

Boban Pavlović,
kapetan, dipl. inž.
Vojna akademija,
Beograd
profesor
dr Miloško Jevtović,
dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet,
Banja Luka

ANALIZA KARAKTERISTIKA MPLS MREŽNOG SIMULATORA

UDC: 004.72

Rezime:

U ovom radu predstavljena je arhitektura i analizirane su karakteristike MPLS mrežnog simulatora MNS (Multiprotocol Label Switching Network Simulator), koji se koristi u projektovanju paketskih mreža zasnovanih na IP (Internet Protocol) protokolu koje moraju podržavati saobraćaj u realnom vremenu i multimedijalni saobraćaj. Na bazi mrežnog simulatora prikazane su i opisane procedure simulacije saobraćaja različitog QoS, kao i simulacija posluživanja saobraćaja višeg prioriteta.

Ključne reči: MPLS (Multiprotokolska komutacija labela), MPLS mrežni simulator, rutiranje na bazi ograničenja – protokol distribucije labela (CR-LDP), kvalitet usluge, prioritet nad saobraćajem.

CHARACTERISTICS ANALYSE OF THE MPLS NETWORK SIMULATOR

Summary:

In this article are presented architecture and characteristics analyze of the MPLS Network Simulator (MNS). MNS is used for design packet networks based on Internet Protocol (IP) which must support Real-time Traffic and Multimedia. In this document are presented and described simulation procedure for traffics with different QoS and simulation for resource preemption.

Key words: Multiprotocol Label Switching (MPLS), MPLS Network Simulator (MNS), Constraint based Routing – Label Distribution Protocol (CR-LDP), Quality of Service (QoS), resource preemption.

Uvod

Savremene metode projektovanja računarskih i telekomunikacionih mreža zasnivaju se na korišćenju novih softverskih alata, među kojima su svakako najznačajniji mrežni simulatori. Izradi glavnog projekta neke računarske mreže obično prethodi softverska simulacija komunikacionih procesa, kvaliteta usluga određene mreže, njene funkcionalne otpornosti ili raspoloživosti. Posebno je

značajno korišćenje simulatora MPLS (Multi Protocol Label Switching) mreže u procesu projektovanja paketskih mreža zasnovanih na IP (Internet Protocol), od kojih se zahteva da omoguće komunikaciju u realnom vremenu, multimedijalne usluge i prenos vremenski osetljivog saobraćaja. Takve IP mreže koriste MPLS protokol koji omogućava komutaciju IP paketa preko IP mreža. Simulator MPLS mreže (u daljem tekstu MNS) nastao je adaptacijom i proširenjem funkcija mre-

žnog simulatora ns (network simulator) [1]. Nastao je kao varijanta simulatora realnih telekomunikacionih mreža, koji je razvijen 1989. godine u Univerzitet-skom centru Berkeley u SAD.

MNS simulator je predstavljen kao softverski alat za simulaciju procedura pri uspostavljanju veza kroz MPLS mrežu (podržava uspostavljanje CR-LSP putanja određenog QoS), kao i simulaciju osnovnih MPLS funkcija (protokol distribucije labela i komutacija labela) [2] [3] [4]. U ovom radu opisani su namena i funkcije MNS simulatora, dat konceptualni prikaz modela simulatora i prikazana dva primera procedure simulacije. Prvom procedurom simulirano je nekoliko vrsta MPLS saobraćaja različitih QoS u jednostavnoj MPLS mreži, čime su potvrđeni tačnost i efikasnost MNS simulatora. U drugoj programskoj proceduri izvršena je simulacija posluživanja saobraćaja višeg prioriteta u odnosu na ostali saobraćaj u mreži.

Namena MNS

Osnovna namena MNS simulatora je razvoj različitih MPLS aplikacija bez konstrukcije realne MPLS mreže, čime se postiže ispitivanje karakteristika budućih mreža kroz postupak simulacije. Mrežni simulator je objektno orijentisan simulator napisan u programskom jeziku C++, sa Otcl interpreterom kao komandnim jezikom. C++ je brz za izvršavanje, ali spor za promene, što ga čini pogodnim za detaljnu manipulaciju protokola (manipulisanje bajtovima, zaglavljima i algoritmima koji se izvršavaju nad velikim brojem podataka). Otcl se izvršava mnogo sporije, ali se može menjati veo-

ma brzo, što je povoljno sa stanovišta promene konfiguracije simulacije („promeni model“, „nađi grešku“, „ispravi grešku“).

Osnovne karakteristike MNS simulatora su:

- proširivost – verno prati objektno-orijentisan koncept radi podržavanja različitih MPLS aplikacija;

- iskoristivost – izgrađen na način da ga korisnici mogu jednostavno naučiti i upotrebiti;

- prenosivost – minimalno potrebna promena mrežnog koda kako bi se upotrebio u drugoj verziji mrežnog simulatora;

- upotrebljivost – realizovan tako da pruža podršku u razvoju realnih LSR rutera za komutaciju labela.

Funkcije MPLS simulatora:

- a) komutacija labela – operacije prenosa/slaganja labela, dekrementiranje polja vremena života labele, TTL (Time to Live);

- b) rad sa protokolom distribucije labela, LDP (Label Distribution Protocol) – obrada LDP poruka (Request – zahtev, Mapping – preslikavanje, Withdraw – ispisivanje, Release – oslobađanje i Notification – obaveštavanje);

- c) algoritam rutiranja na bazi ograničenja – LDP protokol, CR-LDP (Constraint base Routing – LDP) – obrada CR-LDP poruka;

- d) agregacija prenosa – grupisanje pojedinačnog saobraćaja u zbirni protok;

- e) rutiranje na bazi ograničenja, CB (Constraint Based) – daje CB algoritam rutiranja za CR-LSP (Constraint Routing – Label Switching Path) putanju koja se uspostavlja korišćenjem informacija sa mreže [5]. Za razliku od tradicionalnih algoritama rutiranja (OSPF, BGP koji koriste samo informacije o broju skokova, ili

kašnjenju), CB algoritam zahteva veći broj informacija. Primeri metrike koji se koriste za CB algoritam rutiranja su maksimalno kašnjenje na linku, trenutna rezervacija resursa, verovatnoća gubitaka paketa, varijacija kašnjenja na linku, i dr.;

f) mehanizam rerutiranja (promena putanje) – podržava simulaciju koja se zasniva na određenim mehanizmima rerutiranja (npr. Haskin ili Makam) ili dinamičkom principu (npr. na osnovu jednostavne šeme najkraćeg puta) [6].

Konceptualni prikaz modela mrežnog simulatora

Mrežni simulator prikazan na slici 1 [1] sastoji se od sledećih funkcionalnih celina:

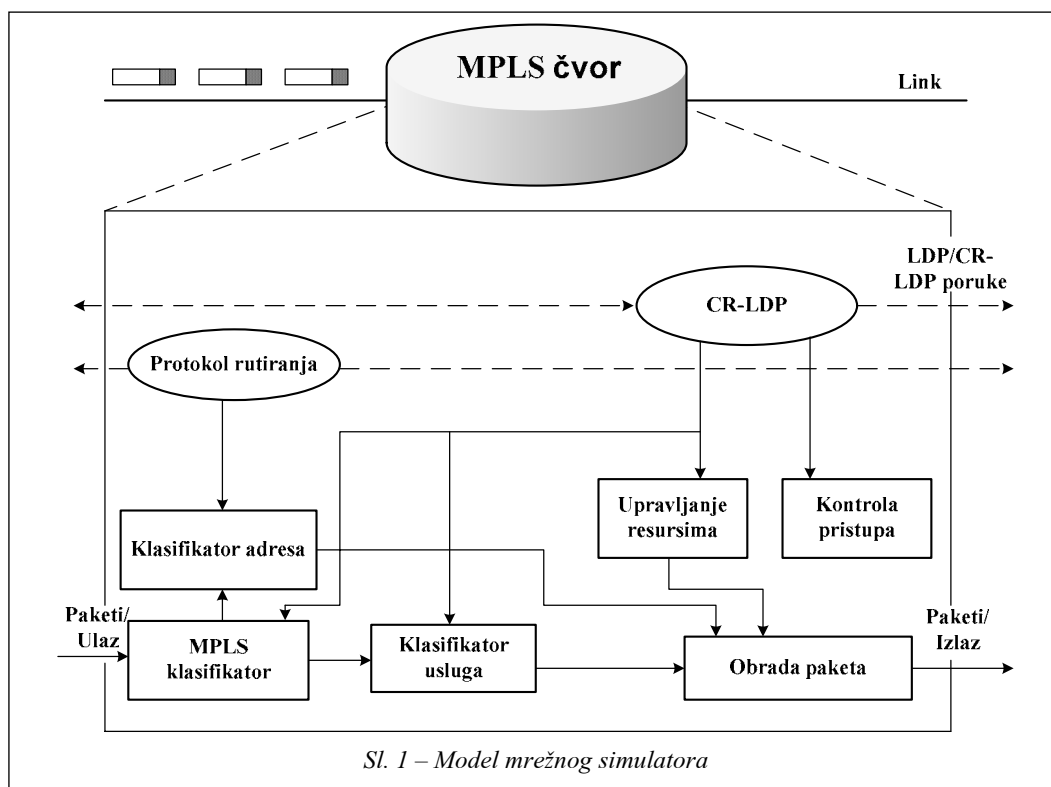
– LDP/CR-LDP – generiše ili obrađuje LDP/CR-LDP poruke;

– MPLS klasifikator – izvršava operacije nad labelama, kao što su: podizanje, postavljanje ili zamena labela na MPLS paketu;

– klasifikator usluga – klasifikuje usluge koje se mogu primeniti na dolazni paket korišćenjem labela i interfejsa, ili polja CoS (Class of Service) u MPLS zaglavljju, i povezuje svaki paket sa određenom rezervacijom;

– upravljanje pristupom – istražuje parametre saobraćaja na CR-LDP i određuje da li MPLS čvor poseduje odgovarajući resurs da podrži zahtevani QoS;

– upravljanje resursima – generiše/uklanja redove čekanja i upravlja informacijama vezanim za resurse;



Sl. 1 – Model mrežnog simulatora

- obrada paketa (Packet Scheduler)
- upravlja paketima koji se nalaze u redovima čekanja, omogućavajući da dobi-ju zahtevanu uslugu uz postavljeni QoS.
- klasifikator adresa – obavlja funkciju prosleđivanja paketa, pri čemu ono može biti direktno ili se paket prethodno šalje na klasifikator porta.

Oblik i implementacija MNS

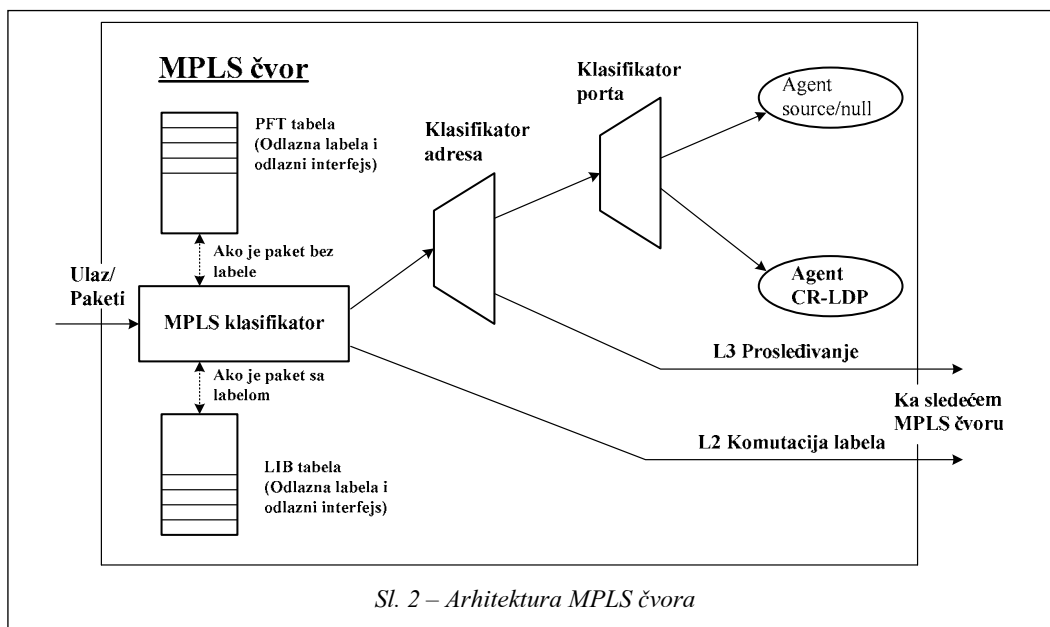
MPLS simulator je nastao proširenjem NS simulatora, što ga čini simulatorom IP osnove. U NS svaki čvor se sastoji od agenata i klasifikatora. Agent predstavlja objekat koji radi na nivou protokola, a klasifikator je objekat koji je zadužen za klasifikaciju paketa. Da bi se realizovao MPLS čvor, u IP čvor uključeni su „MPLS klasifikator“ i „LDP agent“, kako je prikazano na slici 2 [7].

Arhitektura MPLS čvora za komutaciju labela

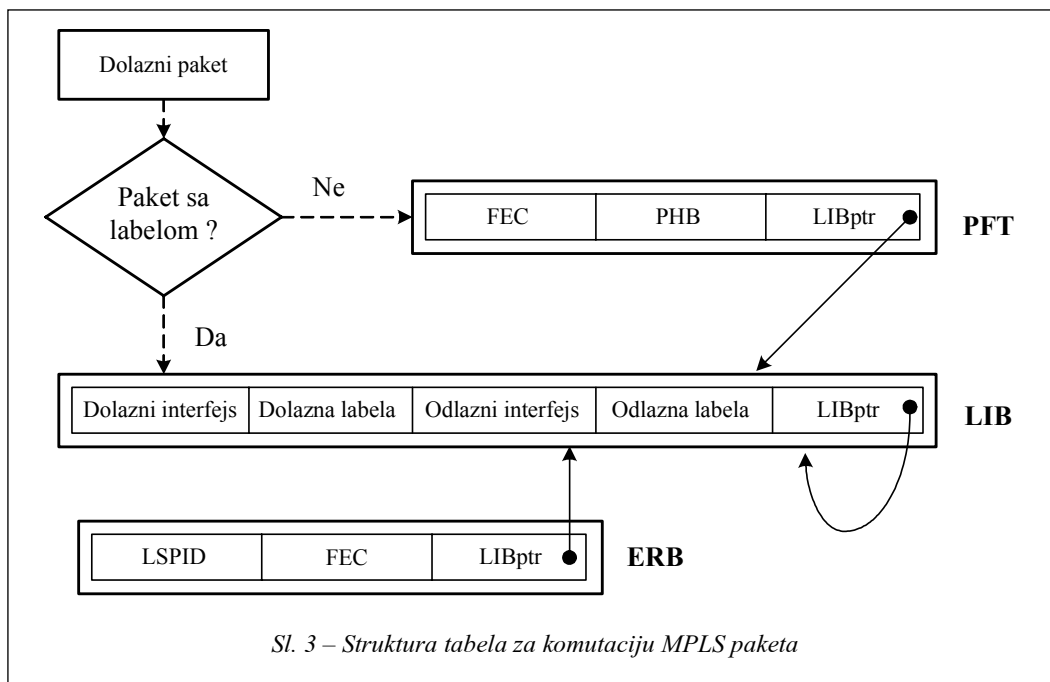
Nakon primanja paketa u MPLS čvor – „MPLS klasifikator“ određuje da li je primljeni paket sa labelom ili bez nje. Ukoliko je sa labelom on obavlja komutaciju labela za dati paket. Ukoliko je bez labela, ali uz postojeću LSP, on se obrađuje kao da je sa labelom. U suprotnom, MPLS klasifikator šalje paket u klasifikator adresa. Tada „klasifikator adresa“ izvršava funkciju prosleđivanja paketa, pri čemu obavlja direktno prosleđivanje ili paket šalje na klasifikator porta.

Za komutaciju labela definisane su tri tabele (slika 3) [7]:

1. Delimična tabela usmeravanja PFT (Partial Forwarding Table) predstavlja podgrupu tabele usmeravanja i koristi se za postavljanje IP paketa na LSP putanju na ulaznom LSR ruteru. Ona se sastoji od polja FEC, PHB i LIBptr. LIBptr



Sl. 2 – Arhitektura MPLS čvora



predstavlja pokazivač (pointer) koji ukazuje na sadržaj LIB tabele. PHB (Per-Hop-Behavior) u okviru PFT tabele služi za pohranjivanje informacija o stanju mreže pri izvršenju određenog skoka u mreži. PFT tabela koristi se kada MPLS čvor primi paket sa labelom ili bez nje. U slučaju paketa bez labele, MPLS čvor pretražuje PFT tabelu za dati FEC paketa (Forwarding Equivalence Class) [8]. Ukoliko se pri ispitivanju sadržaja tabele kao rezultat pojavi NULL, tada MPLS prosleđuje paket korišćenjem L3 šeme prosleđivanja. U suprotnom, MPLS čvor izvršava operaciju premeštanja labele. On je premešta u izlaznu labelu na koju ukazuje LIBptr. Operacija premeštanja labele izvršava se sve dok polje LIBptr ne pokaže NULL. Posle svih operacija nad labelama, paket se usmerava direktno na sledeći čvor na koji ukazuje sadržaj izlaznog interfejsa LIB tabele.

U slučaju paketa sa labelom, MPLS čvor jednostavno pronalazi odgovarajući sadržaj LIB tabele na osnovu tabele koja predstavlja indeks pretraživanja. Tada MPLS čvor izvršava zamenu dolazne labele odlaznom.

2. Informaciona baza o labeli, LIB tabela (Label Information Base), sadrži informacije o uspostavljenoj LSP putanji i koristi se da obezbedi komutaciju labele za labelizovane pakete. Sastoji se od ulazne/izlazne labele i ulaznog/izlaznog interfejsa.

3. Informaciona baza o eksplicitnoj ruti, ERB tabela (Explicit Route information Base), koristi se za pohranjivanje informacija za ER-LSP putanje. Samim tim, ona ne učestvuje u prosleđivanju paketa. Ukoliko je potrebno usmeriti prenos u prethodno uspostavljenu ER-LSP putanju, novi pristup koji ima isti LIBptr, kao i odgo-

varajući ERB, može biti postavljen u PFT tabelu. Sastoji se od polja LSPID, FEC i LIBptr. LSPID polje (Label Switched Path IDentification) ukazuje na sadržaj LSP putanje u MPLS mreži.

Obrada saobraćaja u realnom vremenu

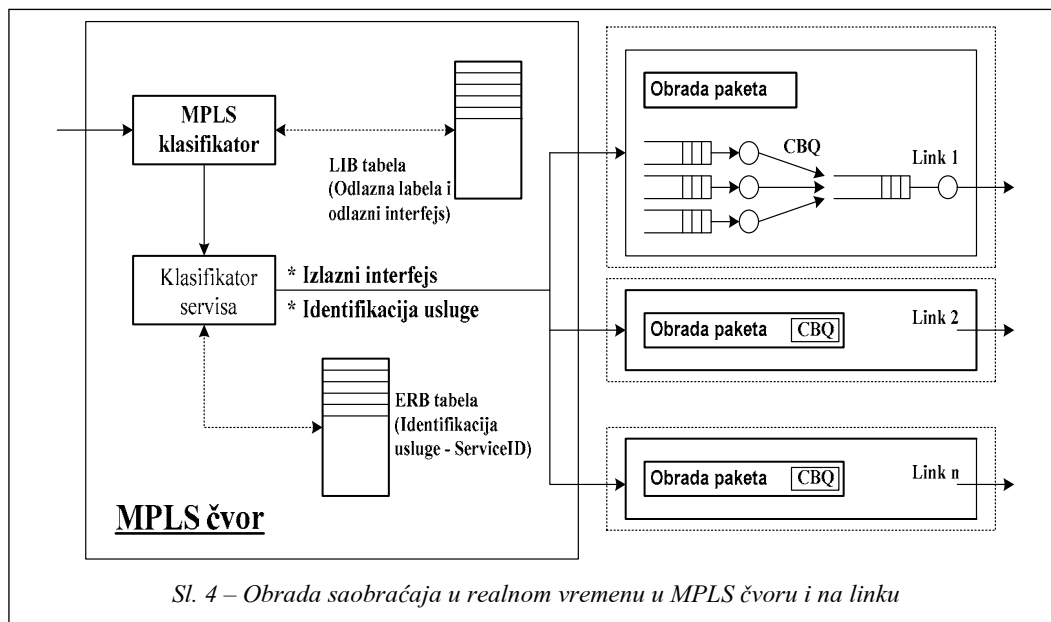
Na slici 4 [1] predstavljena je šema obrade saobraćaja u MPLS čvoru. Kada paketi podataka stignu u MPLS čvor, odlaze u MPLS klasifikator. MPLS čvor ispituje LIB tabelu da bi odredio odlaznu labelu i odlazni interfejs radi izvršenja operacije nad labelom, a zatim analizira ERB tabelu za ServiceID radi obezbeđenja zahtevane usluge. U skladu sa određenom klasom kojoj paket pripada, on se usmerava ka odgovarajućem baferu u uspostavljenom redu čekanja CBQ (Constraint Based Que). U njemu se obrađuje i dalje šalje ka odlaznom interfejsu.

Rezervacija resursa

„Upravljanje pristupom“ i „Upravljanje resursom“ su komponente simulatora koje su implementirane sa funkcijom upravljanja resursom. Upravljanje resursom je komponenta koja je odgovorna za stvaranje, odnosno ukidanje CBQ redova čekanja i upravljanje informacijama resursa (tabela resursa).

Na slici 5 [1] prikazan je proces rezervacije resursa u MPLS čvoru. Kada „CR-LDP“ primi CR-LDP poruku zahteva, on poziva „Upravljanje pristupom“ da proveri da li čvor podržava zahtevani resurs. Ukoliko ustanovi da je zahtevani resurs raspoloživ, upravljanje pristupom izvršava funkciju rezervacije i ažurira tabelu resursa. Zatim se poruka LDP zahteva prenosi u sledeći čvor.

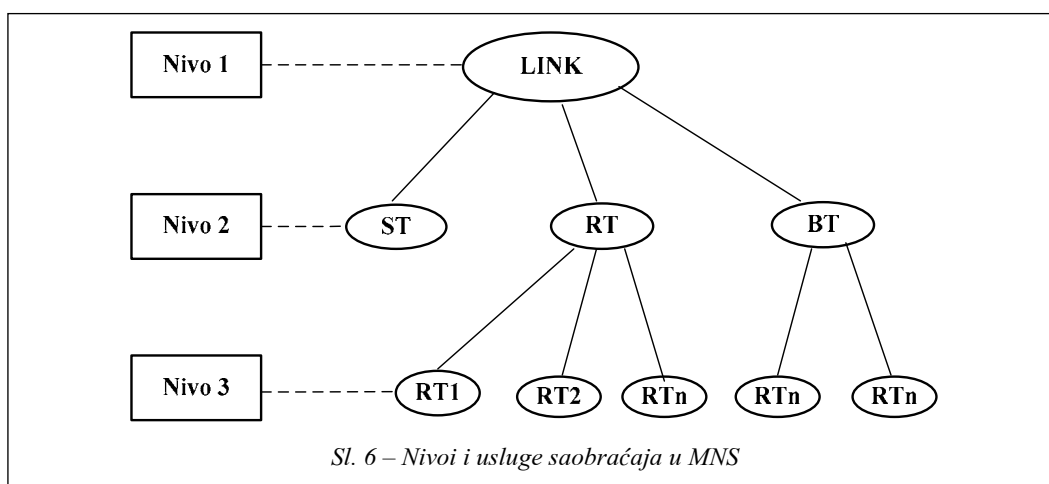
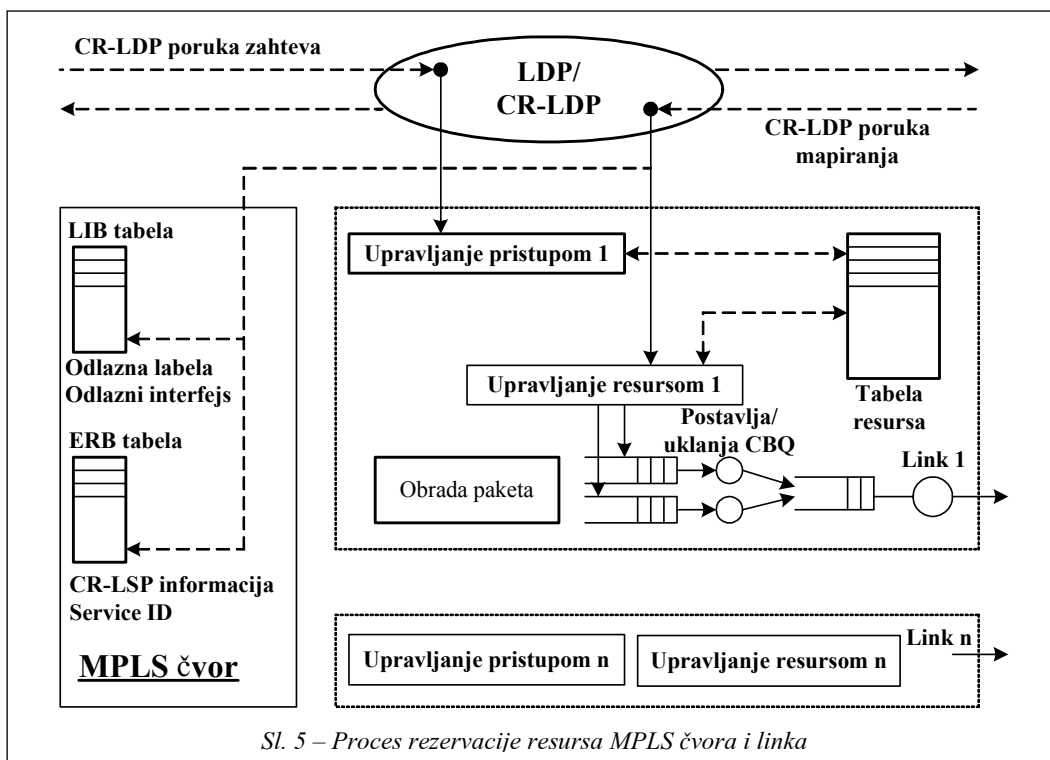
Kada CR-LDP primi poruku preslikavanja, on zapamti labelu i informaciju o odgovarajućem interfejsu u LIB tabeli, kao i informaciju o zahtevanoj CR-LSP

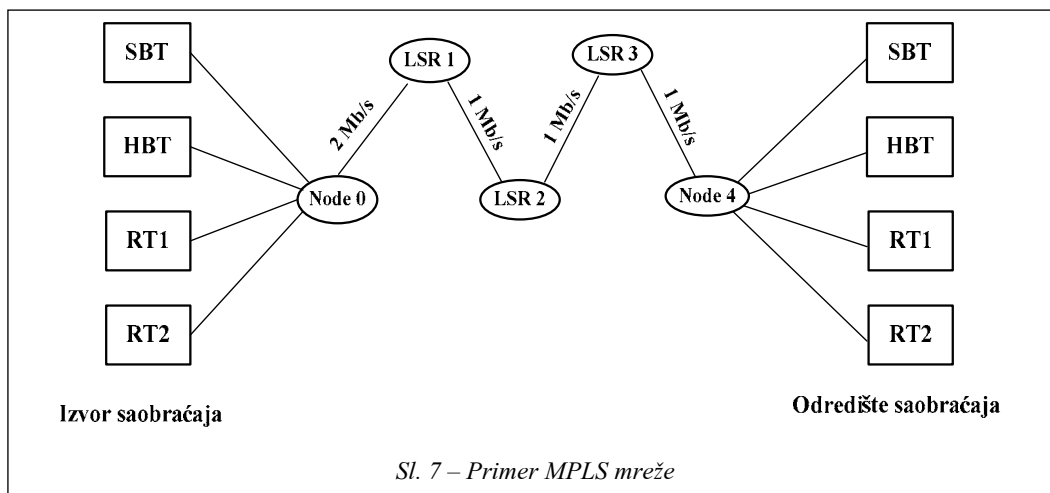


(LSPID) u okviru ServiceID u ERB tabeli. Zatim poziva „Upravljanje resursom“ koji formira red za posluživanje zahtevanog CR-LSP i sačuva njegov ServiceID u ERB tabelu. Posle toga, LSP poruka mapiranja prelazi u prethodni MPLS čvor.

Nivoi saobraćaja

U MPLS simulatoru realizuju se tri nivoa saobraćaja i četiri različite usluge. Prva usluga predstavlja signalizacioni saobraćaj, ST (Signaling Traffic), drugu či-





ni saobraćaj u realnom vremenu, RT (Real-time Traffic), sledeća je „best-effort“ saobraćaj visokog prioriteta, HBT (High „Best-effort“ Traffic) i poslednja usluga predstavlja jednostavni „best-effort“ saobraćaj, SBT (Simple „Best-effort“ Traffic), što je prikazano na slici 6 [1]. Korisnik može da konfigurira određene parametre saobraćaja, kao što su: brzina, veličina bafera, prioritet i druge. Karakteristike ST, HBT i SBT se statistički realizuju pri samoj konfiguraciji simulacionog okruženja, dok se RT dinamički stvara, odnosno raskida kada se realizuje određeni simulacioni događaj, npr. kada CR-LDP poruka stigne u MPLS čvor.

Simulacija QoS definisanog saobraćaja

MPLS simulator predstavlja verziju implementiranu na UNIX sistemu preko ns-2.1b6 programa, na bazi mrežnog simulatora ns 2.1.

Na primeru jednostavne MPLS mreže biće prikazana različita efikasnost i

tačnost MPLS simulatora, kroz simulaciju različitih vrsta MPLS saobraćaja.

Na slici 7 [1], čvorovi Node0 i Node4 su IP čvorovi, dok su LSR1, LSR2 i LSR3, MPLS čvorovi. Definisani su jednostavni „Best-effort“ (SBT) saobraćaj, zatim „Best-effort“ saobraćaj visokog prioriteta (HBT) i dva saobraćajna toka u realnom vremenu. Oni ulaze u mrežu preko ulaznog (ingress) čvora, Node0 i izlaze preko izlaznog čvora (egress) Node4. Definisan je propusni opseg između svakog čvora u mreži i iznosi 1Mb/s, osim na linku između čvorova Node0 (IP ulazni čvor) i LSR1 (prvi MPLS čvor), koji iznosi 2Mb/s. SBT i HBT generišu saobraćaj konstantnog bitškog protoka (CBR) koji iznosi 250 kb/s. Izvori saobraćaja RT1 i RT2 generišu, takođe, saobraćaj konstantnog bitškog protoka od 350 kb/s, odnosno 450 kb/s, respektivno. Generisani saobraćaj je sa Pusionovom raspodelom. U prikazanoj analizi biće izvršena samo simulacija saobraćaja konstantnog bitškog protoka, dok se saobraćaj promenljivog bitškog protoka neće razmatrati.

Tabela 1

Programski kod simulacije QoS definisanog saobraćaja

```

#          setup-er-lsp {FEC  ER(Explicit Route)  LSPID}
$ns at 0.1 „$LSR1 setup-er-lsp      3          1_2_3          1000“
$ns at 0.1 „$LSR1 setup-er-lsp      3          1_2_3          1100“
#          setup-cr-lsp {FEC ER LSPID Bandwidth BufferSize PacketSize SetupPrio
#                                     HoldingPrio}
$ns at 0.1 „$LSR1 setup-cr-lsp 3  1_2_3      1200   350K   400   200   7   3“
$ns at 1.0 „$SBT start“
$ns at 1.0 „$HBT start“
$ns at 1.0 „$RT1 start“
$ns at 10.0 „$LSR2 setup-cr-lsp 3  1_2_3      1300   450K   400   200   7   3“
$ns at 11.0 „$RT2 start“
$ns at 30.0 „$RT2 stop“
$ns at 31.0 „$LSR1 release-lsp-using-release 1300“
$ns at 40.0 „$SBT stop“
$ns at 40.0 „$HBT stop“
$ns at 40.0 „$RT1 stop“

```

Može se zaključiti da je ukupno opterećenje veće od propusnog opsega MPLS mrežnog linka (1,3 Mb/s u odnosu na mrežni od 1Mb/s).

Pretpostavka je da su uspostavljene četiri LSP putanje za dati saobraćaj od kojih su dve ER-LSP za SBT i HBT, a dve CR-LSP sa RT1 i RT2. U prvoj de-

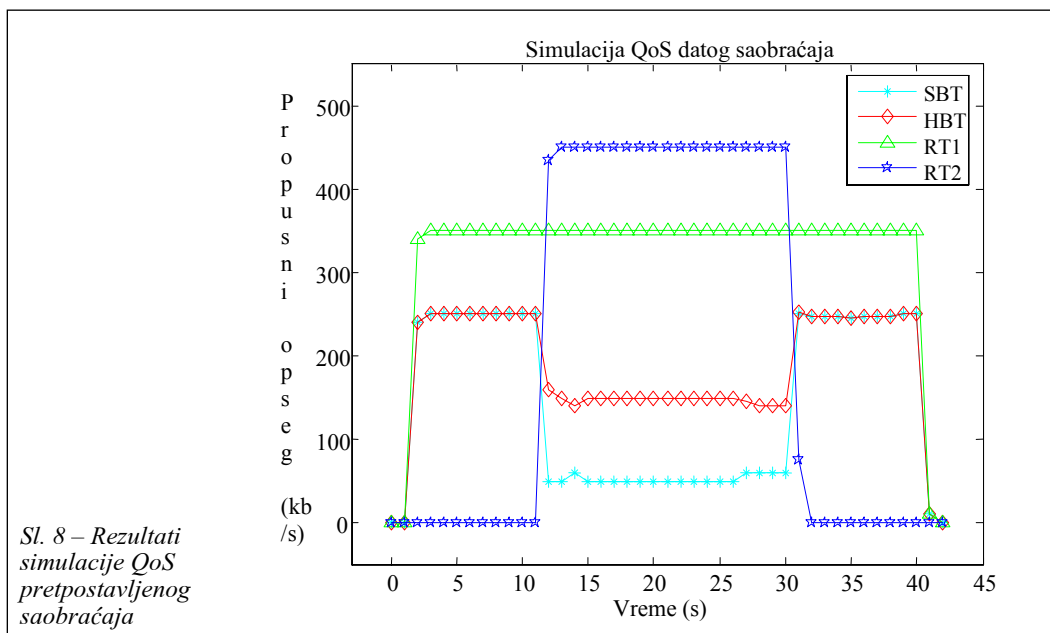


Tabela 2

Programski kod simulacije prioriteta nad resursom

\$ns at 0.1 „\$LSR1 setup-er-lsp	3	1_2_3	1000“
\$ns at 0.1 „\$LSR1 setup-er-lsp	3	1_2_3	1100“
#setup-priority=7, holding-priority=4 for RT1 traffic			
\$ns at 0.1 „LSR1 setup-cr-lsp	3	1_2_3	1200 600K 400 200 7 4“
\$ns at 1.0 „\$SBT start“			
\$ns at 1.0 „\$HBT start“			
\$ns at 1.0 „\$RT1 start“			
#setup-priority=3, holding-priority=2 for RT2 Traffic			
\$ns at 10.0 „LSR1 setup-cr-lsp	3	1_2_3	1300 700K 2000 200 3 2“
\$ns at 11.0 „\$RT2 start“			
\$ns at 30.0 „\$RT2 stop“			
\$ns at 31.0 „\$LSR1 release-lsp-using-release 1300“			
\$ns at 40.0 „\$SBT stop“			
\$ns at 40.0 „\$HBT stop“			
\$ns at 40.0 „\$RT1 stop“			

setinki sekunde uspostavljeni su ER-LSP putanje za SBT i HBT i CR-LSP za RT1. U prvoj sekundi izvori SBT, HBT i RT1 počinju da generišu definisani saobraćaj. U desetoj sekundi uspostavlja se CR-LSP za saobraćaj RT-2, dok saobraćaj RT2 počinje da se generiše u jedanaestoj sekundi simulacije. U 30. sekundi, izvor RT2 prekida generisanje saobraćaja i CR-LSP, koja je uspostavljena za RT2, oslobađa se u 31. sekundi. I, konačno, SBT, HBT i RT1 zaustavljaju generisanje saobraćaja u 40. sekundi.

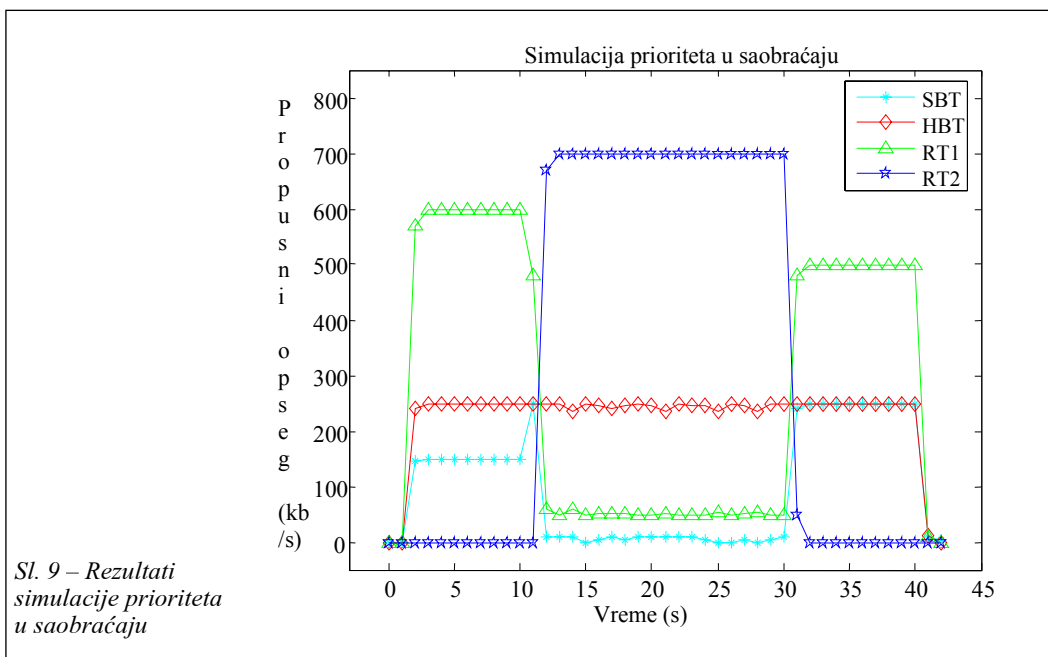
Rezultati simulacije pokazuju da je ukupno opterećenje na vezi između 11. i 30. sekunde približno jednako definisanom opterećenju u MPLS mreži, što govori da je iskorišćenost linka veoma velika. Dok RT1 i RT2 koji uspostavljaju CR-LSP mogu postići prenos celokupno generisanog saobraćaja na izvoru (350 kb/s, odnosno 450 kb/s, respektivno),

SBT i HBT preko ER-LSP mogu da iskoriste samo ostatak kapaciteta propusnog opsega definisanog linka (odnosno približno oko 150 kb/s za HBT i oko 50 kb/s za SBT saobraćaj).

Simulacija prioriteta nad resursom

U ovom delu prikazan je deo koda simulacije prioriteta u dodeli resursa definisanog CR-LSP parametrima (tabela 2). Za ovu simulaciju saobraćaj koji potiče od SBT i HBT je kao u prethodnom slučaju (po 250 kb/s), dok RT1 i RT2 generišu saobraćaj konstantnog bitskog protoka od 600 kb/s, odnosno 700 kb/s, respektivno. Na ovaj način definisano, ukupno saobraćajno opterećenje je veće od propusnog opsega date MPLS mreže (1,8 Mb/s).

Vrednosti „setup-priority“ (uspostavljanje prioriteta) i „holding-priority“ (održavanje prioriteta) za CR-



LSP putanju izvora saobraćaja RT1 iznose 7 i 4, respektivno. Vrednosti „setup-priority“ i „holding-priority“ za CR-LSP putanju izvora RT2 iznose 3 i 2. Na ovaj način definisano, zaključuje se da izvor saobraćaja RT2 ima prednost nad rezervacijom resursa u odnosu na RT1, jer je vrednost „setup-priority“ izvora RT2 niža od vrednosti „holding-priority“ izvora RT1, odnosno definisane vrednosti 3 i 4, respektivno.

Rezultati simulacije pokazuju da je resurs izvora RT1 koristio izvor RT2, u trajanju 11 sekundi (kao što se vidi sa slike 9). U tom periodu RT1 je posmatran kao SBT. S druge strane, jedino je RT2 dostigao zahtevani propusni opseg od 700 kb/s, dok su SBT, HBT i RT1 imali na raspolaganju ostatak propusnog opsega (HBT oko 250 kb/s, a RT1 i SBT ukupno oko 50 kb/s).

Zaključak

U radu su analizirane karakteristike simulatora MPLS mreže sa ciljem da se ukaže na mogućnosti njegovog korišćenja pri projektovanju IP mreža, koje podržavaju QoS multimedijalnih usluga. Opisana je jednostavna MPLS mreža definisane topologije i saobraćajnih karakteristika kojom se uspostavlja CR-LSP.

Korišćenjem MNS mrežnog simulatora, simulirana su dva primera. U prvom primeru je prikazana analiza QoS definisanog saobraćaja konstantnog bit-skog protoka, po dvema LSP putanjama (CR-LSP i ER-LSP). Rezultati simulacije pokazuju da se u slučaju uspostavljanja CR-LSP putanje kroz mrežu može postići prenos celokupnog saobraćaja generisanog na izvoru, dok se u slučaju ER-LSP putanje prenos generisanog saobraćaja obavlja samo u preo-

stalom delu propusnog opsega datog linka. Drugim primerom simuliran je prioritet u dodeli resursa saobraćaja, pri čemu je pokazano da izvor saobraćaja sa dodeljenim nižim vrednostima uspostavljanja i održavanja prioriteta koristi resurse izvora (prenosni oseg linka) sa dodeljenim višim vrednostima prioriteta (primer izvor saobraćaja RT2 u odnosu na RT1). Oba primera ukazuju na jednostavnost, praktičnost i efikasnost mrežnog simulatora MNS.

Literatura:

- [1] <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/ns-man.html>
- [2] Bilel Jamoussi, Constraint-Based LSP Setup using LDP, Internet Draft, Oct. 1999.
- [3] Bruce Davie, Paul Doolan, Yakov Rekhter, Switching in IP Networks: IP Switching, Tag Switching, and Related Technologies, Morgan Kaufmann Publishers, Inc. 1998.
- [4] Eric, C. Rosen, Arun Viswanathan, Ross Callon, Multiprotocol Label Switching Architecture, Internet Draft, April 1999.
- [5] W. Stallings, High-speed Networks and Internets, Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [6] C. Huang, V. Sharma, S. Makam, K. Owens, Path Protection/Restoration Mechanism for MPLS networks, work in progress, Internet Draft draft-chang-mpls-path-protection 02.txt. Jul 2000.
- [7] Gaeil Ahn, Wookik Chun, Overview of MPLS Network Simulator: Design and Implementation, Internet Draft
- [8] Jevtović, M.: Multimedijalne komunikacije, Grafo-žig, Beograd, 2004.

Tabela 1

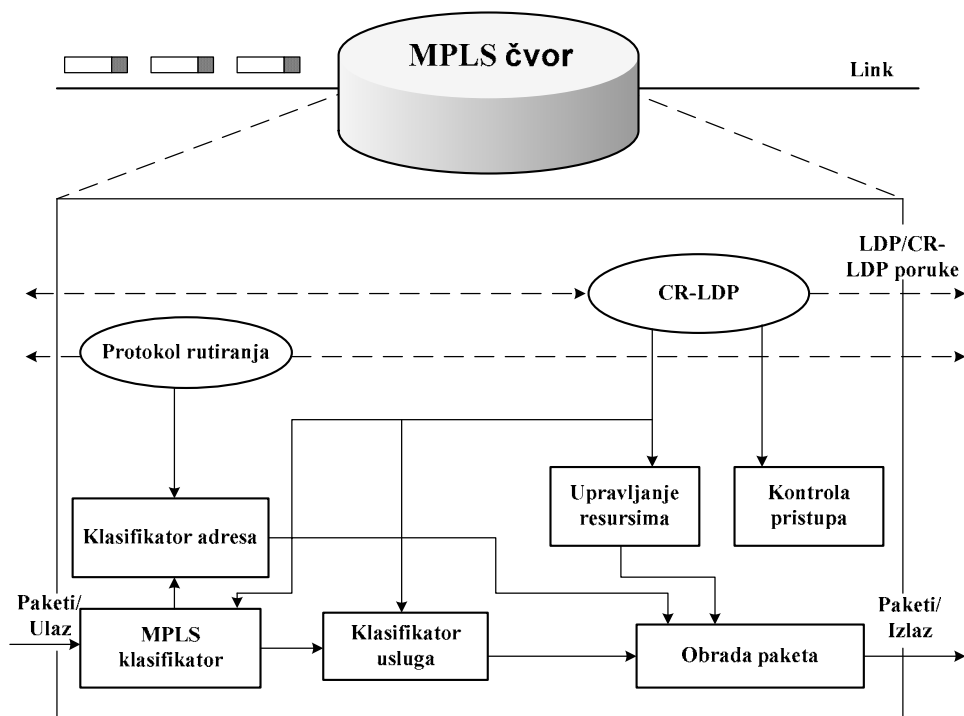
Programski kod simulacije QoS definisanog saobraćaja

#	setup-er-lsp {FEC ER(Explicit Route) LSPID}								
\$ns at 0.1	„LSR1 setup-er-lsp	3	1_2_3	1000					
\$ns at 0.1	„LSR1 setup-er-lsp	3	1_2_3	1100					
#	setup-cr-lsp {FEC ER LSPID Bandwidth BufferSize PacketSize SetupPrio HoldingPrio}								
\$ns at 0.1	„LSR1 setup-cr-lsp	3	1_2_3	1200	350K	400	200	7	3
\$ns at 1.0	„SBT start“								
\$ns at 1.0	„HBT start“								
\$ns at 1.0	„RT1 start“								
\$ns at 10.0	„LSR2 setup-cr-lsp	3	1_2_3	1300	450K	400	200	7	3
\$ns at 11.0	„RT2 start“								
\$ns at 30.0	„RT2 stop“								
\$ns at 31.0	„LSR1 release-lsp-using-release 1300“								
\$ns at 40.0	„SBT stop“								
\$ns at 40.0	„HBT stop“								
\$ns at 40.0	„RT1 stop“								

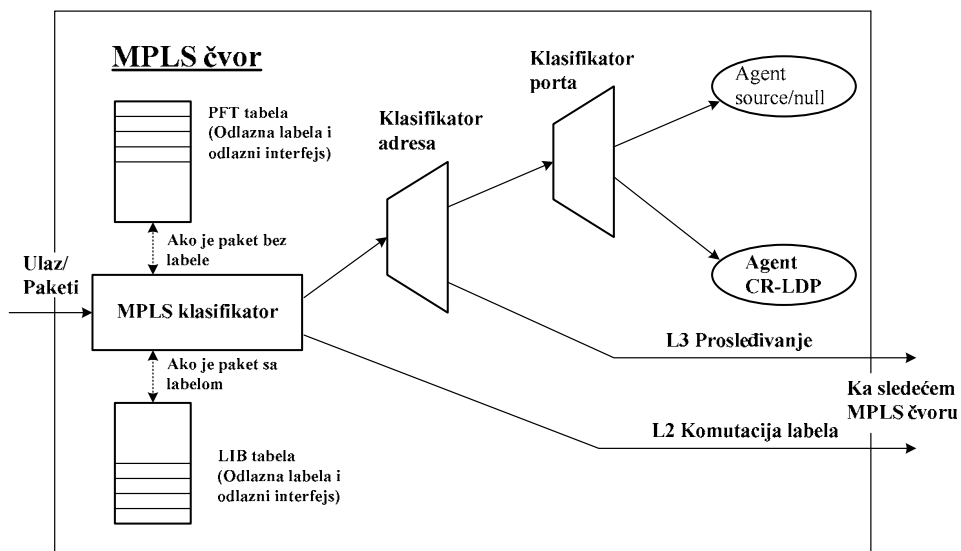
Tabela 2

Programski kod simulacije prioriteta nad resursom

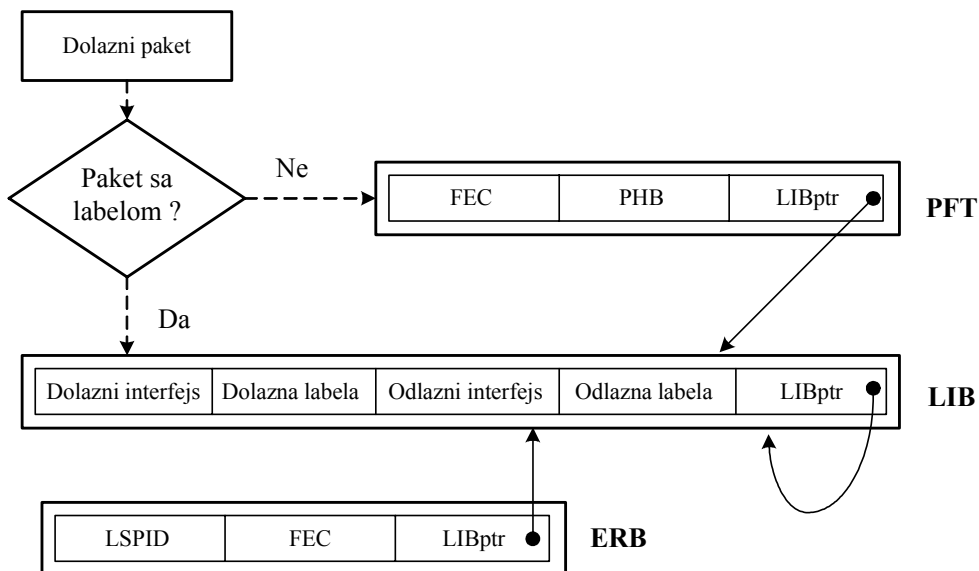
\$ns at 0.1	„LSR1 setup-er-lsp	3	1_2_3	1000					
\$ns at 0.1	„LSR1 setup-er-lsp	3	1_2_3	1100					
#setup-priority=7, holding-priority=4 for RT1 traffic									
\$ns at 0.1	„LSR1 setup-cr-lsp	3	1_2_3	1200	600K	400	200	7	4
\$ns at 1.0	„SBT start“								
\$ns at 1.0	„HBT start“								
\$ns at 1.0	„RT1 start“								
#setup-priority=3, holding-priority=2 for RT2 Traffic									
\$ns at 10.0	„LSR1 setup-cr-lsp	3	1_2_3	1300	700K	2000	200	3	2
\$ns at 11.0	„RT2 start“								
\$ns at 30.0	„RT2 stop“								
\$ns at 31.0	„LSR1 release-lsp-using-release 1300“								
\$ns at 40.0	„SBT stop“								
\$ns at 40.0	„HBT stop“								
\$ns at 40.0	„RT1 stop“								



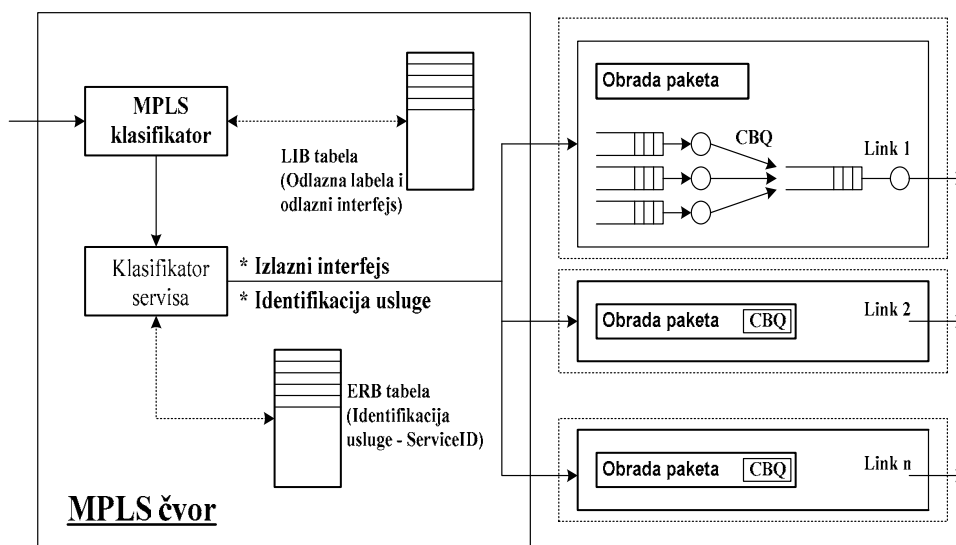
Sl. 1 – Model mrežnog simulatora



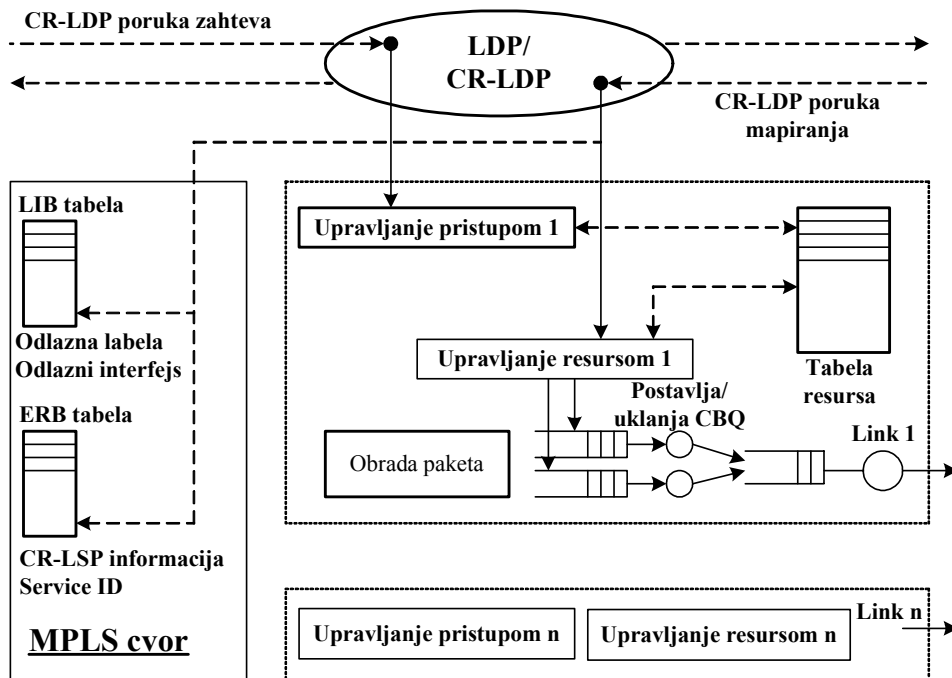
Sl. 2 – Arhitektura MPLS čvora



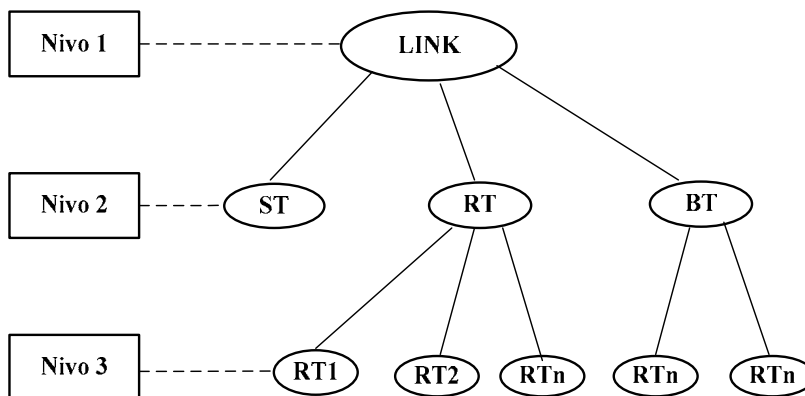
Sl. 3 – Struktura tabela za komutaciju MPLS paketa



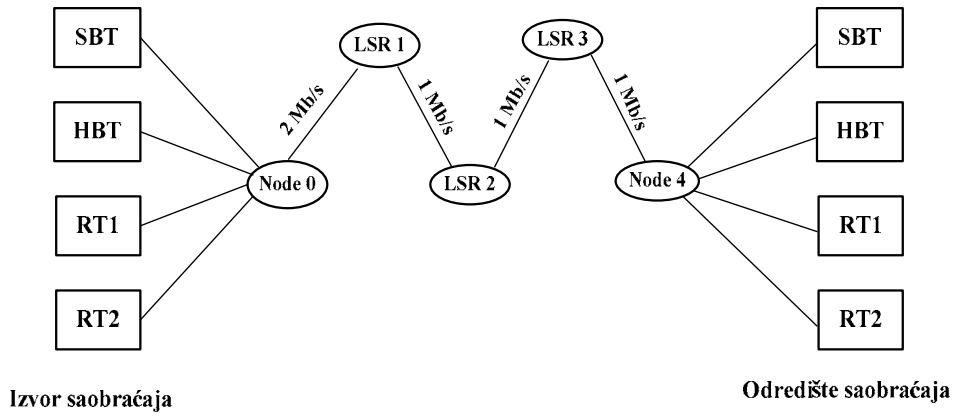
Sl. 4 – Obrada saobraćaja u realnom vremenu u MPLS čvoru i na linku



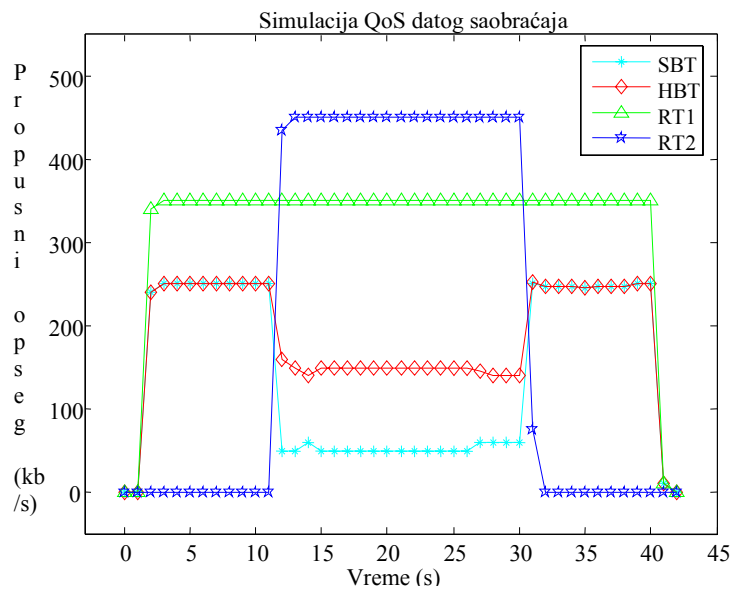
Sl. 5 – Proces rezervacije resursa MPLS čvora i linka



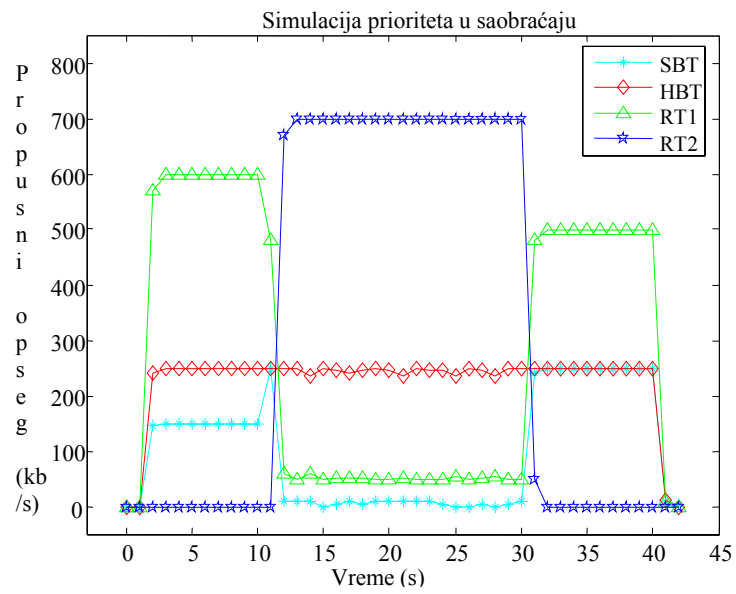
Sl. 6 – Nivoi i usluge saobraćaja u MNS



Sl. 7 – Primer MPLS mreže



Sl. 8 – Rezultati simulacije QoS pretpostavljenog saobraćaja



Sl. 9 – Rezultati simulacije prioriteta nad saobraćajem