

  
Laboratorij za telekomunikacije  
Fakulteta za elektrotehniko

## QoS v sistemih IP

as.mag. Iztok HUMAR  
 mag. Mitja GOLJA  
 prof.dr. Janez BEŠTER


KSOI | www.life.org, Laboratorij za telekomunikacije


  
Laboratorij za telekomunikacije  
Fakulteta za elektrotehniko

## Potreba po mehanizmih za QoS

- Internet ponuja en sam razred storitev: best-effort razred
  - ni zagotovila, da bodo datagrami:
    - dostavljeni pravočasno
    - sploh dostavljeni
- Danes v internetu najpogosteje uporabljane aplikacije (http, ftp, smtp, ...) so elastične aplikacije
  - dopuščajo zakasnitve in izgube datagramov
  - so se zmožne prilagajati trenutnim zamašitvam v omrežju
- Nekatere prihajajoče aplikacije (VoIP, videokonference, ...) so neelastične aplikacije
  - zahtevajo prenos podatkov v realnem času
  - izguba datagramov ali njihova zakasnitve pomeni prekinitev delovanja


KSOI | www.life.org, Laboratorij za telekomunikacije 4


  
Laboratorij za telekomunikacije  
Fakulteta za elektrotehniko

## Agenda

- Problematika kvalitete v omrežjih IP
  - potreba po mehanizmih za zagotavljanje QoS
  - neelastične aplikacije
- Temeljni mehanizmi za izvajanje QoS
- IntServ
- DiffServ
- Evaluacija mehanizmov za QoS v sintetičnih omrežjih


KSOI | www.life.org, Laboratorij za telekomunikacije 2


  
Laboratorij za telekomunikacije  
Fakulteta za elektrotehniko

## Neelastične aplikacije


- Aplikacije pretočnega medija
  - zgornja in spodnja meja sprejemljive zmogljivosti omrežja
    - bitna hitrost, pod katero video oziroma audio nista več uporabna
    - velike zakasnitve (200 – 300 ms) v primeru telefonije ali videokonferenc kvarno vplivajo na komunikacijo med ljudmi
  - Dolgotrajne seje teh aplikacij
- Aplikacije, ki delujejo strogo v realnem času
  - imajo stroge meje – kar se tiče zmogljivosti omrežja
  - primer: krmilne aplikacije

KSOI | www.life.org, Laboratorij za telekomunikacije 5


  
Laboratorij za telekomunikacije  
Fakulteta za elektrotehniko

## Problematika kvalitete v omrežjih IP

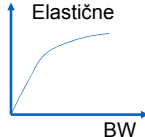
KSOI | www.life.org, Laboratorij za telekomunikacije


  
Laboratorij za telekomunikacije  
Fakulteta za elektrotehniko

## Stopnja koristnosti aplikacije


- Kaj je ključnega pomena pri načrtovanju omrežja?
  - povečevanje pasovne širine omrežja BW?
  - zmanjševanje zakasnitve v omrežju?
  - povečevanje zadovoljstva uporabnika -> koristnost, usability
- Krivulja odvisnosti U od BW:
  - monotono rastoča funkcija
  - oblika odvisna od tipa aplikacije
- Opazimo, da dodelitev enake BW v vseh primerih ne maksimira U

U Elastične



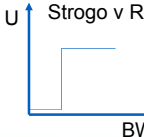
BW

U Zakasn. prilag.



BW

U Strogo v RČ



BW

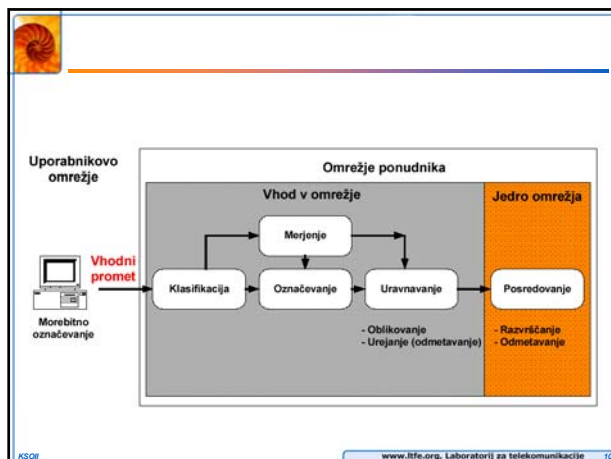
KSOI | www.life.org, Laboratorij za telekomunikacije 6

**LTFE**  
Laboratorij za telekomunikacije  
Fakulteta za elektrotehniko

## Temeljni mehanizmi za izvajanje QoS

KSOI

www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije



## Pregled QoS mehanizmov:

### QoS for networked applications

KSOI

www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije

## Nadzor dostopa

- Z nadzorom dostopa se izogibamo preobremenitvam
  - odločitev – ali se bo v primeru dodajanja novega zahtevka poslabšala kakovost storitvam, ki imajo že dodeljene omrežne vire
- Elastične aplikacije imajo konkavno odvisnost  $U$  od  $BW$
- Porast  $U$  se zmanjšuje s porastom  $BW$
- Ob povečevanju tokov se njihova  $BW$  zmanjšuje
- Ni potrebno krmiljenje dostopa

- Neelastične aplikacije imajo konveksno odvisnost  $U$  od  $BW$
- $U$  (število tokov) se ne povečuje monotono
- Potrebno krmiljenje dostopa za maksimiranje  $U$

KSOI

www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije

## Temeljni mehanizmi za izvajanje QoS

- Nadzor dostopa (Admission Control)**
  - sprejema oziroma zavrača nove zahteve v skladu z razpoložljivimi zmogljivostmi v omrežju
- Oblikovanje (Shaping), vodenje (Policing), označevanje (Marking) datagramov**
  - skrbi, da je bitna hitrost v skladu z dogovorjenimi vrednostmi
  - omogoča razlikovanje med datagrami različnih prioritetenih razredov
- Ločevanje (Isolation) razredov med seboj**
  - preprečuje, da bi preobremenitev enega izmed razredov vplivala na zmogljivost preostalih storitvenih razredov
- Delitev (Sharing) zmogljivosti virov**
  - s storitvenimi razredi je potrebno izkoristiti vire kolikor je mogoče učinkovito

KSOI

www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije

## Nadzor dostopa

- Zavračanje**
  - mehanizmi za krmiljenje dostopa zavračajo prihajajoče (nove) zahtevke
  - včasih bi bilo bolj smiselno, če bi lahko terminirali obstoječe tokove
- Alternativa: "overprovisioning" omrežja**
  - težava: veliko spreminjanje poteka uporabe

KSOI

www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije

## Shaping, Policing, Marking

- Oblikovanje (shaping), vodenje (policing), označevanje (marking) datagramov izvajamo s postopki:
  - razvrščanja v razrede
  - razporejanja datagramov
- Pristop vedra z žetoni:
  - zakasnevanje datagramov
  - zavračanje datagramov
  - prepusščanje datagramov

www.rfte.org, Laboratorij za telekomunikacije 13

## Razporejanje datagramov

- Razporejanje = izbor paketa, ki bo šel naslednji po povezavi
- Razporejanje datagramov po metodi "vedro z žetoni" (token bucket)
  - promet je določen s:
    - številom prihodov datagramov v časovni enoti r
    - globino vedra b
  - Najslabša možna zakasnitev v vrsti =  $b/r$
- Delovanje metode "vedro z žetoni":
  - Žetoni prihajajo v vedro s hitrostjo r
  - če se vedro zapolni, se žetoni izgubijo
  - ko se pošlje datagram velikosti P, se porabi P žetonov
  - če je v vedru P žetonov, se datagram pošlje pri polni hitrosti, sicer je potrebno čakati, da se žetoni akumulirajo

www.rfte.org, Laboratorij za telekomunikacije 16

## Razporejanje in razvrščanje

- Vsak prihajajoč datagram mora biti:
  - razvrščen (Classified):
    - povezan z rezervacijo neke aplikacije
    - navadno na podlagi izvornega in ponornega naslova, številke protokola, izvornih in ponornih vrat
  - razporejen (Scheduled):
    - postavljen v čakalno vrsto na način, da prejme zahtevano storitev
    - implementacija ni določena v strežnem modelu

$D_{max} = b/R$

www.rfte.org, Laboratorij za telekomunikacije 14

## Delovanje metode vedra z žetoni

Žetoni      Žetoni      Žetoni

Preliv

Datagram      Datagram

Dovolj žetonov → datagram gre v omrežje, žetoni se odstranijo

Ni dovolj žetonov → datagram čaka, da se žetoni akumulirajo

www.rfte.org, Laboratorij za telekomunikacije 17

## Razvrščanje v razrede

- Implicitno določanje storitvenih razredov
  - omrežje proučuje datagrame in samo razvršča toke v storitvene razrede
  - odjemalcev in aplikacij ni potrebno spreminjati
  - končen nabor aplikacij je podprt v vsakem trenutku
  - neprilagodljivost aplikacijam, ki delujejo v različnih načinih
- Eksplicitno določanje storitvenih razredov
  - aplikacija lahko neposredno zahteva storitveni razred
  - zakaj bi aplikacija zahtevala nižji razred od najboljšega:
    - cena
    - neformalne socialne zaveze
    - Congestion Control (kot pri best-effort)
  - aplikacija mora vedeti, katere storitvene razrede ima na razpolago
    - težko menjanje razredov med delovanje aplikacije
  - omrežje mora podpirati tovrstni pristop

www.rfte.org, Laboratorij za telekomunikacije 15

## Lastnosti metode vedra z žetoni

- V daljšem obdobju je bitna hitrost omejena na r
- V krajšem intervalu se lahko pojavijo izbruhi velikosti b
- Količina prometa v intervalu T je omejena z enačbo  $Traffic = b + r \cdot T$
- O podatkih se aplikacija izpogaja z nadzorom dostopa

Tok A:  $r = 1 \text{ MBps}, B = 1 \text{ MB}$

Tok B:  $r = 1 \text{ MBps}, B = 5 \text{ MB}$

www.rfte.org, Laboratorij za telekomunikacije 18

## Namen uporabe metode vedra z žetoni

- Oblikovanje (shaping), vodenje (policing), označevanje (marking) datagramov
  - zakasni datagrame pred vstopom v omrežje in s tem zagotavlja, da bitna hitrost ne preraste dogovorjene vrednosti (shaping)
  - zavrže datagrame, če prispejo brez žetonov (policing)
    - omrežni element zavrže datagrame brez žetonov v primeru zamašitve v omrežju
  - prepusti datagrame v omrežje in jih označuje jih z žetoni (marking)

KSOF www.rife.org, Laboratorij za telekomunikacije 19

## Round Robin razvrščanje

- Več razredov
- Ciklično se pregleduje vse vrste razredov, streže po en datagram iz vsakega razreda (če je ta na razpolago)

KSOF www.rife.org, Laboratorij za telekomunikacije 22

## FIFO

- First In First Out: "kdor prej pride, prej melje"
- Najpreprostejši način razvrščanja
- Datagrami se pošiljajo v istem vrstnem redu, kot so prispeli v čakalno vrsto
  - politika odmetavanja datagramov: če datagramov prispe v polno vrsto, je potrebno en datagram odvreči
    - Tail drop (rezanje repa): odvzame se prihajajoč datagram
    - Priority (prioritetno): odvzame datagram na osnovi prioritete
    - Random (naključen izbor): odvzame naključen datagram

KSOF www.rife.org, Laboratorij za telekomunikacije 20

## Weighted Fair Queuing (WFQ)

- Posplošen Round Robin
- Vsak razred dobi uteženo količino storitve v vsakem ciklu
  - npr. število paketov

KSOF www.rife.org, Laboratorij za telekomunikacije 23

## Prioritetno razvrščanje

- Priority scheduling: najprej prenese najbolj prioriteten datagram
  - več razredov z različnimi prioriteta
  - razred je idvisen od označb ali informacij v glavi datagrama (izvor/ponor, številka vrat, ...)

KSOF www.rife.org, Laboratorij za telekomunikacije 21

## Ločevanje in delitev virov

- Ločevanje (Isolation) storitvenih razredov med seboj
  - potrebno je ločiti izvore, ki se ne obnašajo v skladu z dogovorom od tistih, ki se držijo dogovora
  - s tem se prepreči, da bi preobremenitev enega izmed razredov vplivala na zmogljivost preostalih razredov
- Delitev (Sharing)
  - mešanje prometa iz različnih aplikacij z željo po čimbolj učinkovitem izkoriščenju omrežnih virov
- Mehanizmi za izvedbo ločevanja in delitve:
  - Weighted Fair Queuing: WFQ
    - odlično ločevanje, vendar brez delitve
  - FIFO
    - odlična delitev, vendar brez ločevanja

KSOF www.rife.org, Laboratorij za telekomunikacije 24

## Implementacija QoS v IP

- IETF je standardiziral dva mehanizma za izvajanje QoS
  - IntServ (RFC 1633)
    - DiffServ (RFC 2474, RFC 2475)

KSOI www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije 25

## Resource Reservation Protocol: RSVP

- IntServ izvaja rezervacijo poti z uporabo Protokola za rezervacijo virov: RSVP
- RSVP je hop-by-hop signalizacijski protokol, s katero aplikacija v elementih vzdolž celotne poti rezervira potrebno pasovno širino
- Signalizacija se prenaša v obliki IP sporočil
- Izvedba RSVP rezervacije:
  - sprejemnik informacij pošlje PATH sporočilo, v katerem definira lastnosti prometa
  - vsak usmerjevalnik vzdolž poti posreduje to sporočilo naslednjemu usmerjevalniku
  - usmerjevalniki lahko:
    - sprejme zahtevo in odgovori z RESV sporočilom
    - zavrne zahtevo in odgovori s sporočilom o napaki in prekine proces rezervacije

KSOI www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije 26

## Integrated Services in Resource Reservation Protocol

LFFE  
Laboratorij za telekomunikacije  
Fakulteta za elektrotehniko

KSOI www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije

## RSVP: Primer vzpostavitve zveze

- IntServ z RSVP omogoča povezavno orientirano povezavo preko nepovezavno orientiranega omrežja

KSOI www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije 29

## Integrated Services: IntServ

- Model integriranih storitev definira tri razrede:
  - zagotovljene storitve - Guaranteed Service: GS
    - za aplikacije, ki imajo stroge zahteve glede zakasnitev in pasovne širine
  - storitve s krmiljeno obremenitvijo - Controlled Load Service: CLS
    - za aplikacije, ki zahtevajo boljše zanesljivost in večjo pasovno širino, kot jo ponuja best-effort način
    - kvaliteta se približuje nivoju, ki bi ga podatkovni tok prejel od neobremenjenega omrežnega elementa. Z nadzorom kapacitete se omrežje obremeni do take stopnje, da aplikacija dobi zahtevane parametre tudi takrat, ko je omrežni element preobremenjen
  - najboljša zmogljivost – Best-Effort

KSOI www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije 27

## Kaj RSVP ni:

- RSVP standard ne določa pristopa, s katerim elementi omrežja dejansko izvedejo prioretizacijo datagramov oziroma rezervacijo pasovne širine
  - RSVP aplikacijam omogoča zgolj rezervacijo pasovne širine
  - pasovno širino morajo omogočiti usmerjevalniki z uporabo mehanizmov za razvrščanje
- RSVP ni usmerjevalni protokol. RSVP ne določa poti, po kateri se izvede rezervacija
  - spodaj ležeči usmerjevalni protokoli določajo usmerjevalno pot za podatkovni tok
  - ko je določena usmerjevalna pot, RSVP lahko rezervira pasovno širino vzdolž usmerjevalne poti

KSOI www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije 30

## Slabosti IntServ pristopa

- Vsi usmerjevalniki morajo podpirati RSVP, nadzor dostopa, multifield označevanje in razvrščanje datagramov
- Količina informacij o odobrenih podatkovnih tokih na usmerjevalniku narašča premo sorazmerno s številom tokov. To zahteva velike količine pomnilnika in procesne zmogljivosti na usmerjevalnikih
- Za GS je potrebna implementacija IntServ vzdolž celotnega omrežja od izvora do ponora, medtem ko se pri storitvah CLS mehanizem IntServ lahko uvaja predvsem v omrežjih z ozkimi grli in tunelira datagrame RSVP
- IntServ ni primeren za hrbtenična omrežja

KSOI | www.lfe.org, Laboratorij za telekomunikacije 31

## Arhitektura DiffServ

- Dogovori o storitvah znotraj domene
  - Service Level Agreements (SLA) s ponudnikom internetnega dostopa ISP
- Promet sprejmejo in oblikujejo usmerjevalniki na robu omrežja (Edge routers)
  - izvajajo oblikovanje (shaping) in vodenje (policing)
  - označujejo datagrame z majhnim številom bitov; vsak bit predstavlja storitveni razred ali podrazred
- Jedrni usmerjevalniki (Core routers)
  - obdelujejo datagrame glede na njihove označbe in v skladu s pravili za per-hop obnašanje
- Arhitektura DiffServ je bolj razširljiva kot arhitektura IntServ
  - ni signalizacije, povezane s tokovi

KSOI | www.lfe.org, Laboratorij za telekomunikacije 32

## Differentiated Services: Diffserv

LFE  
Laboratorij za telekomunikacije  
Fakulteta za elektrotehniko

KSOI | www.lfe.org, Laboratorij za telekomunikacije

## Arhitektura DiffServ: Slika

KSOI | www.lfe.org, Laboratorij za telekomunikacije 33

## Differentiated Services: Diffserv

- Zaradi prej navedenih težav pri implementaciji mehanizma IntServ in protokola RSVP, je bil razvit protokol Differentiated Services – DiffServ
- DiffServ
  - ima popolnoma odpravljen shranjevanje in obdelavo seji
  - ni zmogljivostno in pomnilniško potraten; zato pogosto uporabljen
- DiffServ omogoča več razredov storitev:
  - Premium service: namenjena aplikacijam, ki zahtevajo nizko zakasnitev in nizko potresavanje zakasnitve (jitter)
  - Assured service: namenjena aplikacijam, ki zahtevajo zanesljivost, boljše od best-effort
  - Olympic service: ponujajo tri različne tipe storitev: zlata, srebrna in bronasta

KSOI | www.lfe.org, Laboratorij za telekomunikacije 33

## DiffServ - označevanje

- Protokol IP (že v v4) določa v glavi datagrama polje ToS
  - ToS – Type of Service
- To polje je v DiffServ redefinirano
  - DSCP – DiffServ Code Point: vrsta storitev (RFC 791)

bit št.	0	1	2	3	4	5	6	7				
Precedence								D	T	R	0	0

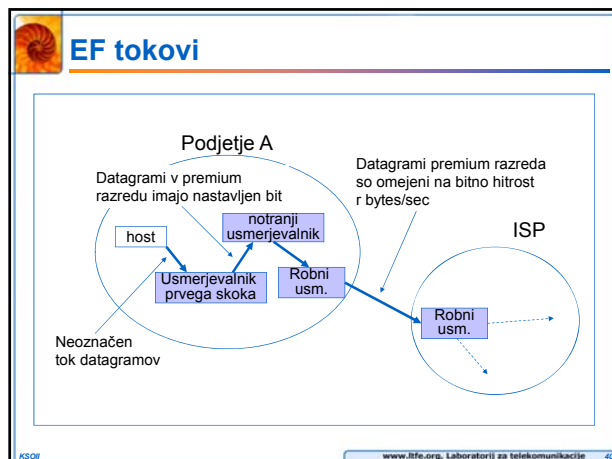
IP	TCP	aplikacija
XXXX0000 Bits 0, 1, 2 = Precedence bits (Precedence)	111 = Network Control = prioriteta 7	
110 = Internetwork Control = prioriteta 6	101 = CRITICAL = prioriteta 5	
100 = Flash Override = prioriteta 4	011 = Flash = prioriteta 3	
010 = Immediate = prioriteta 2	001 = Priority = prioriteta 1	
000 = Routine = prioriteta 0		
00000000 Bits 3, 4, 5	Bit 3 = Zakasnitev [D] (0 = Normal; 1 = Low)	
Bit 4 = Pretek [F] (0 = Normal; 1 = High)	Bit 5 = Zanesljivost [R] (0 = Normal; 1 = High)	
00000000 Bits 6, 7 = Rezervirano za kasnejše razširitve		

KSOI | www.lfe.org, Laboratorij za telekomunikacije 36

## DiffServ - označevanje

- Označevanje prometa pomeni razvrščanje v storitvene razrede**
- Razvrščanje ni natančno določeno – prepuščeno je administratorju omrežja**
  - da uporabnik pridobi storitev določene prioritete, more s svojim ISP podpisati SLA.
    - statična
    - dinamična (uporaba RSVP)
  - deleži izgub niso natančno ampak samo relativno definirani
- Datagrame lahko označujejo:**
  - uporabniki sami
  - vstopna vozlišča
- Po vstopu v omrežje so datagrami označeni in razvrščeni**
- Prometni tok je po potrebi preoblikovan, v skladu s pravili, določenimi v SLA**
- Kadar datagram preide iz ene domene v drugo, se označba njegovega DSCP polja lahko spremeni v skladu z SLA dogovori**

www.rfte.org, Laboratorij za telekomunikacije 37



## Per-hop Behaviors (PHBs)

- Določa obnašanje posameznega usmerjevalnika in ne celotne poti od izvora do ponora**
- Različni načini obnašanja usmerjevalnika za različne skupine storitev (Behaviors) – potrebujemo več bitov v glavi datagramov**
- Zahtevkov na usmerjevalniku je lahko bistveno več, kot različnih načinov obnašanj usmerjevalnika**
- DiffServ uporablja shemo relativnih prioritete**
- Definirana sta dva načina PHB:**
  - Expedited forwarding oziroma Premium service (tip P)
  - Assured forwarding (tip A)

www.rfte.org, Laboratorij za telekomunikacije 38

## Assured Forwarding PHB

- Možna uporaba: zagotavljanje virov prometu znotraj profila, dovoljena prekoračitev s profilom določenega dogovora**
- Nadzor temelji na pričakovani kapaciteti uporabniškega profila**
- Uporabnik in omrežje se dogovorita glede profila podatkov**
  - datagrami, ki se držijo profila, so označeni
    - malo verjetno je, da bi se datagrami zavržili, če se uporabnik drži profila
  - datagrami, ki se ne držijo profila, se označijo z dvakrat večjo verjetnostjo izgube
- Če pride do zamašitve na vozlišču, ki podpira DiffServ, potem vozlišče ščiti datagrame z nižjo verjetnostjo izgube, datagrami, ki se ne držijo profila so prej zavrženi**
  - Mehanizem implementiran z uporabo mehanizma RIO: RED with In/Out bit
  - WFQ,
  - GRR,
  - ...

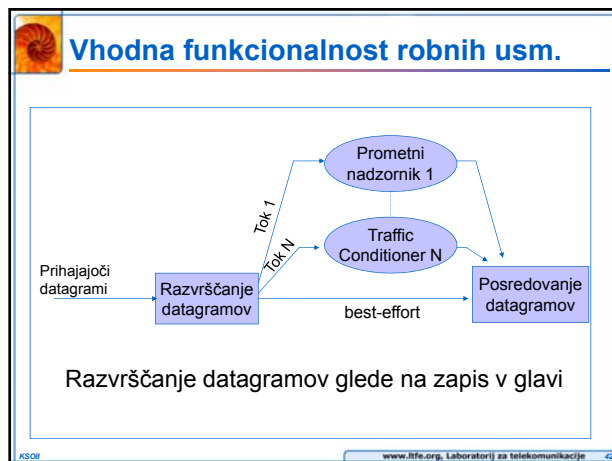
www.rfte.org, Laboratorij za telekomunikacije 41

## Expedited Forwarding PHB

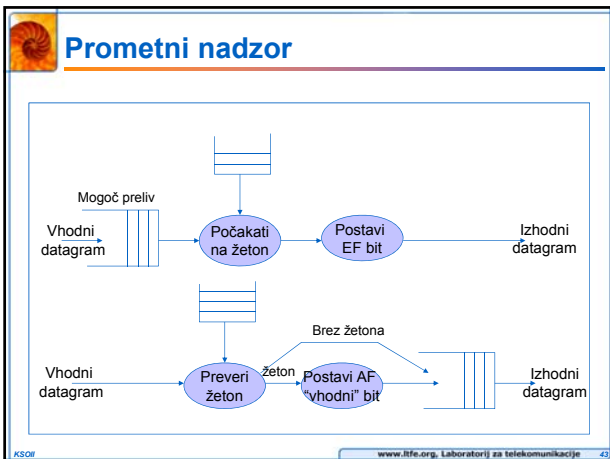
- Možna uporaba: navidezni vod**
- Nadzor dostopa se izvaja na podlagi parametra maksimalnega pretoka**
- Neuporabljena pasovna širina se porabi za best-effort promet**
- Uporabniki pošiljajo podatke v okviru dogovorjenega profila**
  - signalizacija in nadzor dostopa se bosta v prihodnosti verjetno še nekoliko razvila (Bandwidth Brokerji)
- Hitrost EF datagramov se omejuje zgolj na robovih omrežja**
  - v ta namen se uporablja že predstavljen mehanizem vedra z žetoni
- Enostavno posredovanje datagramov:**
  - datagrame razvrstimo v eno izmed dveh vrst in izvajamo prioritizacijo
  - EF datagrami se posredujejo s:
    - čimnižjo zakasnitvijo
    - čimmanj izgubami

(do kolikor to dopušča kapaciteta usmerjevalnika)

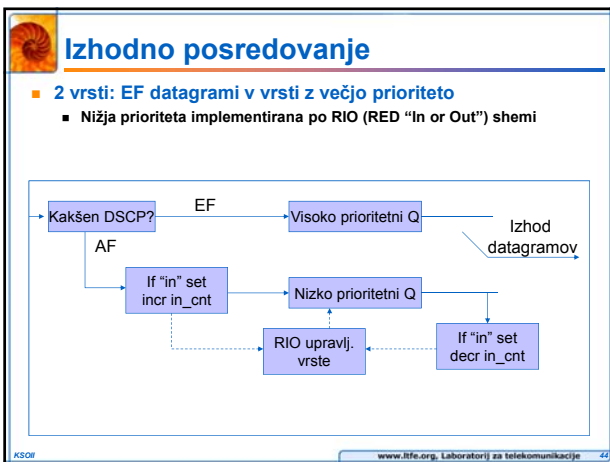
www.rfte.org, Laboratorij za telekomunikacije 39







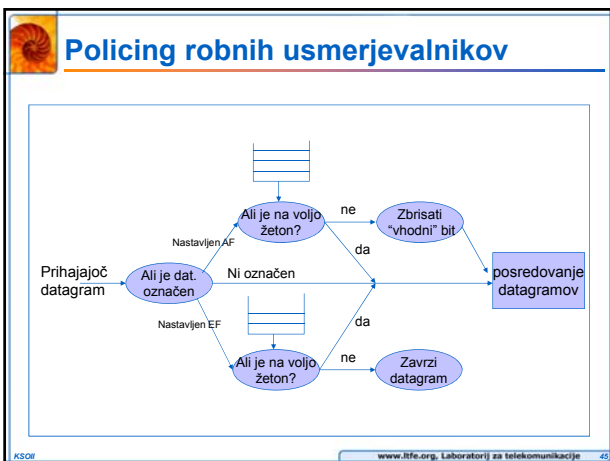
- ### Primerjava med DiffServ in IntServ
- DSCP polje pri DiffServu omogoča le omejen nabor storitvenih razredov
  - Količina informacij je premosorazmerna številu storitvenih razredov
  - DiffServ je bolj razširljiv kot IntServ
  - Kompliciran postopek označevanja, razvrščanja in preoblikovanja se izvaja le na robnih usmerjevalnikih
  - Jedrni usmerjevalniki se ukvarjajo zgolj s po razredih agregiranim prometom
- www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije 45



### Primerjava

	Best-Efforts	Diffserv	Intserv
Storitev	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Povezljivost</li> <li>• Ni izolacije</li> <li>• Nobenih zagotovil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Izolacija agregiranih tokov</li> <li>• Zagotavljanje celotni agregaciji</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tokovna izolacija</li> <li>• Zagotavljanje tokom</li> </ul>
Doseg storitve	• End-to-end	• Domenski	• End-to-end
Kompleksnost	• Ni vzpostavitev	• Dolgotrajna vzp.	• Vzpostavitev za tok
Razširljivost	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velika razširljivost</li> <li>• (vozlišča skrbijo samo za stanje usmerjevalnikov)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razširljivost (samo robni usmerjevalniki skrbijo za agregiran pretok, jedrni usmerjevalniki pa skrbijo za celoten razred)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ni razširljiv (vsak usmerjevalnik mora skrbeti za stanje nabora tokov)</li> </ul>

www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije 47



Hvala za pozornost.  
Vprašanja?

www.lffe.org, Laboratorij za telekomunikacije