

# MPLS-Poboljšanje funkcionalnosti usmeravanja i aplikacije

Nenad Nikolić

Student prvog ciklusa studija

Fakultet za Informacione tehnologije, Slobomir P Univerzitet

Bijeljina, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina

nenadnikolic24@gmail.com

*Sadržaj*—U ovom radu će biti objašnjen pojam MPLS-a, način na koji on funkcioniše, kao i LFA algoritam na kome je zasnovano prosleđivanje paketa MPLS mrežom. Posebna pažnja će se posvetiti MPLS aplikacijama (traffic engineering, CoS i VPN). U poglavlju MPLS traffic engineering detaljno je objašnjen postupak minimiziranja zagušenja u mreži. Analizirana je mogućnost poboljšanja funkcionalnosti usmeravanja pomoću MPLS-a.

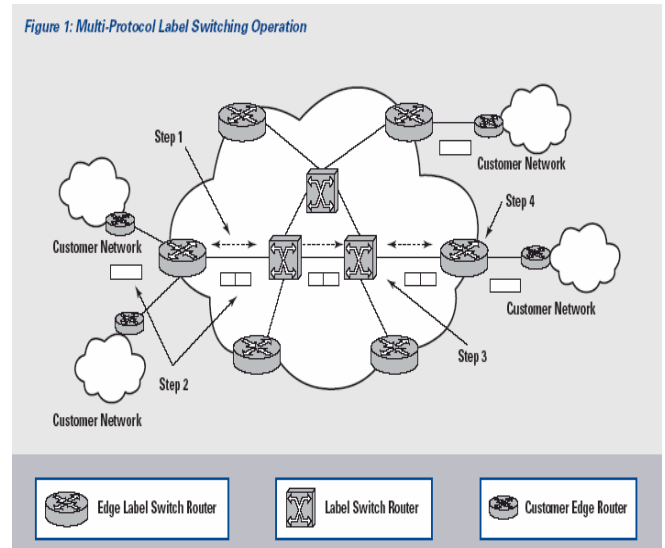
*Ključne riječi*-MPLS; LFA; Traffic engineering ; CoS; VPN.

## I. UVOD

Mreže su, u svojim počecima, bile male i zahtevi na njih nisu bili toliko rigorozni kao u današnja vremena. S vremenom su mreže porasle i u njima se koristi sve više različitih protokola. Neki od današnjih usmerivačkih protokola se nisu menjali godinama ili su doživeli samo manje promene, a najveći iskorak napravljen je tek u zadnje vreme i to sa *MultiProtocol Label Switching* (MPLS) protokolom. Jedan od glavnih razloga za uvođenje i primenu MPLS-a bila je brzina kojom su se IP paketi usmeravali kroz mrežu. Tadašnje softversko usmeravanje IP paketa se smatralo puno sporijim u odnosu na preklapanje pomoću labela. Danas je usmeravanje IP paketa uveliko ubrzano i brzina se više ne može smatrati glavnim razlogom za uvođenje i primenu MPLS-a u mrežama. MPLS je tehnologija koja osigurava tradicionalni model prosleđivanja paketa kroz mrežu, ali na mnogo elegantniji, efikasniji i brži način. U tradicionalnom modelu usmeravanja zaglavljje svakog paketa koji prolazi mrežom se analizira pri svakom koraku na njegovom putu od rutera do rutera. Za razliku od tog načina MPLS koristi postupak zvan zamena labela (*label swapping*) za transport paketa kroz mrežu. Bitna prednost tog postupka je da se informacije iz zaglavljja paketa analiziraju samo jednom a dalje se postupak usmeravanja paketa zasniva samo na labelama. Labele su zapravo kratke i fiksne dužine (oko 30 bita) identifikacijske oznake paketa.

## II. PRINCIP RADA MPLS-A

Intenzivna analiza paketa obavlja se samo jednom i to na ulazu MPLS mreže koga nazivamo LER (*Label Edge Router*). Na LER-u se na osnovu analize zaglavljja stvara MPLS zaglavljje (labela) koja se umeće unutar zaglavljja paketa i to između drugog i trećeg sloja ISO/OSI modela. [1] Na Sl 1. prikazan je postupak prosleđivanja paketa kroz MPLS mrežu.



Slika 1. Prosleđivanje paketa kroz MPLS mrežu

- **1. korak** - Mreža automatski gradi tablice usmeravanja na temelju poznatih mehanizama kao što je OSPF (*Open shortest path first*), BGP (*Border gateway protocol*) ili IS-IS (*Intermediate System to Intermediate System*). Smeštene su na svakom ruteru unutar MPLS mreže i definišu kako koji ruter učestvuje u procesu prosleđivanja paketa. LDP (*Label Distribution Protocol*) na temelju tablica i mrežne topologije ostavlja vrednosti labela između susednih elemenata. Ta operacija kreira LSP (*Label Switching Paths*) koji su zapravo unapred kreirana mapa puteva između određanih krajnjih tačaka.
- **2. korak** - Paket ulazi na ulazni LER gde mu se na temelju zaglavljja određuje labela, ubacuje unutar zaglavljja te se paket prosleđuje do narednog rutera koga nazivamo LSR (*Label Switching Router*).
- **3. korak** - LSR u jezgru MPLS mreže čita labelu na svakom primljenom paketu, traži odgovarajući zapis unutar tablice usmeravanja i na temelju njega postavlja novu labelu i prosleđuje ka sledećem ruteru. Ovaj korak se ponavlja na svakom LSR-u unutar jezgra.

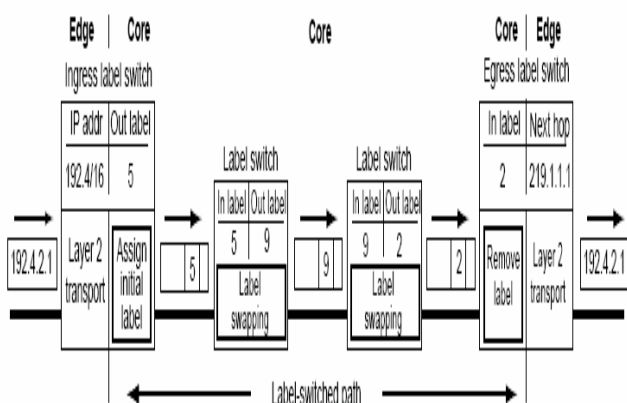
- **4. korak** – Izlazni LER skida i odbacuje labelu, čita zaglavlje paketa i prosleđuje ga na određenu adresu zapisanu unutar IP zaglavlja.

Za omogućavanje poslovnih IP servisa, najvažnija prednost MPLS-a je mogućnost dodeljivanja labela sa posebnim značenjem. Setovi labela mogu razlikovati informacije o usmeravanju. To nam omogućava stvaranje odvojenih tipova prenosa i stvaranje odvojenih puteva za različite usluge. MPLS razdvaja usmeravanje paketa od informacija IP zaglavlja i koristi drugačije mehanizme za dodjeljivanje labela. Ta karakteristika je neophodna za implementiranje naprednih IP usluga kao QOS, Virtual Private Networks (VPNs) i Traffic Engineering.

### III. LABEL-SWAPPING FORWARDING ALGORITAM

Prosleđivanje svih paketa MPLS mrežom zasnovano je na LFA (*label-swapping forwarding algorithm*). Signalizacije i razmena labela su glavne operacije LFA. Labela je, kao što smo već i ranije rekli, kratka i fiksne dužine, vrednost pohranjena u zaglavlju paketa koja određuje Forwarding Equivalence Class (FEC). FEC je zapravo skup paketa koji se prosleđuju kroz MPLS mrežu istim putem (Label-Switched Path) iako im određene adrese i nisu iste. Label-swapping forwarding algoritam zahteva klasifikaciju paketa i dodeljivanje početnih labela na ulaznom rubu mreže (ulazni LER). Kao što vidimo na [1] Sl 2. ulazni LER prima neoznačeni paket sa određeno adresom 192.4.2.1, traži najduže poklapanje u svojoj tablici usmeravanja i prema tome pridjeljuje paket određenom FEC-u. Zatim označava paket određenom labelom (u ovom slučaju vrednost 5) i prosleđuje ga dalje.

Label-Switched Path (LSP) je unapred određeni put, ekvivalentan sa virtuelnim krugom, jer definiše put od ulazne do izlazne tačke MPLS mreže kojim prolaze svi paketi svrstani u određeni FEC. U jezgru mreže usmerivači (Label Switch) zanemaruju mrežno zaglavlje paketa i jednostavno usmeravaju pakete koristeći label-swapping algoritam.



Slika 2. LFA algoritam

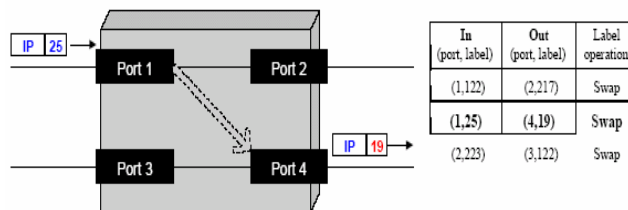


Figure 1: LSR forwarding components

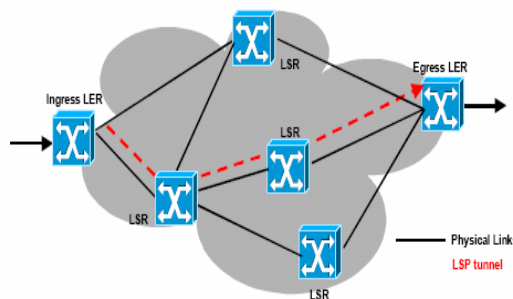


Figure 2: Ingress, Intermediate, and Egress routers

Slika 3. LFA algoritam

Kada označeni paket dođe do određeno usmerivača (LSR) on na temelju ulaznog porta i labela traži podudaranje u svojoj tablici usmeravanja, menja labelu i prosleđuje paket na određeni izlazni port. Taj postupak se ponavlja na svakom LSR-u unutar jezgra MPLS mreže.

Kada označeni paket stigne do izlaznog LER-a on takođe pretražuje svoju tablicu usmeravanja. Ako ustanovi da sledeći korak nije zamena labela on briše labelu i prosleđuje paket dalje koristeći konvencionalne metode IP usmeravanja.

LFA (label-swapping forwarding algorithm) daje značajan broj prednosti u poređenju sa konvencionalnim mrežnim usmeravanjem:

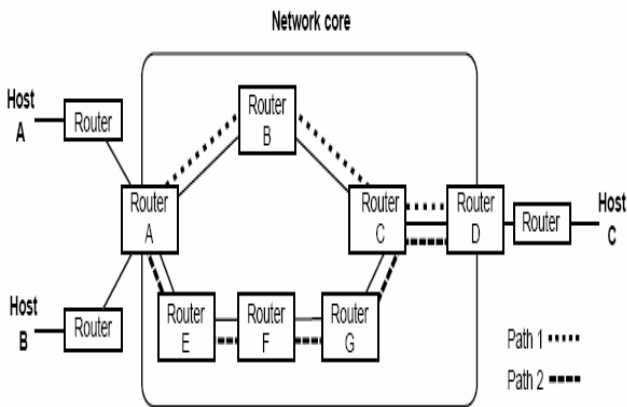
- daje pružiocu usluga (service provider) ogromnu fleksibilnost u izboru načina na koji svrstava pakete u određeni FEC. Na primer, simuliranje konvencionalnog načina IP usmeravanja može se ostvariti jednostavno raspodelom paketa u FEC-ove na temelju određeno IP adrese. Za razliku od toga paketi u MPLS mreži mogu biti raspoređivani na neograničeno mnogo mogućnosti (npr. mesta ulaska u mrežu, mesta izlaska iz mreže, izvorišnoj adresi ... ili bilo kojoj kombinaciji prethodnih)
- pružilac usluga može konstruirati korisniku prilagođen LSP koji podržava specifične zahteve. LSP može biti dizajniran da minimizira broj stanica na putu, da održava određenu propusnost, podržava određene performanse, zaobilazi potencijalne tačke zagušenja ili jednostavno usmeri promet kroz određene tačke mreže
- bitna prednost LFA algoritma je mogućnost povezivanja bilo kog tipa korisničkog prometa sa FEC-om i određivanje LSP koji su specijalno dizajnirani da zadovolje potrebe tog tipa prometa

- konačno, jedna od najvažnijih karakteristika MPLS-a je mogućnost kreiranja i održavanja virtuelnih privatnih mreža (VPN). Osnovna ideja VPN-a je da se sakrije promet paketa od ostalih korisnika mreže korišćenjem posebnih labela i LSP-ova. Tim rešenjem implementirana VPN nevidljiva je ostalim korisnicima i samim time pruža sigurnost i pouzdanost.

#### IV. POBOLJŠANJE FUNKCIONALNOSTI USMERAVANJA

Kako MPLS može poboljšati funkcionalnost mreže?

Pretpostavimo da ruteri u jezgru mreže koriste konvencionalni (longest-match IP) način usmeravanja. Ako korisnik A šalje paket korisniku C, paket sledi put 1 (Path 1), jer je to najkraći put izračunat sa IGP, ali ako i korisnik B šalje paket korisniku C paket prolazi istim putem kroz jezgro. Zbog toga može doći do zagušenja na ruteru B. Mrežni administrator takve pojave treba smanjiti na minimum. Njegov zadatak je da implementira pravila za kontrolu zagušenja na ruteru B, koja će raspodeliti promet na različite puteve kroz mrežu. Npr. promet poslat od A prema C neka sledi put 1, a promet od B ka C put 2. Takva raspodela nije moguća konvencionalnim načinom usmeravanja baziranom na analizi IP adresa, ali ako ruteri u jezgru funkcionišu kao LSR-ovi lako je implementirati pravila da se spreči zagušenje na ruteru B. Mrežni administrator konfigurira LSP 1 koji sledi put 1 i LSP 2 koji će slediti put 2 i na kraju konfigurira LSR A da raspodeli promet kako je prethodno opisano. Te mogućnosti kreiranja puteva kroz mrežu omogućuju administratoru preciznu kontrolu tokova prometa kroz mrežu.



Slika 4. Poboljšanje funkcionalnosti usmeravanja

#### V. MPLS APLIKACIJE

Trenutno postoje tri popularne aplikacije za MPLS jezgra velikih ISP mreža:

- Traffic Engineering
- Class of Service (CoS)
- Virtual Private Networks (VPNs)

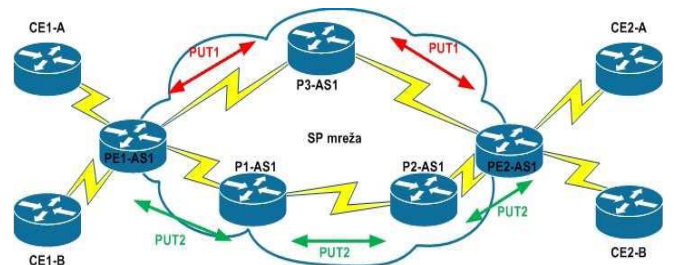
##### A. MPLS Traffic Engineering

MPLS je strateški značajan za prometno inženjerstvo. MPLS pruža mogućnost automatizacije funkcionalnosti prometnog inženjerstva. Upotreba MPLS-a za prometno inženjerstvo može se prepisati sledećim faktorima:

- Eksplicitni putevi koji se ne temelje na prosleđivanju na temelju odredišta već jednostavnim kreiranjem administratora ili automatizovanim delovanjem protokola.
- Učinkovito održavanje LSP-ova
- Prometni tokovi se preslikavaju u određeni LSP
- Skup atributa može biti povezan sa prometnim tokovima
- Skup atributa može biti povezan sa resursima koji ograničavaju LSP i prometne tokove preko njega
- MPLS dozvoljava i agregiranje i razdvajanje, dok klasično IP prosleđivanje na temelju odredišta dopušta samo agregiranje prometa
- Mogućnost integrisanja usmeravanja na temelju ograničenja (CBR)

MPLS TE (*MPLS Traffic Engineering*) tehnologija igra veoma bitnu ulogu u implementaciji mrežnih usluga koje zahtevaju određene garancije za kvalitet usluge (QoS). Mreže bazirane na MPLS tehnologiji koriste TE mehanizme da bi minimizirali zagušenja u mreži i na taj način poboljšali performanse mreže. Na [3] Sl 5. prikazana je tradicionalna IP mreža.

Postoje dva različita puta između korisničkih usmerivača CE1-A i CE2-A preko mreže pružioca usluga. Ako su sve veze između usmerivača iste dužine, preferirani put će biti onaj sa manjom težinom (preko PE1-AS1, P3-AS1 i PE2-AS1) odnosno PUT1. Isti put će biti odabran i za korisniče usmerivače CE1-B i CE2-B koji pripadaju korisniku B. Ukoliko je kapacitet voda 100 Mbps i korisnik A i B troše kapacitet veći od 100 Mbps, neki paketi će biti odbačeni, odnosno dolazi do gubitaka paketa.



Slika 5. Tradicionalna IP mreža

TE može izmeniti postojeće usmerivačke šeme u cilju efikasnijeg raspoređivanja prometnih tokova prema raspoloživim mrežnim resursima. Efikasnije šeme za raspoređivanje mogu reducirati pojavu zagušenja na mreži, te poboljšati kvalitet usluge u vidu smanjenja kašnjenja prilikom pristizanja paketa na određite, reduciranja broja pogrešno poslatih i izgubljenih paketa. Za razliku od Internet protokola koji koristi metodu usmeravanja sa zadanom odredišnom IP adresom, MPLS tehnologija podržava simultano korišćenje usmeravanja baziranog na odredišnoj adresi i eksplicitnog usmeravanja koje je moguće koristiti zahvaljujući RSVP, odnosno LDP protokolu.

Naime, prije nego što se izvrši preslikavanje paketa na LSP, vrši se kompletno uspostavljanje i signaliziranje LSP od ulaznog do izlaznog čvora tako da se tačno odrede unutrašnji čvorovi, te izvrši alokacija resursa na njima pomoću nekog od signalizacijskih protokola. Svaki zahtev za uspostavljanjem LSP-a stiže od usmerivača koji određuje eksplicitnu rutu za LSP. Zahtev prema poslužitelju stiže direktno ili preko ulaznog usmerivača koji prvi prima ovaj zahtev. Nakon toga se vrši propagiranje informacija o eksplicitnoj ruti preko svih čvorova koji se nalaze duž predviđene putanje, te se uz pomoć signalizacionih mehanizama vrši rezervacija pojasa širine na svakom od vodova. Za proračun eksplicitnih ruta uzima se pretpostavka da usmerivač poseduje znanje o trenutnoj topologiji mreže i dostupnim kapacitetima. Informacije o trenutnom stanju mrežnih resursa dostupne su preko postojećih usmerivačkih algoritama (OSPF i IS-IS) odnosno njihovih proširenja za MPLS TE mehanizme (OSPF-TE i ISIS-TE). U okviru MPLS TE-a razvijeno je niz različitih usmerivačkih algoritama koji na određeni način pokušavaju rešiti postojeće probleme i optimizirati korišćenje mrežnih resursa.

### B. Class of Service

MPLS dopušta pružaocima usluga da podržavaju različite usluge. Različite usluge zahtevaju različite mehanizme klasificiranja prometa u manji broj uslužnih razreda. Pretplatnici žele koristiti Internet kao javni način transporta za veći broj različitih aplikacija od običnog prenosa podataka pa do kašnjenja osetljivih usluga kao što su video i audio. Da bi zadovoljili korisnikove zahteve ISP mora usvojiti ne samo traffic engineering tehnike već i tehnologiju klasifikacije prometa.

ISP ima dvije mogućnosti za poboljšanje klasifikacije usluga:

- Prometni tokovi na svojim LSP-ovima mogu biti propušteni kroz pojedine LSR-e prema prioritetu prolaska. To znači da bi se paketi trebali zadržavati u redu čekanja na izlaznom mestu LSR-a i biti propušteni prema prioritetu navedenom u MPLS zaglavlju
- ISP može ostvariti više mogućih LSP-ova između svakog para LSR-a. Svaki LSP može biti konstruisan tako da osigura različite performanse i propusnost. Tako bi ulazni LER mogao raspodeljivati recimo promet sa najvišim prioritetom na jedan LSP, sa

srednjim prioritetom na drugi LSP, promet koji traži najbolji QoS na treći LSP...

### C. VPN (Virtual Private Networks)

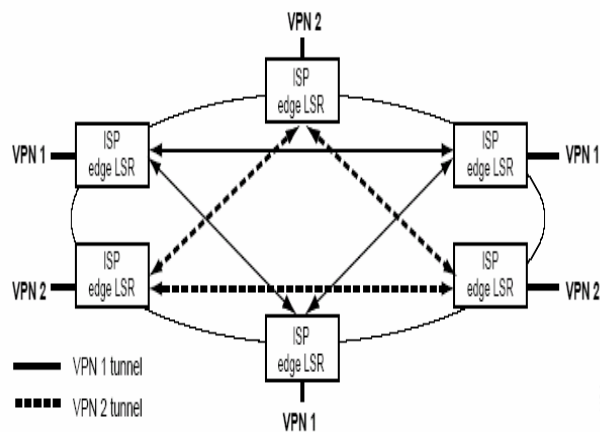
VPN simulira privatni WAN preko Interneta. Da bi ponudio VPN usluge ISP mora rešiti problem privatnosti podataka i podržati korišćenje nejedinstvenih privatnih IP adresa. MPLS pruža jednostavno i efikasno rešenje oba problema.

VPN je tipično konstruisana da koristi četiri osnovna bloka:

- Firewall da osigura korisnikovu stranu mreže i osigura siguran pristup Internetu
- Autentifikacija za proveravanje da korisnička strana izmenjuje podatke samo sa odobrenim gostujućim stranama
- Enkripcija da zaštiti podatke od neovlašćenog pregledanja ili izmena za vreme prolaska kroz Internet
- Tuneliranje da osigura višeprotokolnu transportnu uslugu

MPLS dopušta ISP-u da ponudi usluge VPN-a pružajući jednostavan, fleksibilan i snažan mehanizam tuneliranja.

ISP može implementirati VPN stvaranjem seta LSP-ova koji će omogućiti spajanje između različitih strana VPN-a. VPN identifikatori dopuštaju korišćenje jedinstvenog protokola za usmeravanje koji održava više VPN-a čiji se interni adresni prostori međusobno preklapaju. Konačno, svaki ulazni LER smešta promet na određeni LSP zavisno o kombinaciji određene adrese paketa i VPN članske informacije.



Slika 6. Tunelovanje

## ZAHVALNICA

Posebnu zahvalnicu upućujem svome mentoru Prof. Dr Zvezdanu Stojanoviću na pruženoj podršci, ukazanom vremenu i obezbeđivanju potrebne literature vezane za moj rad “MPLS-Poboljšanje funkcionalnosti usmeravanja i aplikacije”.

## LITERATURA

- [1] Tomislav Blauhorn, “MPLS usmeravanje,” neobjavljen
- [2] <http://www.fesb.hr/Portals/0/docs/nastava/kvalifikacijski/KIInesRamadz a08092011.pdf>
- [3] Luc De Ghein, “MPLS Fundamentals,“ pp. 248-252, 1 edition, December 2006.

## ABSTRACT

This project will explain the concept of MPLS, the way it works, as well as the LFA algorithm on which is based packet forwarding into MPLS network. Special attention will be given to MPLS applications (traffic engineering, VPN and CoS). In MPLS traffic engineering section we explained the procedure to minimize congestion in the network. We analyzed the possibility of improving the routing functionality using MPLS.

## **MPLS – Improving routing functionality and applications**

Nenad Nikolić