfigurisanju mreže koja isporučuje odgovarajući QoS.
- Nije neophodno da se radi predimenzionisanje propusnosti, jer deo saobraćaja može da toleriše niže nivoe QoS.
- Primer prioritiranja saobraćaja u nekoliko klasa servisa:
 - **Gold (Mission-Critical)** – npr. Transakcioni i poslovni softver
 - **Silver (Guaranteed-Bandwidth)** – Streaming video, poruke and intraneti (VPN)
 - **Bronze (Best-Effort i Default klasa)** – Internet pretraživanje, e-mail
 - **Less-than-Best-Effort (Opciono; dozvoljeni veći gubitci)** – FTP, back-up i aplikacije (p2p)

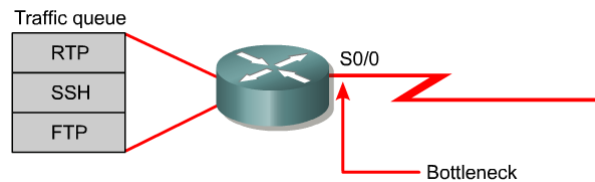


ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

12

Saobraćajni tokovi koji konkurišu

- Primer: zbog ograničene propusnosti tri tipa saobraćaja se nadmeću za pristup do WAN. Ova tri tipa saobraćaja uključuju sledeće:
 - **RTP (Real-Time Transport Protocol)** – koristi se za prenos saobraćaja multimedijalnih aplikacija, uključujući paketski audio i video, preko IP mreže.
 - **SSH (Secure Shell)** – aplikacija koja omogućava udaljeni pristup uređaju preko sigurne sesije - prijavljivanje (logging) na uređaj, izvršavanje komandi i premeštanje datoteka između udaljenih uređaja.
 - **FTP (File Transfer Protocol)** – standardan TCP/IP protokol za prenos datoteka između uređaja.



QoS zahtevi za govor

- Gubici izazivaju seckanja i preskakanja govora.
- Standardni kodek algoritmi mogu da koriguju do 30 ms izgubljenih paketa govora.
- Voice over IP (VoIP) tehnologije koristi odbirke u periodu od 20 ms govora kao podatke unutar VoIP paketa.
- Samo jedan Real Time Transport (RTP) paket sme da bude izgubljen u prozoru rada kodeka.
- Ako se dva sukcesivna paketa izgube, prozor od 30 ms za korekcije se prevazilazi i kvalitet govora se degradira.
- Kašnjenje izaziva degradaciju kvaliteta, ako je kašnjenje iznad 200 ms.
- Ako kašnjenje govora sa kraja na kraju postaje suviše veliko, konverzacija izgleda kao razgovor preko satelitskog linka.
- ITU standard za VoIP, G.114, definiše da je 150 ms kašnjenja na jednu stranu u budžetu je prihvatljivo za visok kvalitet govora.
- U odnosu na varijacije kašnjenja, unutar IP telefonskih uređaja postoje adaptivni jitter baferi.
- Ovi baferi obično kompenzuju od 20 do 50 ms jitter-a.

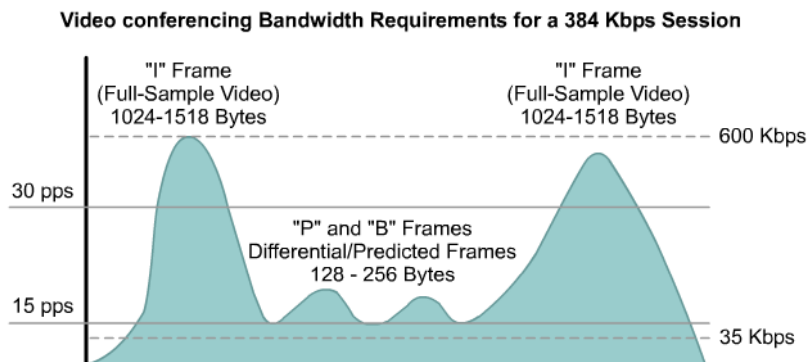


QoS zahtevi za video

- Streaming video aplikacije imaju relaksirane QoS zahteve, jer su oni neosetljivi na kašnjenje.
- Video može da dozvoli nekoliko sekundi za pamćenje u baferima i zbog toga je krajnje neosetljivo zbog bufferinga unutar aplikacija.
- Distribucija video datoteka je veoma slična FTP saobraćaju, ali mogu da imaju ključni uticaj na performanse mreže, jer su datoteke ogromne (reda gigabajta).
- Kao primer, prenos video datoteka se može ograničiti deo dana u kojima je mreža manje opterećena ili se može tretirati kao "less-than-best-effort" saobraćaj.
- Kada se razmatraju QoS potrebe za video konferencije, osnovni zahtevi su veoma slični zahtevima za govor (dvostrana komunikacija).
- Gubici ne bi trebalo da budu veći od 1%, kašnjenje na jednu stranu ne bi trebalo da bude više od 150-200 ms i srednji jitter ne bi smeo da bude veći od 30 ms.
- Zbog naglih promena saobraćaja, minimalni garantovani propusni opseg treba da bude za 20% veći od nominalnog za video konferenciju. To znači da 384 Kbps video konferencija zahteva 460 Kbps garantovanog prioritarnog propusnog opsega.



Tipičan video signal



QoS modeli

- Postoje tri modela (arhitekture):
 - Best-effort
 - Integrated services - IntServ
 - Differentiated services - DiffServ
- Izabrani QoS model mora da bude usaglašen sa QoS zahtevima koje mreža podržava i integracijom raznovrsnih mrežnih aplikacija.



Best effort servis

- Best-effort (“najbolji pokušaj”) je model servisa kod koga aplikacija šalje podatke kad god je potrebno, u bilo kojoj količini, bez prethodne najave ili traženja dozvole.
- Za best-effort servis, mreža isporučuje pakete ako može, bez ikakvih garancija u pogledu pouzdanosti, granica kašnjenja ili propusnosti.
- FIFO je osnovni (*default*) metod za redove čekanja za LAN i WAN interfejse na svičevima i ruterima.
- FIFO redovi u mreži implementiraju best-effort servis.
- Best-effort servis je odgovarajući za širok dijapazon mrežnih aplikacija kao što su generalno prenosi datoteka, e-mail i Web pretraživanje.



Integrated services: IntServ

- Kod ovog modela aplikacija unapred zahteva specifičnu vrstu servisa od mreže pre slanja podataka.
- Zahtev se ostvaruje odgovarajućom eksplicitnom signalizacijom.
- Aplikacija obaveštava mrežu o svom profilu saobraćaja i zahteva posebnu vrstu servisa koja obuhvata zahteve u pogledu propusnosti i kašnjenja.
- Očekuje se da aplikacija šalje podatke tek pošto dobije potvrdu od mreže. Takođe se očekuje da se šalju podaci koji ulaze u okvire opisane u profilu saobraćaja.



Integrated services: IntServ

- Mreža obavlja kontrolu pristupa, baziranu na informacijama iz aplikacije i raspoloživim mrežnim resursima.
- Takođe se posvećuje ispunjenju QoS zahteva aplikacije, sve dok se poštuje specifikacija profila saobraćaja.
- Mreža ispunjava obaveze održavanjem stanja po tokovima (*per-flow*) i sprovođenjem klasifikacije paketa, politike i inteligentnog upravljanja redovima, na osnovu tog stanja.
- IntServ model dopušta aplikacijama da koriste IETF **Resource Reservation Protocol (RSVP)**, koji se može koristiti od strane aplikacija da ruterima signaliziraju svoje zahteve za QoS.



RSVP servisi

- Protokol signalizacije između aplikacija krajnjih računara i rutera na putu između njih
- Unapred se rezervišu resursi i QoS parametri
- Implementacija:
 - RSVP sender šalje RSVP PATH poruku ka udaljenom računaru, gde specificira:
 - zahtevani propusni opseg i veličinu burst saobraćaja
 - Ruteri na putu primaju poruku, prepoznaju RSVP zahtev (ako podržavaju), postavljaju svoju IP adresu za source i šalju poruku dalje
 - RSVP reciever prima poruku, inicira rezervaciju tako što generiše RSVP RESV poruku i šalje je nazad
 - Ruteri na putu primaju RSVP RESV poruku i tek tada rezervišu resurse prema zahtevima
 - Održavanje sesije – periodično slanje RSVP PATH i RSVP RESV poruka
 - U slučaju greške generiše se RSVP ERROR poruka od strane krajnjih učesnika ili rutera (npr. ruter ne može da obezbedi servis)



RSVP servisi

- Dva tipa servisa :
 - **Guaranteed Rate Service** (RFC 2212) – rezerviše se eksplicitni propusni opseg, koji će se uvek ispoštovati nezavisno od opterećenja mreže.
 - **Controlled Load Service** (RFC 2211) – Teži se malom kašnjenju i velikom propusnom opsegu, ali se to ne garantuje uvek. Na ruterima se automatski postavljaju QoS parametre koji treba obezbede servis koji je približan zahtevanoj specifikaciji
- Mane:
 - skalabilnost
 - implementacija i konfigurisanje na svim ruterima
 - održavanje stanja sesija na svim ruterima
 - mora se obezbediti simetričan saobraćaj (rezervacija se vrši u obrnutom smeru po istom putu)
- Prednosti:
 - jedini primenljivi mehanizam koji garantuje servis za pojedinačne krajnje aplikacije na "čistoj" IP mreži (end-to-end per-flow)



Differentiated services: DiffServ

- Diferencirani servisi ili Differentiated Services ili DiffServ arhitektura je noviji standard koji je proizašao iz IETF (Internet Engineering task force).
- Obrnuta logika od IntServ arhitekture: svaki ruter nezavisno sprovodi DiffServ servise na bazi pojedinačnih IP paketa
- Za razliku od IntServ modela, DiffServ ne zahteva da mrežne aplikacije budu svesne QoS, osim polazne klasifikacije.



DiffServ tehnike

- Osnovne QoS tehnike nad paketima:
 - Klasifikacija i obeležavanje (*markiranje*)
 - Ograničavanje i poravnanje (*policing and shaping*)
 - Kontrola zagušenja (*congestion management*)
 - Izbegavanje zagušenja (*congestion avoidance*)
 - Specifične tehnike na linku (*link specific tools*)



Klasifikacija saobraćaja

- Cilj je da se saobraćaj razvrsta na više klasa (tipova) koji će imati različite QoS tretmane
- Inspekcija paketa po različitim kriterijumima:
 - Layer 1 – interfejs, PVC
 - Layer 2 – MAC, 802.1Q/p, CoS, VLAN, MPLS/FR/ATM zaglavlja
 - Layer 3 –
 - IP adrese izvorišta i odredišta
 - **IP precedence (ToS polje)**
 - **Differential Services Code Point (DSCP)**
 - Layer 4 – TCP ili UDP portovi
 - Layer 7 – specifični aplikativni podaci (npr. **NBAR – Network-based Application Recognition**)
- Tipično korišćenje
 - Paketi se klasifikuju jednom i to na ulasku u mrežu (administrativni domen – npr. mreža ISP)
 - Klasifikovani paketi se obeležavaju (markiraju)
 - Ostali ruteri u mreži kasnije koriste obeležene pakete da bi odlučili koji QoS tretman da im dodeli (npr. veći ili manji prioritet)



Klasifikacija saobraćaja

4 Class Model	8 Class Model	QoS Baseline Model
Real-Time	Voice	Voice
Critical Data	Video	Interactive Video
	Call-Signaling	Streaming Video
Best-Effort	Network Control	Call-Signaling
	Critical Data	IP Routing
Scavenger	Bulk Data	Network Management
	Best-Effort	Mission-Critical Data
	Scavenger	Transactional Data
		Bulk Data
		Best-Effort
		Scavenger



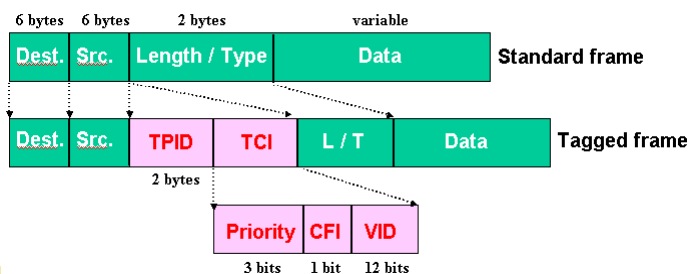
Obeležavanje saobraćaja

- Posebna polja u zaglavlju L2 i L3 paketa
- Layer 2
 - Ethernet, Frame Relay, ATM
- Layer 3
 - IP precedence (ToS polje) – starija implementacija
 - Differential Services Code Point (DSCP) – novija implementacija



Obeležavanje na L2 nivou

- Ethernet paket (okvir - *frame*)
 - standardni – nema QoS polja
 - tagovani (Tagged)
 - dodatno CoS polje – Class of Service
 - Priority – 3 bita, osam klasa



Obeležavanje kod pristupa - CoS

- Najbolje je klasifikovati saobraćaj što ranije, a idealno je da se to uradi na granici mreže ili pristupnom sloju
- CoS bite može postaviti:
 - krajnji uređaj (npr. PC ili IP telefon)
 - svič
- Dilema: da li da svič veruje uređaju ili ne?
 - Ako se ne veruje:
 - ako nije definisan QoS na sviču – postavlja se vrednost '0'
 - ako je definisan QoS na sviču – postavlja se definisana vrednost
 - Ako se veruje
 - zadržavaju se CoS biti ako su setovani



Obeležavanje na L3 nivou

- IP zaglavlje

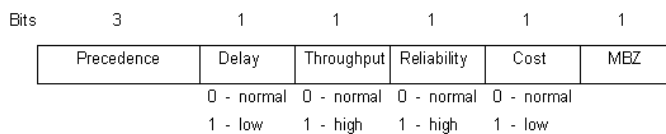
Internet Protocol	0	3	4	7	8	11	12	15	16	19	20	23	24	27	28	31	
1 Version	IHL		Type of Service/DSCP/ECN						Total Length								
2 Identification	Protocol						Flags			Fragment Offset							
3 Time to Live	Header checksum																
4 Source address																	
5 Destination address																	
6 Options													Padding				



ToS – Type of Service

- Prvobitno IP zaglavlje ToS polje
- Prva 3 bita – **IP precedence**
- Ostali biti
 - neiskorišćeni ili
 - Kašnjenje (Delay)
 - Propusni opseg (Throughput)
 - Pozdanost (Reliability)
 - Cena (Cost)

Dec	Bin	Naziv	Namena
0	000	Routine	Best-effort
1	001	Priority	Aplikativni podaci srednjeg prioritata
2	010	Immediate	Aplikativni podaci visokog prioritata
3	011	Flash	Preporučeno za signalizaciju poziva
4	100	Flash Override	Preporučeno za video
5	101	Critical	Preporučeno za voice
6	110	Internetwork Control	Rezervisano za kontrolu mreže
7	111	Network Control	Rezervisano za kontrolu mreže

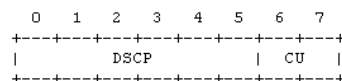


ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

31

DSCP – Differential Services Code Point

- RFC 2474 – DiffServ ekstenzija – novo tretiranje ToS polja u IP zaglavlju
- Motiv - povećanje potrebe za različitim klasama saobraćaja
- koriste se **6 bita** za QoS markiranje (ukupno 64 klase)



DSCP: differentiated services codepoint
CU: currently unused



ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

32

DSCP– Differential Services Code Point

- PHB – *Per-Hop Behavior*
 - preporučene vrednosti DSCP polja za različite namene, koje definišu nivo QoS servisa u DiffServ modelu koji se dodeljuje u svakom ruteru
- Klase:
 - Best-Effort – **BE**
 - dec 0, bin 0
 - Expedited Forwarding – **EF**
 - dec 46, bin 101110
 - Assured Forwarding – **AF_{xy}**
 - x=0..7, y=1..3
 - Class Selector – **CS_x**
 - nasleđuje IP precedence
 - x=0..7
- Ostale vrednosti DSCP polja su slobodne za korišćenje



DSCP– Assured Forwarding

- **AF_{xy}**
- biti 0..2
 - klasa X
 - od 1 do 4
- biti 3..4
 - prioritet unutar klase: nivo odbacivanja u slučaju zagušenja
 - low – '01'
 - mid – '10'
 - high – '11'
- bit 5

	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
Low Drop	001010 AF11 DSCP 10	010010 AF21 DSCP 18	011010 AF31 DSCP 26	100010 AF41 DSCP 34
Medium Drop	001100 AF12 DSCP 12	010100 AF22 DSCP 20	011100 AF32 DSCP 28	100100 AF42 DSCP 36
High Drop	001110 AF13 DSCP 14	010110 AF23 DSCP 22	011110 AF33 DSCP 30	100110 AF43 DSCP 38



DSCP– Class Selector

- **CSx**
- biti 0..2
 - nasleđuju IP precedence
- biti 3..5
 - uvek '000'
- *backward compatibility* sa IP precedence vrednostima

Bin	Naziv	Namena
000000	Routine	Best-effort
001000	Priority	Aplikativni podaci srednjeg prioritata
010000	Immediate	Aplikativni podaci visokog prioritata
011000	Flash	Preporučeno za signalizaciju poziva
100000	Flash Override	Preporučeno za video
101000	Critical	Preporučeno za voice
110000	Internetwork Control	Rezervisano za kontrolu mreže
111000	Network Control	Rezervisano za kontrolu mreže



Obeležavanje na L2 ili L3 nivou

- Odluka da li da se označava saobraćaj na 2. ili 3. sloju, ili na oba, nije trivijalna i mora se doneti nakon razmatranja sledećih činjenica:
- Layer 2
 - i za saobraćaj koji nije IP
 - jedina QoS opcija na raspolaganju za svičeve
- Layer 3
 - preneti QoS informacija sa kraja na kraj
 - starija IP oprema ne može da rastumači DSCP polje



Obeležavanje na L2 ili L3 nivou

- Mada CoS polje može da se iskoristi za uticaj na QoS tretman paketa, ono nema ni fleksibilnost ni sposobnost sprovođenja sa kraja na kraj IP markiranja putem prioritiranja ili DSCP.
- **Zbog prethodne činjenice, uobičajeno je da svičevi postave svoju Layer 2 CoS vrednost za saobraćaj na osnovu ulaznog porta i nakon toga ruter translira CoS vrednost u ekvivalentnu IP Precedence ili DSCP vrednost.**
- Ova vrednost Layer 3 ToS se onda koristi pri određivanju (pokušaju postizanja) QoS tokom prolaska paketa kroz mrežne uređaje na putu paketa do destinacije.



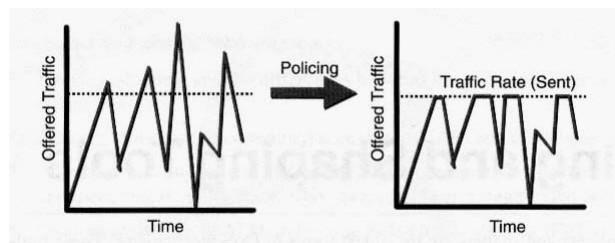
DiffServ tehnike

- Osnovne QoS tehnike nad paketima:
 - Klasifikacija i obeležavanje (*markiranje*)
 - **Ograničavanje i poravnanje** (*policing and shaping*)
 - Kontrola zagušenja (*congestion management*)
 - Izbegavanje zagušenja (*congestion avoidance*)
 - Specifične tehnike na linku (*link specific tools*)



Ograničavanje saobraćaja – *policing and shaping*

- **Policer** – mehanizam kontrole intenziteta saobraćaja u odnosu na definisani nivo (propusni opseg)
 - dozvoljeni saobraćaj - *conforming*
 - akcija: paket se propušta
 - nedozvoljeni saobraćaj - “*out of profile*” ili *nonconforming*
 - paket se odbacuje (dropuje)
 - paket se obeležava i re-obeležava i propušta (npr. dobijanje nove DSCP vrednosti sa većim prioriteto odbacivanja – DSCP AF kod)
- Pikovi se seku

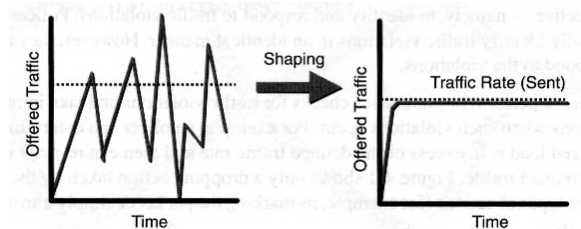


ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

39

Ograničavanje saobraćaja – *policing and shaping*

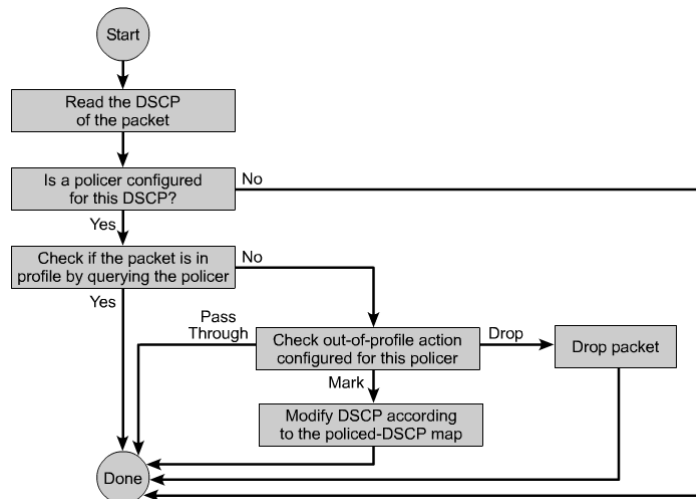
- **Shaper** – mehanizam ograničavanja i uravnavanja saobraćaja u odnosu na definisani nivo (propusni opseg)
 - dozvoljeni saobraćaj - *conforming*
 - akcija: paket se propušta
 - nedozvoljeni saobraćaj - “*out of profile*”, *nonconforming*, *violate*
 - paket se baferuje
- Pikovi se ne seku, paketi se usporavaju - “peglanje”



ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

40

Ograničavanje saobraćaja



Token bucket – “Kofa sa žetonima”

- Mehanizam merenja intenziteta saobraćaja u odnosu na zadati dozvoljeni nivo CIR
- CIR – *Committed Information Rate*, dozvoljeni intenzitet saobraćaja
 - ugovoreni (plaćeni) intenzitet saobraćaja kroz komunikacionu vezu prema ISP
 - konfigurisan u apsolutnim jedinicama (*bps*) ili procentualno od ukupnog kapaciteta veze
- *Token bucket* propušta ili detektuje pakete čija se bitska brzina uklapa u CIR



Token bucket

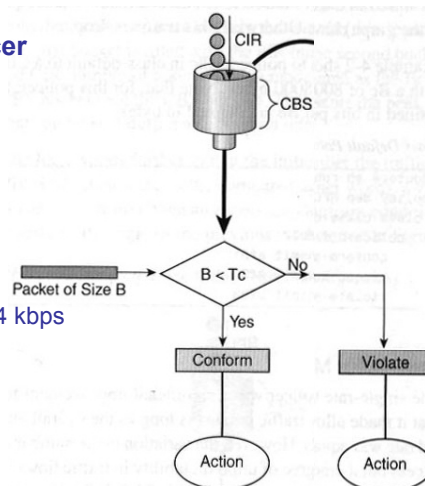
- Princip rada
 - jedan žeton odgovara jednom bitu
 - definiše se vremenski interval T_i i veličina kofe B_c , tzv. *comited bust*
 - na početku svakog intervala T_i u kofu se postavlja B_c žetona
 - prilikom prolaska svakog paketa, iz kofe se oduzima broj žetona koji odgovara veličini paketa u bita
 - veličina svakog novog paketa (B) se poredi sa trenutnim brojem žetona u kofi - T_c (*Token Count*)
 - paket je saglasan (*conform*) ako je $B < T_c$, u suprotnom je "prekobrajan" (*violet*)
- Rezultat:
 - tokom tok intervala T_i detektuje se da je prošlo B_c bita
 - $CIR = B_c / T_i$ [bit/s]
- pravilo (cisco): konfigurirše se CIR i B_c , a ne T_i



Token bucket - primer

Single-Rate Two Color Maker/Policer

- zadati parametri
 - $C = 64$ kbps (kapacitet linka)
 - $CIR = 8$ kbps
 - $B_c = 8000$ bita
- rezultatni parametri
 - $T_i = B_c / CIR = 1$ s
 - $T_t = B_c / C = 125$ ms
- problem:
 - 125 ms za prenos 8 kb brzinom 64 kbps
 - 875 ms čekanje za nove paketa
 - neprihvatljivo za VoIP saobraćaj
- rešenje - smanjiti B_c :
 - $B_c = 4000 \Rightarrow T_i = 500$ ms
prenos 62.5ms, čekanje 437.5ms
 - $B_c = 1000 \Rightarrow T_i = 125$ ms
prenos 15.6ms, čekanje 109.4ms



Token bucket jedna brzina, tri boje

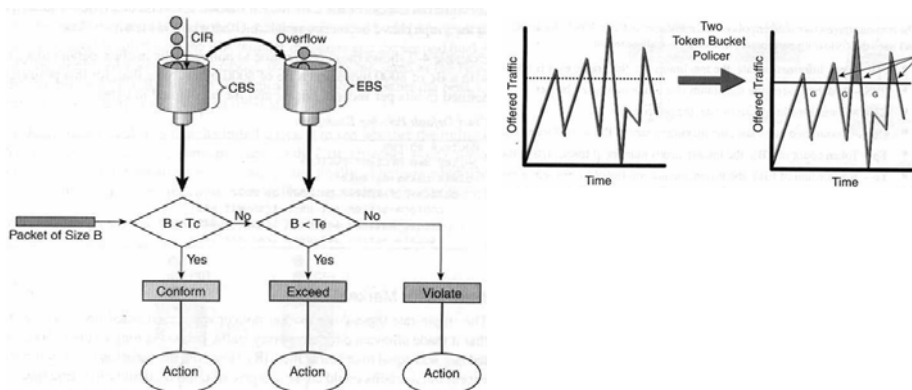
Single-Rate Three Color Maker/Policer

- CIR sa dodatnim burst parametrom za prekoračenje – B_e (exceeds burst)
- Dodatna kofa za prekoračenje (*overflow*)
- Na kraju intervala se preostali žetoni iz prve kofe ne brišu, već se premeštaju u drugu kofu - nova šansa da se pikovi saobraćaja ne odbace
- Parametri:
 - T_c – broj tokena u prvoj kofi
 - T_e – broj tokena u drugoj kofi
- Tri boje (kategorije) paketa
 - Conform - dozvoljen
 - Exceed - povećan
 - Violate – prekoračen
- Pogodno za remarkiranje po DSCP AFxy kategoriji



Token bucket - primer

Single-Rate Three Color Maker/Policer



Token bucket dve brzine, tri boje

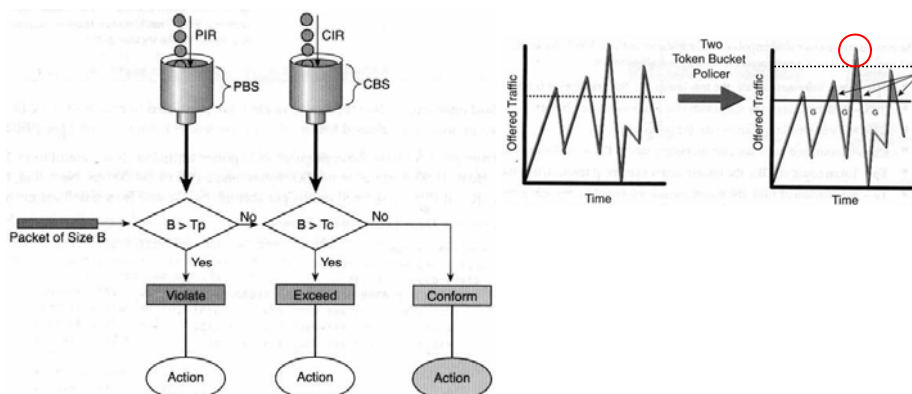
Two-Rate Three Color Maker/Policer

- CIR – *Committed Information Rate*
- **PIR – Peak Information Rate** – dodatni nivo intenziteta saobraćaja
- Parametri:
 - B_c – committed burst
 - B_e – exceeds burst
 - T_c – broj tokena u prvoj kofi
 - T_e – broj tokena u prvoj kofi
- Na kraju intervala kofe se nezavisno pune sa novim žetonima - nova šansa da se dozvoli dodani nivo saobraćaja
- Tri boje (kategorije) paketa
 - Conform - dozvoljen
 - Exceed - povećan
 - Violate - prekoračen



Token bucket dve brzine, tri boje

Two-Rate Three Color Maker/Policer



Primer preslikavanja AF klase

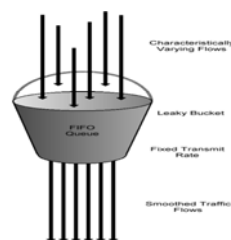
	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
Low Drop	001010 AF11 DSCP 10	010010 AF21 DSCP 18	011010 AF31 DSCP 26	100010 AF41 DSCP 34
Medium Drop	001100 AF12 DSCP 12	010100 AF22 DSCP 20	011100 AF32 DSCP 28	100100 AF42 DSCP 36
High Drop	001110 AF13 DSCP 14	010110 AF23 DSCP 22	011110 AF33 DSCP 30	100110 AF43 DSCP 38



Shaping Leaky bucket – Kofa koja curi

Leaky Bucket - Logički model shaper-a:

- Nadolazeći paketi se smještaju u kofu sa rupom na dnu.
- Kofa može da skuplja maksimalno b bajtova.
- Ako naiđe paket kada je kofa puna, paket se odbacuje.
- Paketi cure kroz rupu na dnu kofe u mrežu, ali konstantnom brzinom i time se radi izravnavanje (peglanje) saobraćajnih pikova (navala).
- Veličina kofe b je ograničena bilo raspoloživom memorijom ili kašnjenjem.



Mane shaper-a

- Ne koriste se efikasno mrežni resursi
- Brzina curenja je fiksni parametar
- Može se dogoditi da istovremeno imamo ukupno mali saobraćaj i veliki delovi mrežnih resursa su neiskorišćeni (propusnost pre svega).
- Ne dozvoljava da pojedini tokovi ostvare burst (navalu) do brzine porta, efektivno koristeći mrežne resurse u trenucima kada nema nadmetanja za resurse u mreži
- Dobra je za prilagođenje saobraćajnih tokova sa karakteristikama navala (burst-a)



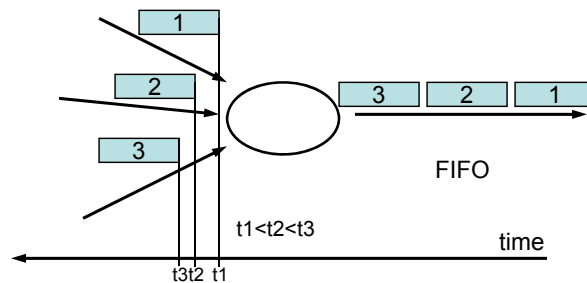
DiffServ tehnike

- Osnovne QoS tehnike nad paketima:
 - Klasifikacija i obeležavanje (*markiranje*)
 - Ograničavanje i poravnanje (*policing and shaping*)
 - **Kontrola zagušenja** (***congestion management***)
 - Izbegavanje zagušenja (*congestion avoidance*)
 - Specifične tehnike na linku (*link specific tools*)



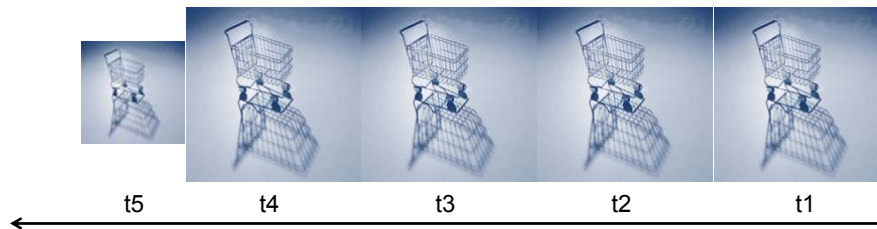
Kontrola zagušenja Redovi čekanja - *queuing*

- *Queuing* je proces koji određuje redosled postavljanja paketa u redove čekanja
- Tipično se radi na izlazni interfejsima
- First-in first-out (FIFO) - klasični algoritam za prenos paketa u redosledu u kojem paketi pristaju
- Prvobitno je FIFO queuing je bila osnovna tehnika redova čekanja za sve ruterske interfejse



Primer - kupci koji čekaju na kasu

- Prodavnica sa jednom kasom:
 - Peta kolica imaju dva artikla, a ostali desetine

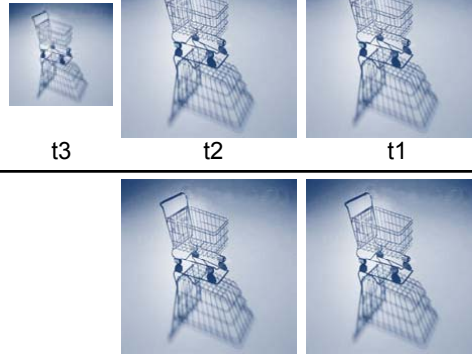


- Totalno vreme opsluživanja petih kolica = $t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$



Primer: dve ravnopravne kase

- Više kasa (veća propusnost):



- Totalno vreme opsluživanja petih kolica = $t_1 + t_2 + t_3$

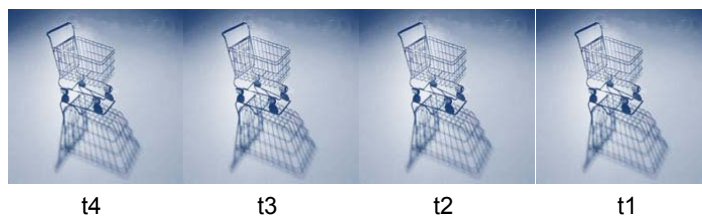


ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

55

Primer: "brza" kase

- queuing politika – posebna kasa za manje od 5 artikala



- Totalno vreme opsluživanja petih kolica = t_5



ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

56

Scheduling – opsluživnje redova čekanja

- Round Robin (RR) –
kružno opsluživanje više redova čekanja
 - Paketi se klasifikuju u n redova čekanja
 - Redovi se servisiraju ciklički po istom redosledu: $1, 2, \dots, n, 1, 2, \dots$
- Problemi
 - Obrada na nivou paketa, a brzina obrade je srazmerna veličini paketa: mali paketi su zapostavljeni (više čekaju). Logika treba da bude obrnuta – mali paketi treba da imaju prioritet (VoIP)
 - Ne mogu se ponuditi garancije u pogledu propusnosti



Priority queuing (PQ)

- Algoritam
 - Paketi se šalju do n redova, svaki sa prioritetom od $1, 2, \dots, n$
 - Paketi u redu sa višim prioritetom se opslužuju prvi
 - Paket u redu m se opslužuju samo ako su redovi $1, 2, \dots, m-1$ prazni
- Ostvareno
 - Redovi sa višim prioritetom imaju veću propusnost i manje kašnjenje
- Problemi
 - Redovi sa niskim prioritetom su zanemareni i mogu da imaju veliko kašnjenje i jitter (*starvation*)
- Kako ravnopravno opsluživati redove?



Ravnopravno opsluživanje proizvoljnih resursa

- “*Max-Min Fair-Share*” – algoritam ravnopravne podele proizvoljnih resursa
- Pravila:
 - opsluživanje od nižih ka višim zahtevima
 - ne dobija se više resursa nego što se zahteva
 - zahtevi koji ne mogu u celini da se zadovolje, ravnomerno dele neiskorišćene resurse



Ravnopravno opsluživanje proizvoljnih resursa

- “*Max-Min Fair-Share*” – primer
 - kapacitet resursa 14
 - zahtevi: 2, 2, 3, 5 i 6
- Ukupno zahtevan kapacitet: 16 - nedovoljno
- Raspodela:
 - 2, 2, 3, 3.5 i 3.5
 - prva tri zahteva ispoštovana
 - poslednja dva zahteva dele preostali kapacitet $(14 - (2+2+3)) / 2 = 3.5$
- Ovo je algoritam opšte raspodele resursa
- Kako ravnopravno rasporediti više redova čekanja sa porukama različitih dužina ?



Ravnopravno opsluživanje (GPS)

- “*Generalized Processor Sharing*” – GPS idealan logički model:
 - tokovi se smeštaju u logičke redove čekanja
 - ne-prazni redovi čekanja ravnomerno se opslužuju po RR principu, tako što se iz svakog reda servisira (uzima) “beskonačno mala” količina podataka (bit)
- svaki ne-prazan red čekanja se opslužuje istom bitskom brzinom (protok)
 - pravično u pogledu protoka



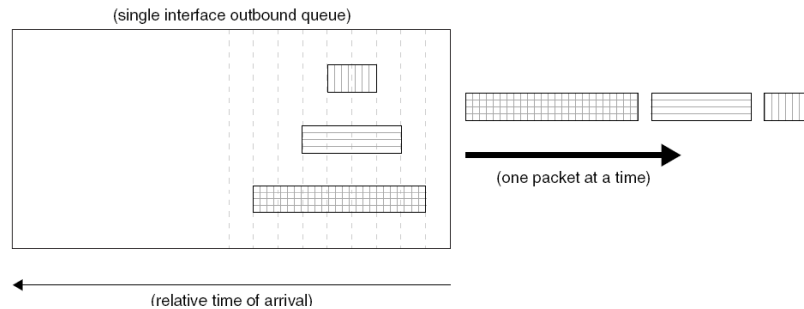
Fair Queuing (FQ)

- Fair Queuing (FQ) simulira GPS na logičkoj jedinici opsluživanja od jednog bajta (u realnosti se prenose celi paketi)
- Flow-Based FQ
 - tok (*flow*) – sukcesivni niz paketa iste TCP/UDP konekcije (src/dst IP adresa i port)
 - svaki tok se smešta u nezavisne logičke redove čekanja
 - realizacija logičkih redova čekanja – heš tabela, sa indeksima do podataka src/dst IP adresa, broj protokola, TCP/UDP port i 5 bita ToS polja (bez 3 IPP bita)



Fair Queuing (FQ)

- Algoritam FQ
 - kratki paketi koji su počeli stizati posle dugačkih mogu biti obrađeni prvi, ako su kompletno stigli pre dugačkog paketa



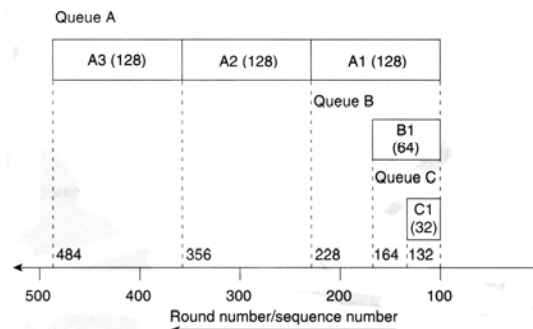
Fair Queuing (FQ)

- Algoritam:
 - paketi se smeštaju u logičke redove čekanja
 - *round number* (RN) – broj sprovedenih RR krugova bajt-po-bajt
 - *sequence number* (SN) – broj pridružen paketu pri dolasku u red
 - prazan logički red: $SN(n) = RN + size(n)$
 - zauzet logički red: $SN(n) = SN(n-1) + size(n)$
 - paketi se opslužuju u rastućem redosledu SN
 - logički model:
 - RN kontinualno raste, pa paketi se opslužuju kada RN dostigne SN
 - praktična realizacija:
 - paketi se sortiraju u rastućem redosledu SN, a RN sekvencijalno uzima ove vrednosti pri opsluživanju paketa



Primer FQ

- RN = 100, pristižu paketi: A1, A2, A3, B1, C1
 - size(A)=128B, size(B)=64B, size(C)=32B

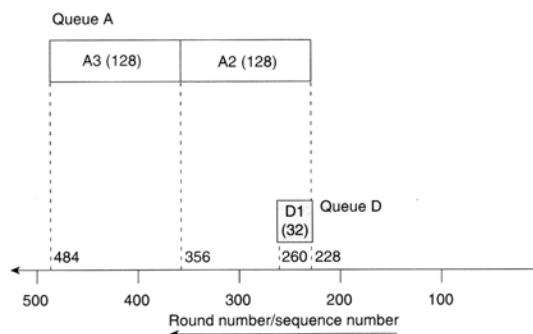


- Redosled opsluživanja: C1, B1, A1, A2, A3



Primer FQ

- Nakon opsluživanja A1, RN = 228 pristiže pakete: D1 (32B), size(D)=32B



- Redosled daljeg opsluživanja: D1, A2, A3



Weighted Fair Queuing (WFQ)

- *Flow-Based Fair Queuing*
- nisu svi tokovi jednako važni - *IP precedence (IPP)*
- za svaki logički red koji odgovara jednom toku, definiše se težinski faktor – *weight*:

$$\text{weight} = M / (1+IPP)$$

– **M** - multiplikator

- M = 4096 - cisco - ranije verzije IOS-a, do 12.0(5)T
- M = 32768 - cisco - IOS verzija 12.0(5)T i novije

IP precedence	Weight	
	Before 12.0(5)T	After 12.0(5)T
0	4,096	32,768
1	2,048	16,384
2	1,365	10,923
3	1,024	8,192
4	819	6,554
5	683	5,461
6	585	4,681
7	512	4,096

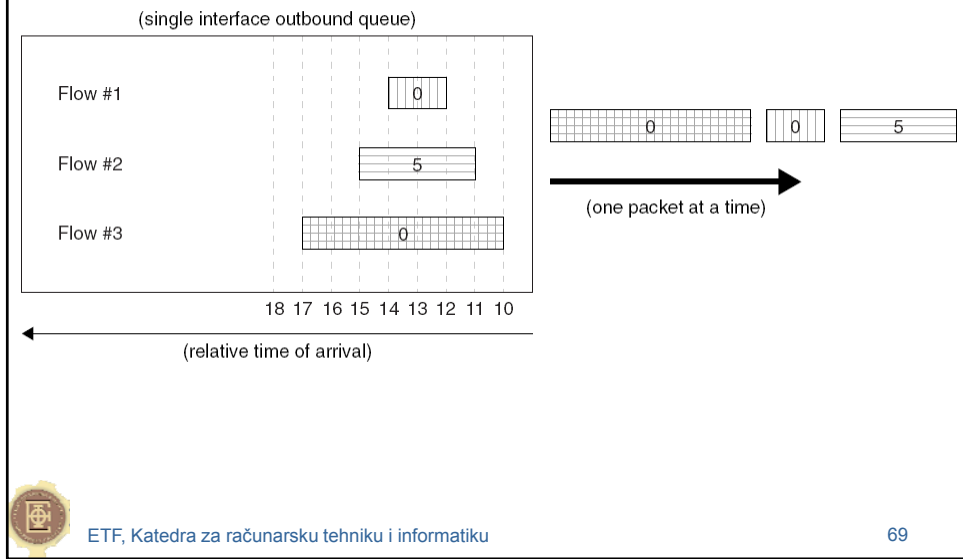


Weighted Fair Queuing (WFQ)

- modifikacija računanja SN
veličina paketa se množi sa težinom:
 - prazan logički red: $SN(n) = RN + \text{size}(n) * \text{weight}(n)$
 - zauzet logički red: $SN(n) = SN(n-1) + \text{size}(n) * \text{weight}(n)$
- efekti:
 - smanjuje se SN za pakete većeg prioriteta – pre će biti opsluženi
 - prioritetniji paketi su “sabijeni” (1+IPP) puta – u ekvivalentnoj jedinici vremena (*round number* ciklus) prenese se više bajtova
 - za (1+IPP) puta je veći propusni opseg !
 - IPP i broj tokova određuje procenat propusnog opsega:
svaki tok alokira deo ukupnog propusnog opsega koji odgovara odnosu vrednosti (IPP+1) i sume vrednosti (IPP+1) svih tokova

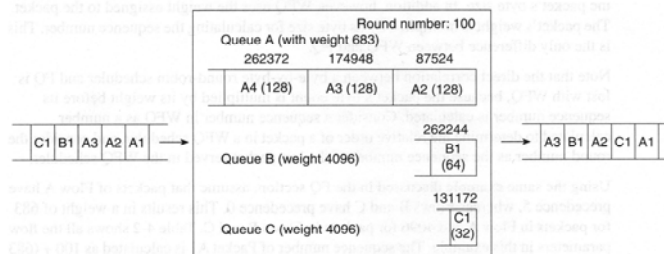


WFQ - Primer



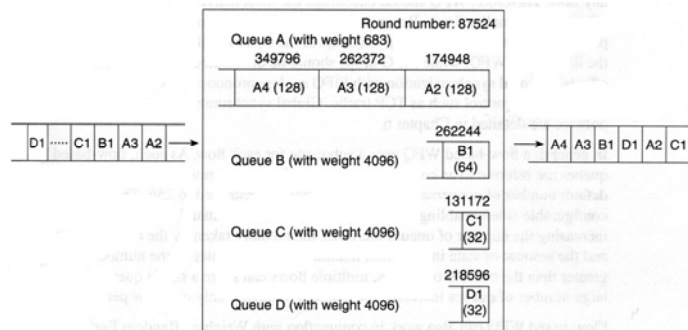
Primer WFQ

Queue	Packet size	IPP	Weight = 4096/(IPP+1)	SN = RN+size*weight
A	128	5	683	87524 = 100+128*683
B	64	0	4096	262244 = 100+64*4096
C	32	0	4096	131172 = 100+32*4096



Primer WFQ

Queue	Packet size	IPP	Weight $4096/(IPP+1)$
A	128	5	683
B	64	0	4096
C	32	0	4096



Weighted Fair Queuing (WFQ)

- Primer 1:
 - 8 tokova sa različitim IPP - 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
 - $IPP(0) : 1 / (1+2+3+4+5+6+7+8) = 1/36$ propusnog opsega
 - $IPP(7) : 8 / (1+2+3+4+5+6+7+8) = 8/36$ propusnog opsega
- Primer 2:
 - 25 tokova, 18 sa IPP 1 i 7 sa preostalim vrednostima IPP
 - $IPP(0) : 1 / (1+18*2+3+4+5+6+7+8) = 1/70$ propusnog opsega
 - $IPP(1) : 2 / (1+18*2+3+4+5+6+7+8) = 2/70$ propusnog opsega
 - $IPP(7) : 8 / (1+18*2+3+4+5+6+7+8) = 8/70$ propusnog opsega
- Zaključak:
 - propusni opseg se može izračunati, ali nije garantovan, već zavisi od i ostalih tokova



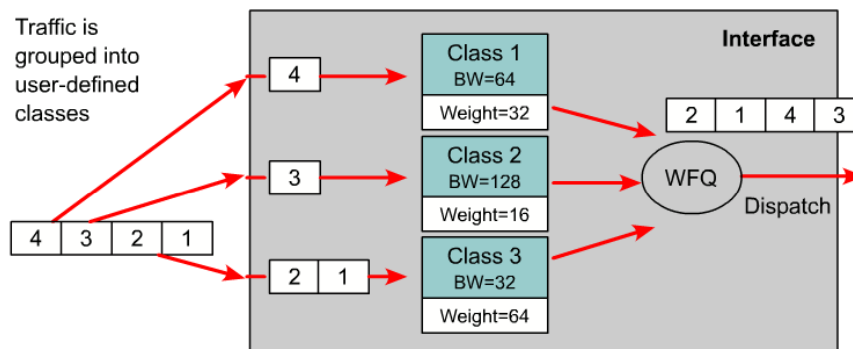
Class Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ)

- Logički redovi se unapred definišu i dodeljuju određenim klasama saobraćaja (*class-based*) – nisu više na nivou pojedinačnih tokova (*flow-based*)
- Algoritam opsluživanja isti kao kod WFQ
- Efekat – garantovani propusni opseg za svaku klasu !
- Konfigurirše se željeni propusni opseg (apsolutno ili procentualno), a ruter sam proračunava i interno postavlja potrebnu težinu
- Kompatibilno sa DSCP klasama !
- Cisco – ranije 64 klasa, a novije verzije 256 klasa



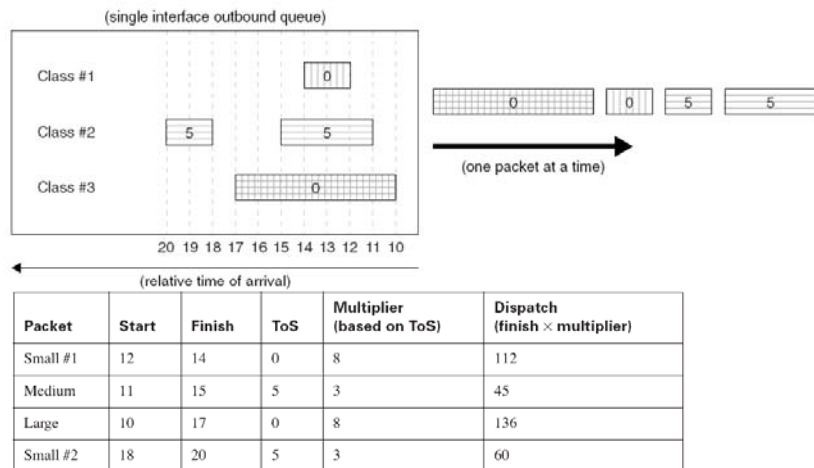
CBWFQ

- Težina je izvedena iz zahtevane propusnosti za klasu saobraćaja



Class Based WFQ - CBWFQ

- WFQ kod koga administrator forsira saobraćaj u određeni tok preko klase



ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

75

CBWFQ u odnosu na WFQ

- WFQ
 - Do 7 klasa
 - Nema alokacije propusnosti
 - Nema kontrole od strane korisnika
- CBWFQ
 - Do 64 ili 256 klase
 - Alokacija propusnosti
 - Kontrola od strane korisnika



ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

76

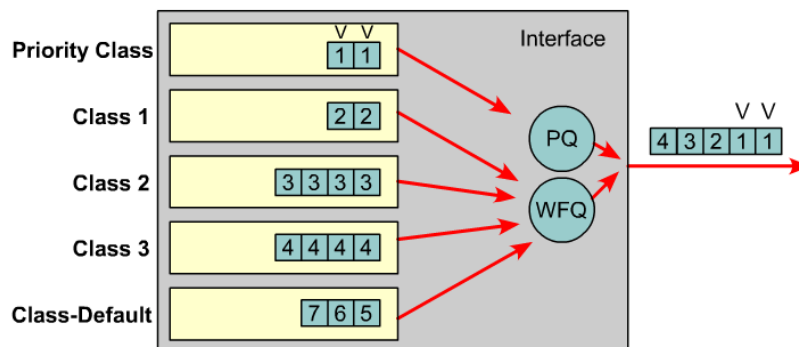
CBWFQ

- Predodređeno je da totalna propusnost dodeljena svim klasama ne sme da prevaziđe 75 % od ukupne raspoložive propusnosti na interfejsu.
- Preostalih 25% se koristi za potrebe kontrole i saobraćaj algoritama rutiranja.



Low Latency Queuing - LLQ

- $LLQ = CBWFQ + PQ$



Low Latency Queuing - LLQ

- Klase kojima se pridružuje prioritet se nazivaju prioriternim klasama.
- Jedna ili više klasa će imati prioriterni status.
- Ako je više klasa konfigurirano kao prioriterno, sav saobraćaj ovih klasa se ređa u isti i jedini striktno prioriterni red i oni će se nadmetati međusobno za propusnost.
- Mada je moguće na ovaj način ređati različite tipove real-time saobraćaja u taj striktno prioriterni red
- preporučuje se da se na njega usmerava samo govorni saobraćaj.



DiffServ tehnike

- Osnovne QoS tehnike nad paketima:
 - Klasifikacija i obeležavanje (*markiranje*)
 - Ograničavanje i poravnanje (*policing and shaping*)
 - Kontrola zagušenja (*congestion management*)
 - **Izbegavanje zagušenja** (***congestion avoidance***)
 - Specifične tehnike na linku (*link specific tools*)



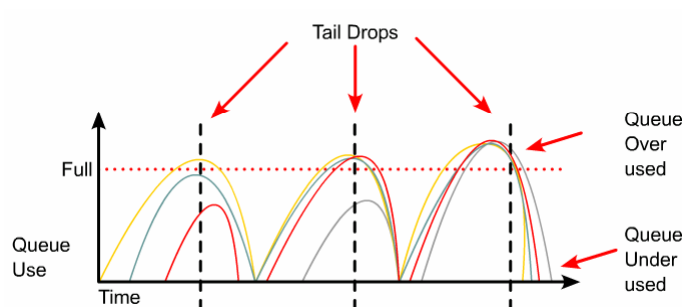
Izbegavanje zagušenja

- TCP protokol – sinhronizacija protoka:
Aditivno povećanje, multipkativno smanjenje
(*Additive Increase, Multiplicative Decrease - AIMD*)
 - Kada nema gubitka paketa
 - postepeno povećanje veličine TCP prozora (AI)
 - Svaki put kada se desi gubitak paketa
 - Smanjenje veličine TCP prozora na pola (MD)



Izbegavanje zagušenja

- Kada je red čekanja pun, svi novi paketi svih konekcija će biti odbačen – tail-drop
- Ovaj efekat se naziva globalna sinhronizacija (*global synchronization*)
- Rešenje:
 - RED, WRED



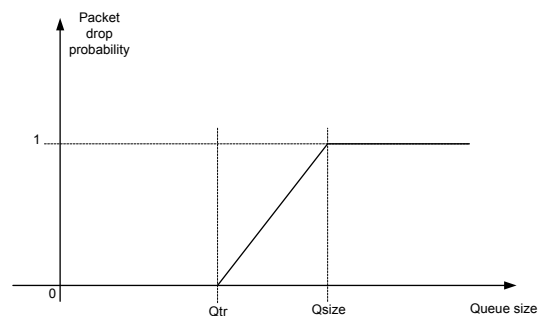
Random Early Detection – RED

- Tehnika preventivnog odbacivanja pojedinih (slučajno izabranih) paketa
- Algoritam
 - broj paketa u redu čekanja - N
 - Veličina reda čekanja – Q_{max}
 - Granična vrednost (*threshold*) – $Q_{tr} < Q_{max}$
 - ako je $N < Q_{tr}$ ne radi se ništa
 - ako je $Q_{tr} < N < Q_{max}$, odbaciti pakete sa verovatnoćom koja je proporcionalna broju paketa u redu čekanja (veće broj paketa, veća je verovatnoća)



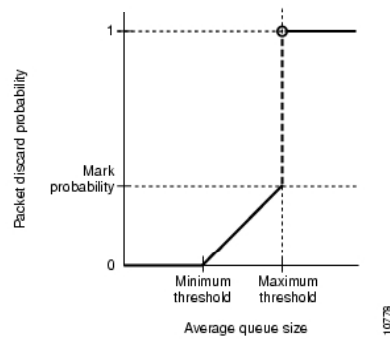
Random Early Detection – RED

- RED
 - Predvideti zagušenje
 - Postepeno usporiti saobraćaja pre prepunjavanja reda čekanja
 - Izbeći globalnu sinhronizaciju
 - Maksimizirati propusni opseg



Weighted RED

- RED za više klasa različitih težina (IP precedence, DSCP)



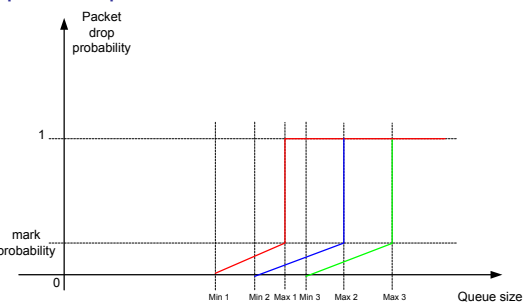
- RED and WRED je koristan samo kada dominira TCP saobraćaj



WRED - Primer

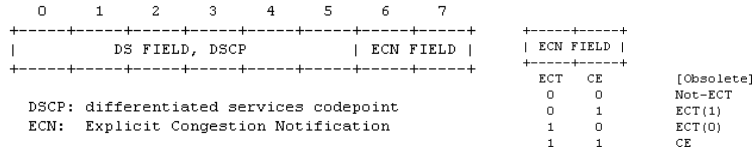
- $\text{Min_threshold} = (1/2 + \text{precedence}/18) * \text{output queue}$
- $\text{Max_threshold} = \text{output queue}$
- mean queue depth - srednja popunjenost reda čekanja
- Mark probability – verovatnoća odbacivanja kada je $\text{Max_threshold} = \text{mean queue depth}$

Precedence	Min threshold	Max threshold
0	20	40
1	22	40
2	24	40
3	27	40
4	29	40
5	31	40
6	33	40
7	36	40



ECN – Explicit Congestion Notification

- RFC 3168
- Dopunjava WRED tehniku – umesto da odbacuje paket, ruter signalizira zagušenje da bi izvor (TCP) smanjio brzinu
- Dva bita:
 - ECT bit- *ECN-Capable Transport*
 - CE bit – *Congestion Experienced*
- Kodovi – kombinacije ECT i CE bita:
 - '00' - *not-ECT-capable* označava da paket ne koristi ECN
 - '11' - ruteru označava zagušenje krajnim čvorovima
 - '01' i '10' – *ECT-capable*, postavljaju krajni čvorovi da označe ruterima da prepoznaju ECN
- Kod punog reda čekanja paketi se ipak odbacuju



ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

87

DiffServ tehnike

- Osnovne QoS tehnike nad paketima:
 - Klasifikacija i obeležavanje (*markiranje*)
 - Ograničavanje i poravnanje (*policing and shaping*)
 - Kontrola zagušenja (*congestion management*)
 - Izbegavanje zagušenja (*congestion avoidance*)
 - **Specifične tehnike na linku (*link specific tools*)**



ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku

88

QoS na sporim WAN vezama

- Mali propusni opseg na WAN vezama značajno uzrokuje kašnjenje i zahtevaju posebnu pažnju
- rešenje:
 - Link Fragmentation and Interleaving
 - Kompresija

LAS Type	1 Byte	64 Bytes	128 Bytes	256 Bytes	512 Bytes
56 kbps	143 us	9 ms	18 ms	36 ms	72 ms
64 kbps	125 us	8 ms	16 ms	32 ms	64 ms
128 kbps	62.5 us	4 ms	8 ms	16 ms	32 ms
256 kbps	31 us	2 ms	4 ms	8 ms	16 ms
512 kbps	15.5 us	1 ms	2 ms	4 ms	8 ms
768 kbps	10 us	640 us	1.28 ms	2.56 ms	5.12 ms
1536 kbps	5 us	320 us	640 us	1.28 ms	2.56 ms



Link Fragmentation and Interleaving

- Ako je veza spora, veliki paketi se sporo prenose i mogu izazvati veliko kašnjenje malih VoIP paketa koji zahtevaju brz prolazak
- Rešenje:
 - Link Fragmentation and Interleaving – LFI:*
 - **Link fragmentation** – tehnika podele velikih paketa na manje da bi se osetljivi mali paketi (VoIP) brže preneli
 - **Interleaving** – tehnika umetanja osetljivih malih paketa (VoIP) u sekvencu fragmentiranih paketa
- Tehnike redova čekanja (FQ) će efikasnije preneti osetljive VoIP pakete



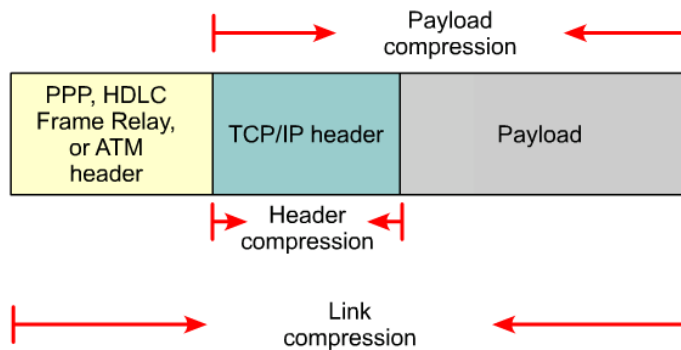
Algoritmi kompresije

- **Predictor**
 - Predviđa se sekvenca karaktera u nizu podataka
 - Tabela čestih sekvenci – “rečnik kompresije”
 - Prepoznati nizovi se zamenjuju sa indeksima u “rečniku”
- **STAC**
 - realizovan od strane STAC Electronics
 - Lempel-Ziv (LZ) tip algoritma kompresije
 - U ulaznom nizu podataka traže se sekvence koje se ponavljaju
 - Pronađene sekvence se zamenjuju sa tzv. indeksima (*tokens*), koji su kraći od originalnog niza karaktera



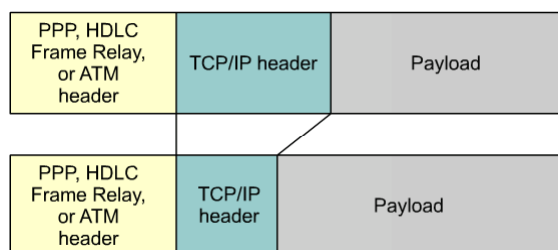
Tehnike kompresije

- Link compression – kompresija celog L2 paketa (enkapsuliran L3 paket) – point-to-point veze
- Header compression – kompresija samo L3 zaglavlja
- Payload compression – kompresija L3 zaglavlja i podataka



Kompresija TCP/IP zaglavlja

- Van Jacobson algoritam (RFC 1144)
- Kompresija TCP/IP zaglavlja smanjuje ukupnu količinu bajtova
- L2 heder se ostaje nepromenjen
- Efekat kompresije TCP/IP zaglavlja je veći za male pakete, jer je veće relativno smanjenje ukupne veličine paketa



Komprimovani RTP - cRTP

- *Real-Time Transport Protocol* - RTP, je standardizovani protokol prenosa real-time podataka, koji uključuju audio i video striming
- *Compressed Real-Time Transport Protocol* – cRTP se koristi za jedinstvenu kompresiju IP, UDP i RTP zaglavlja
- Primer – kodek G.729:
semplovanje na 20ms generiše efektivne podatke veličine 20 bajta, dok **ukupna veličina IP, UDP i RTP zaglavlja iznosi 40 bajta**
- cRTP kompresija smanjuje ukupnu veličinu IP, UDP i RTP zaglavlja na samo 2 bajta
- Mana i ograničenje cRTP je intenzivno korišćenje procesora rutara
- Preporuka je da se cRTP koristi na vezama čiji je kapacitet ispod 768 Kbps



Ostale tehnike

- *Microsoft Point-To-Point Compression – MPPC*
 - omogućava da ruteri razmenjuju komprimovane podatke direktno sa Microsoft klijentima
 - koristi LZ mehanizam kompresije
- **Modemska kompresija**
 - kompresija na modemu dial-up veze
 - dva standarda:
 - Microcom Networking Protocol 5 (MNP5) – kompresija do 2 puta
 - V.42bis ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization) – kompresija do 4 puta



Ograničenja

- **Enkripcija podataka**
 - Kompresija se radi na L2 nivou, a enkripcija na L3 nivou
 - Enkriptovani podaci po pravilu nemaju obrazac ponavljanja koji bi mogao da se iskoristi od strane algoritama kompresije
 - Kompresija enkriptovanih podataka nema efekta, a veličina rezultujućeg paketa je čak i veća
 - LZ algoritam proverava veličinu podataka pre i posle kompresije i ako je veličina rezultujućeg paketa veća, paket se prenosi nekomprimovan
- **Pravilo- ne treba sprovesti kompresiju nad enkriptovanim podacima**



Ograničenja

- **CPU i memorija**
 - Značajno povećanje iskorišćenje procesora i memorije
 - Direktno zavisi i od broj konkurentnih procesa koji nezavisno sprovode kompresiju (npr. za veći broj linkova)
 - Zahtevi za memorijom su veći kod Predictor nego kod STAC
 - Payload kompresija zahteva više memorije nego link kompresija
 - Link kompresija zahteva više procesorskog vremena nego Payload kompresija



Literatura

- **“End-to-End QoS Network Design: Quality of Service in LANs, WANs, and VPNs”**
Tim Szigeti, Shristina Hattingh,
Cisco Press, 2005
- **“IP Quality of Service”**
Srinivas Vegesna,
Cisco Press, 2001

