

MPLS TE mehanizmi u IP mrežama

Haris Hodžić
BH Telecom d.d. Sarajevo
Haris.hodzic@bhtelecom.ba

Sažetak – U mrežama koje koriste davatelji usluga MPLS TE (MPLS Traffic Engineering) je jedna od najraširenijih tehnologija. Svrha protmetnog inženjerstva je uspostavljati puteva između rubnih čvorova u mrežama uz zadovoljavanje zahtjeva mrežnog prometa i optimiziranje mrežnih performansi. MPLS TE tehnologija igra veoma bitnu ulogu u implementaciji mrežnih servisa koji zahtijevaju određene garancije za kvalitet usluge (QoS). Mreže bazirane na MPLS tehnologiji koriste prirodne TE mehanizme da bi minimizirali zagušenja u mreži i na taj način poboljšali mrežne performanse. TE je u stanju da izmijeni postojeće usmjeriteljske sheme u cilju efikasnijeg raspoređivanja prometnih tokova prema raspoloživim mrežnim resursima. MPLS TE mogućnosti ogledaju se u eksplicitnom načinu usmjeravanja, usmjeravanja na osnovu ograničenja i rezervacije bandwidtha uz pomoć specijalno prilagođenih signalizacijskih protokola (RSVP-TE, CR-LDP). MPLS TE pruža podršku i Differentiated Service (DiffServ) arhitekturi koja predstavlja efikasno i skalabilno rješenje za osiguravanje kvaliteta usluge u Internet Protocol (IP) mrežama, a osnovni cilj joj je diferenciranje servisa na nivou mreže, tako da različite aplikacije uključujući i real-time promet dobiju garanciju o kvaliteti usluge. MPLS TE korsi naprednije usmjeriteljske on-line algoritme koji imaju za cilj minimiziranje vjerovatnoće pojavljivanja blokirajućih zahtjeva za uspostavljanjem budućih LSP-ova, odnosno optimalno korištenje mrežnih resursa (propusnog opsega).

Ključne riječi – MPLS, TE, QoS, DiffServ

1. UVOD

Multi-Protocol Label Switching (MPLS) ili višeprotokolno komutiranje labela je tehnologija koja osigurava tradicionalni model prosljeđivanja paketa kroz mrežu, na mnogo elegantniji, efikasniji i brži način nego što su to uspijevale prijašnje tehnike poput ATM-a ili Frame Relay-a. U tradicionalnom modelu usmjeravanja zaglavlje svakog paketa koji prolazi mrežom se analizira pri svakom koraku na njegovom putu od usmjeritelja (eng. router) do

usmjeritelja. Za razliku od tog načina MPLS tehnologija prilikom transporta paketa kroz mrežu koristi postupak zamjene labela (eng. label swapping). Bitna prednost tog postupka je da se informacije iz zaglavlja paketa analiziraju samo jednom, a dalje se postupak usmjeravanja paketa zasniva samo na provjeravanju labela koje zapravo predstavljaju identifikacijske oznake paketa i fiksne su duljine.

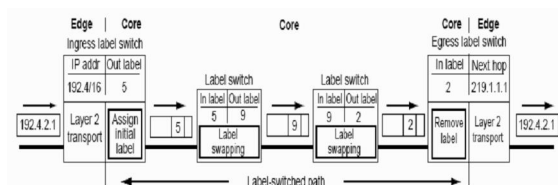
2. MPLS MEHANIZMI

MPLS je tehnika komutacije paketa u paketskoj mreži. Specificirana je u dokumentu RFC 3031. Ova tehnika ne pripada ni mrežnom sloju, niti sloju podatkovne veze (DLL) ISO OSI modela. MPLS je po funkcionalnosti između ta dva sloja. Riječ multiprotocol dolazi od mogućnosti MPLS-a da radi s bilo kojim protokolom mrežnog sloja. Ovdje se prvenstveno koncentrira na Internet protokol, no postoji mogućnost da se tehnologije poput ATM-a, pa čak i Frame Relay-a mogu uklopiti u koncept MPLS-a.

MPLS mreža sastoji se od rubnih i unutrašnjih čvorova. Kada neki paket ulazi u MPLS mrežu, njemu se u rubnom čvoru dodjeljuje određena labela (oznaka, naljepnica). Rubni ulazni čvor za paket se naziva ingress čvor. U slučaju IP paketa, ta se labela "naljepi" ispred zaglavlja. Označeni paket komutira se kroz MPLS mrežu po unaprijed određenom putu dok ne dođe do odredišnog rubnog čvora - egress čvora. U egress čvoru skida se labela s paketa i paket napušta MPLS mrežu. Put od ingress do egress čvora zove se LSP (eng. Label Switched Path). Budući da čvorovi u MPLS mreži obavljaju i komutaciju i operacije usmjeravanja, zbog kompatibilnosti s konvencionalnim usmjeriteljima, nazivaju se: Label Switching Router - LSR.

Svaki čvor u MPLS mreži komutira paket samo na osnovu njegove labele, ne analizirajući sadržaj zaglavlja paketa. Zaglavlje paketa analizira se samo u ingress čvoru mreže. Tamo se svaki paket pridružuje određenoj klasi ekvivalentnog prosljeđivanja - FEC-u. FEC-u je na tom čvoru pridružena labela - jedinstven kod FEC-a. Ukoliko zaglavlje paketa ima rezervirano polje za labelu, onda se kod upisuje u to polje.

Prosljeđivanje svih paketa MPLS mrežom zasnovano je na Label-Swapping Forwarding algoritmu (LFA).



Slika 1. LFA algoritam

Label-Switched Path (LSP) je unaprijed određeni put, ekvivalentan sa virtualnim krugom, jer definira put od ulazne do izlazne točke MPLS mreže kojim prolaze svi paketi svrstani u određeni FEC. U jezgri mreže usmjerivači zanemaruju mrežno zaglavlje paketa i jednostavno usmjeravaju pakete koristeći label-swapping algoritam.

3. MPLS PROMETNO INŽENJERSTVO

MPLS TE (MPLS Traffic Engineering) [18] tehnologija igra veoma bitnu ulogu u implementaciji mrežnih servisa koji zahtijevaju određene garancije za kvalitet usluge (QoS). Mreže bazirane na MPLS tehnologiji koriste prirodne TE mehanizme da bi minimizirali zagušenja u mreži i na taj način poboljšali mrežne performanse. TE je u stanju da izmijeni postojeće usmjeriteljske sheme u cilju efikasnijeg raspoređivanja prometnih tokova prema raspoloživim mrežnim resursima. Efikasnije šeme za raspoređivanje mogu u mnogome reducirati pojavu zagušenja na mreži te poboljšati kvalitet usluge u vidu smanjenja kašnjenja prilikom pristizanja paketa na odredište, reduciranja broja pogrešno poslatih i izgubljenih paketa.

Povijesno, IP mreže su se oslanjale na optimizaciju temeljne mrežne infrastrukture ili posebna podašavanja IGP protokola u cilju zadovoljavanja zahtjeva prometnog inženjerstva.

Umjesto toga MPLS tehnologija koristi postojeću infrastrukturu IP mrežnih protokola te koristi ugrađene sposobnosti prosljeđivanja da bi obezbijedila naizgled prirodan TE mehanizam. Osnovna ideja prometnog inženjerstva uzima u obzir način usmjeravanja mrežnog prometa tako da se pokušaju izbjeći sva moguća zagušenja unutar mreže te se poveća cjelokupna propusnost. Da bi se ispunio pomenuti cilj moguće je koristiti nekoliko tehnika prometnog inženjerstva, a jedna od njih svakako je i tehnika bazirana na MPLS tehnologiji.

Uvođenjem MPLS TE-a nameće se niz različitih mogućnosti sa visokim stepenom granularnosti u cilju postizanja efikasnog prometnog inženjerstva u sklopu IP/MPLS mreža.

Za razliku od IP koji koristi metodu usmjeravanja sa zadanom destinacijskom IP adresom, MPLS tehnologija podržava simultano korištenje usmjeravanja baziranog na destinacijskog adresi i eksplicitnog usmjeravanja koje je moguće koristiti zahvaljujući RSVP odnosno LDP protokolu. Naime, prije nego što se izvrši mapiranje paketa na LSP, vrši se kompletno uspostavljanje i

signaliziranje LSP od ingress do egress čvora tako da se tačno odrede intermedijarni čvorovi te izvrši alokacija resursa na njima pomoću nekog od signalizacijskih protokola [3]. Svaki zahtjev za uspostavljanjem LSP-a stiže do usmjeriteljskog poslužitelja koji određuje eksplicitnu rutu za LSP. Zahtjev prema poslužitelju stiže direktno ili preko ingress usmjeritelja koji prvi zaprima ovaj zahtjev. Nakon toga se vrši propagiranje informacija o eksplicitnoj ruti preko svih čvorova koji se nalaze duž predviđene putanje, te se uz pomoć signalizacijskih mehanizama vrši rezervacija bandwidtha (eng. bandwidth, propusni opseg) na svakom od linkova. Za proračun eksplicitnih ruta uzima se pretpostavka da usmjeriteljski poslužitelji posjeduju znanje o trenutnoj topologiji mreže i dostupnim kapacitetima. Ove informacije obezbjeđuju se kroz postojeće usmjeriteljske protokole odnosno njihov ekstenzije.

Za RSVP protokol definirana su određena proširenja u vidu EXPLICIT_ROUTE objekta za podršku eksplicitnom usmjeravanju [2], [17].

MPLS također podržava i usmjeravanje uz postojeća ograničenja (constraint-based routing) [4]. Kao što je već spomenuto IGP protokol za proračunavanje informacija na osnovu kojih će se vršiti daljnje usmjeravanje, koristi jednostranu metriku. Umjesto takvog pristupa, usmjeravanje uz zadata ograničenja uzima u obzir i druge parametre koji se odnose na mrežna ograničenja i dostupnost resursa. Za distribuciju ovih informacija MPLS TE koristi postojeće link-state protokole kao što su IS-IS i OSPF.

Osnovna ideja MPLS TE-a je da iskoristi postojeće TE LSP puteve ili tunele za prosljeđivanje mrežnog prometa i da se pri tome uzmu u obzir nametnuta ograničenja vezana za mrežnu topologiju i dostupnost mrežnih resursa, a sve u cilju maksimalnog iskorištavanja mrežnih kapaciteta. Neke od osnovnih funkcionalnosti MPLS TE-a su [5] :

- Distribucija informacija o linkovima
- Izračunavanje puta
- Optimizacija resursa
- TE LSP signalizacija,
- MPLS prometno inženjerstvo sa proširenjima za DiffServ arhitekturu
- Protekcijska shema (Network Recovery) u slučaju ispada nekog od linkova
- Tuneliranje i stavljanje labela na stog (MPLS VPN-ovi)

4. MPLS TE DiffServ ARHITEKTURA

Optimiziranje iskorištenosti mrežnih resursa u IP mrežama može se kontrolisati na svakom od usmjeritelja za čije resurse se planira uraditi optimizacijski model, na jedan od sljedeća 3 načina:

- Planiranje kapaciteta na način da se prilagodi prospusni opseg na linkovima, odnosno da se izvrši preraspodjela i alociranje propusnog opsega namjenjog odgovarajućim međuspremnicima prema stvarnim potrebama mrežnog sustava što bi povećalo brzinu servisiranja i iskorištenosti mreže;
- Korištenjem mehanizama podatkovnih putanja – upravljajući različitim klasama prometa sa odgovarajućim međuspremnicima podataka, te raspoređivanjem međuspremnik i dodjeljivanjem različitih prioriteta pristupa i brzine servisiranja, moguće je povećati iskorisitvost po prometnim klasama, u odnosu na postavljene QoS zahtjeve. Fundamentalni mehanizmi podatkovnih putanja su DiffServ model definiran od strane IETF-a te ekstenzije MPLS-a koje pružaju podršku navedenom modelu;
- Korištenjem mehanizama u kontrolnoj ravni - modificirajući putanje podatkovnih tokova, postoji mogućnost pronalaska putanje duž koje nivo iskorištenosti resursa koji direktno učestvuju izgradnji navdene, je niži nego je to slučaj prilikom korištenjem „običnog“ SPF-a. Mehanizmi kontrolne ravni koji se koriste u MPLS/IP mrežama su: metoda prilagođavanje IGP metrike, MPLS TE i DiffServ-aware Traffic Engineering (DS-TE).

Differentiated Service (DiffServ) arhitektura predstavlja efikasno i skalabilno rješenje koje osigurava QoS u Internet Protocol (IP) mrežama, a osnovni cilj mu je diferenciranje servisa na nivou mreže, tako da različite aplikacije uključujući i real-time promet dobiju garanciju o kvaliteti usluge. U cilju optimiziranja prijenosnih resursa, ovoj arhitekturi se moraju dodati efikasni TE mehanizmi.

MPLS tehnologija predstavlja prikladnu metodu za osiguranje TE funkcionalnosti kao što su rezervacija resursa, tolerancija na pogreške i optimizacija iskorištenosti resursa. Kombinirana uporaba DiffServ i MPLS arhitekture predstavlja atraktivno rješenje problema osiguranja QoS za multimedijски promet uz efikasno iskorištenje mrežnih resursa. Rezultat ove integracije je DiffServ-aware Traffic Engineering (DS-TE). Ovaj model omogućava da MPLS-TE spozna klase usluge (Class of Service, CoS) i osigura rezervaciju resursa sa CoS granularnošću, te MPLS toleranciju na pogreške na CoS razini. U cilju omogućavanja DS-TE funkcionalnosti, potrebna je razmjena DiffServ, MPLS i TE informacija između usmjeritelja u kontrolnoj ravni posredstvom dinamičkog signalizacijskog protokola. Jedan od najvećih izazova ove arhitekture je odabir signalizacijskog protokola, s obzirom da ne postoji generički

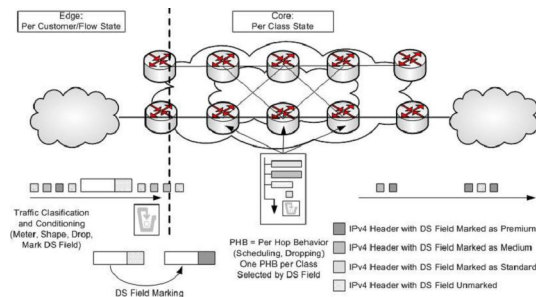
signalizacijski protokol. Standardizirana su tri signalizacijska protokola koja se mogu koristiti u MPLS mrežama: Label Distribution Protocol (LDP), CRLDP i RSVP-TE [17]. Kako LDP pruža jedino osnovne funkcionalnosti i ne podržava TE mehanizme, ne može se koristiti u DS-TE mrežama. Preostala dva rješenja omogućavaju TE funkcionalnosti kao što su uspostava Label Switched Path (LSP), rezervacija propusnog opsega za LSP, te Fast Rerouting (FRR) mehanizmi, što predstavlja ključ za ispunjavanje QoS zahtjeva.

Za razliku od CR-LDP, RSVP-TE je najčešće korišteni signalizacijski protokol. U praksi se preferira proširivanje postojećih protokola kada god je to moguće, prvenstveno zbog napora koji je potrebno uložiti u dizajn, standardizaciju, razvoj i otklanjanje pogreški novih protokola. Iz tog razloga je RSVP-TE odabran kao MPLS signalizacijski protokol, dok se odustalo od daljnjeg razvoja CR-LDP protokola. IETF je u okviru radnih grupa pokrenuo istraživačke aktivnosti u svrhu razvoja proširenja RSVP protokola kako bi podržao funkcionalnosti DiffServ-aware MPLS mreža.

Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering (RSVP-TE) je odabran kao MPLS signalizacijski protokol, dok je obustavljen rad na daljnjem razvoju Constraint based Routing Label Distribution Protocol (CR-LDP). RSVP-TE predstavlja proširenje RSVP protokola koji je razvijen u okviru Integrated Services (IntServ) arhitekture. S obzirom na nedostatke temeljnog RSVP protokola kao QoS signalizacijskog protokola, potrebno je izvršiti njegovu optimizaciju. RSVP-TE je signalizacijski protokol za MPLS TE, koji počiva na RSVP protokolu uz dodatak proširenja za MPLS TE i MPLS DiffServ. RSVP-TE koristi RSVP poruke za uspostavu, održavanje (osvježavanje) i prekid TE LSP-a, te signalizaciju pogrešaka. RSVP-TE se koristi u MPLS okruženju koje se razlikuje u odnosu na okruženje za koje je dizajniran originalni RSVP. U MPLS mrežama ne dolazi do česte i brze promjene LSP-a. Kao rezultat, RSVP-TE ne mora manipulirati velikim brojem novih ili modificiranih poruka. Većina razmjenjivanih poruka predstavljaju poruke osvježavanja koje se upravljaju mehanizmima definiranim u RFC 2961. Definiranje ovog dodatka čini RSVP-TE idealnim za TE LSP unutar MPLS mreže. Iako se uz TE dodatak može razmatrati izvan QoS konteksta, RSVP protokol predstavlja primarni QoS signalizacijski protokol u IP mrežama.

DiffServ model omogućava diferenciranje usluga u mreži tako da se različitim aplikacijama dodijeli odgovarajuća razina usluge uz zadržavanje visokog stupnja skalabilnosti. Osnovna pretpostavka DiffServ mreža je da usmjeritelji unutar jezgra mreže upravljaju paketima različitih prometnih tokova vršeći njihovo prosljeđivanje uporabom različitih Per-Hop Behavior (PHB). PHB se određuje na temelju Differentiated Services Codepoint

(DSCP) oznake unutar IP polja zaglavlja. Rubni usmjeritelji pridružuju DSCP oznaku paketima na ulazu u DiffServ mrežu. Prednost ove sheme leži u činjenici da se više prometnih tokova može grupirati u jedan tok i prosljediti korištenjem istog PHB-a. Ključni elementi DiffServ arhitekture su prikazani na slici 2. Funkcionalni blok za klasificiranje i kondicioniranje prometa se obično smješta na ulazu/izlazu mreže.



Slika 2. DiffServ arhitektura

Klasificiranje prometa može se vršiti na temelju bilo kojeg polja zaglavlja. Za klasificiranje se može koristiti prijenosni protokol, izvorišna ili odredišna IP adresa i sl. Nakon klasificiranja pristupa se kondicioniranju prometa. Kondicioniranje prometa se vrši uporabom sljedećih elementa: mjerač (meter), označivač (marker), oblikovatelj (shaper) i odbacivač (dropper) [6], [7].

Mjerač se koristi za uspoređivanje klasificiranih tokova sa ugovorenim prometnim profilom da bi se odredila pripadnost danom profilu. Prometni profil se uobičajeno temelji na token bucket algoritmu. Označivač postavlja DS polje zaglavlja paketa sukladno radu mjerača. Oblikovatelj izaziva zakašnjenje, a odbacivač odbacivanje nekih paketa klasificiranog toka kako bi se taj tok usuglasio sa specificiranim prometnim profilom prije ulaska u DiffServ jezgro. PHB karakterizira vanjski opazivo prosljeđivanje paketa odgovarajućeg prometnog toka. PHB se može specificirati u smislu dijeljenja resursa (npr. propusnog opsega linka, međuspremnika i prioriteta pristupa međuspremnici) ili u smislu relativnih QoS karakteristika (npr. razina kašnjenja/varijacija kašnjenja i razina gubitaka paketa). IETF je specificirao određeni broj PHB-a među kojima se izdvajaju Default PHB, Class Selector (CS) PHB, Expedited Forwarding (EF) PHB i Assured Forwarding (AF) PHB grupe [8]. Default PHB odgovara uobičajenom best-effort načinu prosljeđivanja paketa koji je dostupan u svim usmjeriteljima za standardnu vrstu prometa čija je odgovornost jednostavno prosljeđivanje što je moguće više paketa. Default PHB je namijenjen za promet koji nema posebne QoS zahtjeve. Prije pojave DiffServ arhitekture, IP mreže su koristile Precedence polje unutar Type of Service (ToS) okteta IP zaglavlja za označavanje prioriteta. IETF

je izvršio redefiniranje ToS okteta u DS polje za DiffServ mreže. U cilju održavanja kompatibilnosti sa mrežnim uređajima koji još uvijek koriste Precedence polje, unutar DiffServ arhitekture je definiran CS PHB [9]. EF [10] PHB pruža uslugu prosljeđivanja paketa sa malim iznosom kašnjenja, varijacije kašnjenja i gubitka paketa. EF PHB garantira da se promet poslužuje brzinom koja je najmanje jednaka konfiguriranoj minimalnoj brzini posluživanja. AF [11] PHB grupe su namijenjene aplikacijama koje zahtijevaju malu razinu gubitka paketa sve dok grupirani promet ostaje unutar korisničkog/pretplatničkog profila. Prosljeđivanje paketa se vrši u jednu od 4 AF klase. Unutar svake AF klase paketu se pridružuje jedan od 3 prioriteta odbacivanja. Svaki PHB se označava sa AFij pri čemu i označava AF klasu, a j prioritet odbacivanja. Svakoj AF klasi su dodijeljeni resursi uključujući i propusni opseg. Prosljeđivanje je neovisno između AF klasa. Unutar AF klase, paketi sa vrijednošću prioriteta p mogu imati manji iznos gubitaka u odnosu na pakete sa vrijednošću prioriteta q, ako je $p < q$. Paketi su zaštićeni od gubitka redosljeda unutar zadate AF klase bez obzira na nivo prioriteta. PHB definicije ne specificiraju niti jedan implementacijski mehanizam. U cilju implementacije PHB-a, potrebno je aktivirati i podesiti odgovarajuću kombinaciju mehanizama za prosljeđivanje paketa i AQM (Active Queue Management) mehanizama koji su podržani od strane DiffServ usmjeritelja. S obzirom na činjenicu da se u MPLS mrežama IP paketi enkapsuliraju u MPLS odgovarajuće pakete sa odgovarajućim MPLS zaglavljem, DS polje u zaglavlju IP paketa nije direktno vidljivo usmjeriteljima (LSR) kroz koje prolazi paket i koji bi trebali na osnovu vrijednosti DS polja primijeniti određeni PHB. Da bi prevazišli postojeće probleme radna grupa definirala je 3-bitno EXP polje u okviru „Label stack“ zapisa unutar MPLS zaglavlja.

Definirana su dva načina prenošenja PHB-a koji se treba primijeniti od strane usmjeritelja:

- Uporabom E-LSP-a – Preko jedinstvenog E-LSP-a moguće je usmjeravati mrežni promet koji pripada različitim DiffServ klasama, odnosno do osam različitih PBH-ova. Mapiranje između PHB-a i vrijednosti zapisane u EXP polju može se izvršiti unaprijed ili explicitno signalizirano prilikom uspostavljanja LSP-a.
- Uporabom L-LSP-a - u ovom slučaju L-LSP se koristi za prenos jedinstvene DiffServ prometne klase. Na osnovu labele i EXP polja usmjeritelj određuje međuspremnik i prvenstvo prilikom odbacivanja (drop precedence).

DS-TE [22] predstavlja proširenje MPLS-TE koje treba da omogući simulatano korištenje

mahnizama TE-a kao što usmjeravanje na osnovu postavljenih ograničenja i kontrola pristupa, ali na dosta precizniji način, tako da se navedeni mehanizmi direktno primjenjuju na različite klase usluga. Zapravo, DS-TE ekstenzija doprinosi činjenici da MPLS TE mehanizam smješten u kontrolnoj ravni postane svjestan DiffServ arhitekture, te da svoje mehanizme može primijeniti direktno na DiffServ prometne klase. Osnovni cilj DS-TE ekstenzije je da nametne različita ograničenja po pitanju propunog opsega za različite tipove mrežnog prometa. Skup DS-TE LSP-ova za koje vrijede ista ograničenja propusnog opsega određuju tip klase (class type, CT). DS-TE podržava do osam različitih tipova klasa (CT). Model zasnovan na ograničenjima propusnog opsega definira relaciju između CT-ova i ograničenja propusnog opsega (bandwidth constraints, BC). DS-TE ekstenzija trenutno pruža podršku ta tri ovakva modela: Russian Dolls Model (RDM), Maximum Allocation Model (MAM) i Maximum Allocation Model with Reservation (MAR).

5. MPLS TE USMJERITELJSKI ALGORITMI

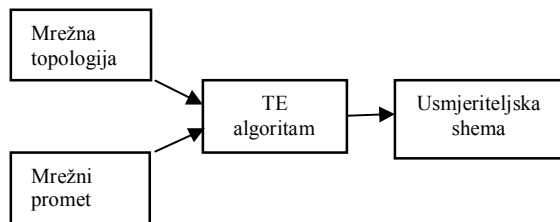
MPLS prometno inženjstvo vodi brigu o optimizaciji mrežnih putanja u cilju efikasnijeg raspoređivanja mrežnog prometa, izbjegavajući pri tome nastajanje zagušenih linkova. Drugačije rečeno, MPLS TE podrazumjeva prilagodavanje načina usmjeravanja mrežnog prometa trenutnim uslovima na mreži, pri čemu teži da simultano zadovolji dva osnovna cilja, a to su ispunjavanje nametnutih korisničkih zahtjeva i efikasno iskorištavanje mrežnih resursa.

Jedna od mogućih podjela interesnih sfera prometnog inženjstva po pitanju performansi je na: prometno orjentirano i resursno orjentirano. Prometno orjentirano prometno inženjstvo po pitanju performansi stavlja naglasak na QoS podatkovnih tokova uključujući: minimiziranje gubitka paketa, kašnjenja, maksimiziranje propusnog opsega, naglašavanje SLA (Service Layer Agreement), varijacije kašnjenja paketa u periodu maksimalnog opterećenja mreže, postotak izgubljenih paketa i maksimalnog transportnog kašnjenja. Resursno orjentirano prometno inženjstvo naglašava generalni cilj optimizirane uporabe resursa, odnosno ujednačeno iskorištavanje mrežnih resursa čime se se spriječila moguća situacija u kojoj bi pojedini mrežni resursi bili preopterećeni dok bi u isto vrijeme alternativni resursi bili u potpunosti zapostavljeni. Zajednički primarni cilj i prometno i resursno orjentirano prometno inženjstvo je minimiziranje zagušenja prometa na mreži. Da bi se prevazišao pomenuti problem koriste se odgovarajuće polise kojima se se vrši balansiranje prometnog opterećenja.

Koncept usmjeravanja koji se koristi u tradicionalnim IP mrežama predstavlja temeljni

koncept usmjeravanja baziran na destinacijskoj IP adresi. Ovaj koncept podrazumijeva mogućnost uspješnog usmjeravanja paketa od izvora do odredišta na osnovu jedinstvenog parametra, destinacijske IP adrese. Za proračun putanje koristi se SPF (Shortest Path First) algoritam koji koristi težinske parametre linkova postavljene od strane administratora ili eventualno ne druge unaprijed fiksirane vrijednosti težinskih koeficijenata. Ukoliko se u ovom slučaju ne bi koristio TE i neki od njegovih napredniji usmjeriteljskih algoritama, većina proračunatih puteva bi predstavljala najkraći put (rastojanje) između izvora i destinacija izračunat na osnovu samo jednog parametra, IGP metrike. To bi u konačnici dovelo do zagušenja, u tom trenutku najkapacitetnijih mrežnih resursa, odnosno do neiskorištenosti nekih drugih, pri čemu se u obzir ne uzimaju trenutni trendovi prometa na mreži i mogućnost interferencije postojećih i budućih mrežnih tokova. Rješenje za ovo predstavljaju MPLS TE mehanizmi i odgovarajući usmjeriteljski algoritmi koji prilikom proračuna putanja uzimaju u razmatranje trenutno stanje na linkovima i mogućnost interferencije sa budućim LSP putanjama.

MPLS TE tehnologija ima mogućnost eksplicitnog usmjeravanja te se na taj način može vršiti cjelokupna optimizacija podatkovnih tokova na mreži, uzimajući u obzir trenutno stanje na linkovima. Informacije o trenutnom stanju mrežnih resursa dostupne su preko postojećih usmjeriteljskih algoritama (OSPF i IS-IS) odnosno njihovih proširenja za MPLS TE mehanizme (OSPF-TE i IS-IS-TE). U okviru MPLS TE-a razvijeno je niz različitih usmjeriteljskih algoritama koji na određeni način pokušavaju prevazići postojeće probleme i optimizirati korištenje mrežnih resursa. Da bi vrijednovali različite TE algoritme, definiraju se ciljane funkcije za svaki od TE algoritama. U cilju kompariranja ciljanih funkcija, potrebno je modelirati TE problem u vidu linearnog programa i pokušati pronaći optimalno rješenje. Nerijetko pronalazak optimalnog rješenja zahtjeva vremenski period koji je eksponencijalna funkcija broja čvorova u mreži za koju se pokušava riješiti optimizacioni problem. U tom slučaju za pronalazak rješenja problema koje je jako blisko optimalnom koriste se određene heurističke pretpostavke. Za zadatu mrežnu topologiju i procjenjenih vrijednosti matrica prometa koje se usmjeravaju preko zadate mreže, potrebno je pronaći odgovarajuću usmjeriteljsku shemu koje će u datim uslovima optimizirati mrežne resurse, pri čemu zadržava jedinstveni cilj, zadovoljavajućih performansi krajnjeg korisnika i optimiziranja uporabe mrežnih resursa (Slika 3).



Slika 3. TE problem

Svaki mrežni model možemo predstaviti kao direktni graf, $G=(N, A)$ pri čemu vrhovi i bridovi predstavljaju usmjernike i linkove između njih. Svaki brid ima kapacitet c . Promet na mreži je predstavljen preko matrice prometa P koja za svaki par čvorova (s, t) asocira određeni iznos mrežnog saobraćaja od čvora s prema čvoru t .

Naime, graf G i matrica prometa P predstavljaju ulazne parametre u TE algoritam, koji ima za cilj da pronađe zadovoljavajuće putanje kroz zadatu mrežu za usmjeravanje korespondirajućih podatkovnih tokova. Pri tome definicija skupa zadovoljavajućih putova se odnosi na takav skup koji bi optimizirao predefiniranu ciljanu funkciju.

Zahtjev za uspostavljanjem LSP-a definira se na osnovu tri parametra (o_i, t_i, b_i) , pri čemu o_i specificira ingress čvor, t_i egress i b_i iznos potrebnog bandwidtha za uspostavljanjem LSP-a.

Definirajmo rezidualni (preostali) bandwidth duž linka kao razliku između ukupnog bandwidtha na linku i zbroja LSP-ova (zahtjeva za bandwidth-om) koji su usmjereni preko tog linka. Novi LSP se može usmjeravati preko određenog linka samo u slučaju da rezidualni bandwidth svojim iznosom prevazilazi potrebe novog LSP-a. Takve linkove nazivamo mogućim (feasible) linkovima u odnosu na određeni LSP zahtjev. Prilikom izbora puta za novi LSP, ideja je da se pokuša izabrati onaj put koji će u najmanjoj mogućoj mjeri interferirati sa potencijalnim budućim LSP zahtjevima između nekih drugih izvorišnih i destinacijskih parova [1]. Posmatrajmo maksimalnu vrijednost podatkovnog toka (maxflow) v_l između ingress-egress para (S_l, D_l) . Maxflow vrijednost predstavlja gornju granicu ukupnog bandwidtha koji se može dodijeliti za usmjeravanje LSP-ova između para čvorova (S_l, D_l) . Maxflow vrijednost v_l opada za vrijednost koja odgovara D jedinica bandwidtha za svaki LSP zahtjev od D jedinica koji se usmjerava između para čvorova (S_l, D_l) , odnosno bilo kojeg drugog para čvorova. Sada možemo definirati interferenciju za određeni par ingress-egress čvorova (S_l, D_l) , kao vrijednost za koju opada vrijednost maxflow-a v_l usljed usmjeravanja LSP-a između nekog drugog ingress-egress para. Minimalni interferencijski put između određenog para čvorova (S_l, D_l) , zapravo predstavlja eksplicitnu rutu koja maksimizira minimalnu vrijednost maxflow-a za sve ostale parove ingress-egress čvorova u mreži [19], [20].

On-line usmjeriteljski algoritmi upravo imaju za cilj minimiziranje vjerovatnoće pojavljivanja blokirajućih zahtjeva za uspostavljanjem LSP-ova, dok off-line sheme pokušavaju minimizirati promet na linkovima, odnosno maksimizirati dostupni bandwidth. Pri tome bitno je razlikovati tip metrike čiji cilj je da poboljša kvalitet mreže za trenutno stanje prometa (npr. minimiziranje kašnjenja), od one koja ima za cilj maksimiziranje broja prihvaćenih zahtjeva za buće LSP-ove na preostalim mrežnim kapacitetima (maksimiziranje rezidualnog maxflow-a) [21], [22].

8. ZAKLJUČAK

U radu su ukratko predstavljene MPLS TE mogućnosti po pitanju optimizacije mrežnih resursa. Ukoliko se koriste u okviru DiffServ arhitekture MPLS TE mehanizmi predstavljaju moćan alat za osiguranje kvaliteta usluge prema krajnjim korisnicima uz optimalno iskorištavanje mrežnih resursa.

Područje istraživanja oslanjat će se na MPLS TE mehanizme i on-line heurističke usmjeriteljske algoritme za optimizaciju konkretnih mrežnih modela.

REFERENCE

- [1] R. K. Ahuja, T. L. Magnanti, J. B. Orlin "Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications", Prentice Hall, 1993.
- [2] D. O. Awduche, L. Berger, D. Gan, T. Li, G. Swallow, V. Srinivasan, "Extensions to RSVP for LSP Tunnels", Internet Draft draft-ietf-mplsrsvp-lsp-tunnel-04.txt, September 1999.
- [3] D. O. Awduche, J. Malcom, J. Agogbua, M. O'Dell, J. McManus, "Requirements for Traffic Engineering over MPLS", RFC 2702, September 1999.
- [4] H. Hodžić, S. Zorić: „Traffic Engineering with Constraint Based Routing in MPLS Networks“, 50th International Symposium ELMAR-2008, Zadar, September 2008.
- [5] H. Hodžić, S. Zorić "MPLS TE u IP mrežama", MIPRO 2008, Opatija, May 2008.
- [6] T. Szigeti, C. Hattingh, End-to-End QoS Network Design, Cisco Press, November 2004.
- [7] "MPLS Traffic Engineering", Cisco Press, 2006;
- [8] V. Räsänen, Implementing Service Quality in IP Networks, John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [9] K. Nichols et al. „Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers“, Technical Report RFC 2474, IETF, December 1998.
- [10] B. Davie, et al., "An Expedited Forwarding PHB (Per-Hop Behavior)", Technical Report RFC 3246, IETF, March 2002.
- [11] J. Heinanen, et al. "Assured Forwarding PHB Group", Technical Report RFC 2597, IETF, June 1999.
- [12] A. Ghanwani, B. Jamoussi, D. Fedyk, "Traffic Engineering Standards in IP Networks Using MPLS", IEEE Communication Magazine 1999;

- [13] W. Sun "QoS/Policy/Constraint Based Routing", January, 1999.;
- [14] A. Singh, G. Mittal "QoS and Traffic Engineering: MPLS, DiffServ and Constraint Based Routing", May, 2000;
- [15] K. Long, Z. Zhang, S. Cheng, "Load balancing algorithms in MPLS traffic engineering", High Performance Switching for Traffic Engineering over MPLS", RFC 2702, September 1999.
- [16] D. Awduche, J. Malcolm, J. Agogbua, M. O'Dell, J. McManus "Traffic Engineering in MPLS", RFC 2702
- [17] D. Awduche, L. Berger, D. Gan, T. Li, V. Srinivasan, and G. Swallow., "RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels", RFC 3209, Internet Engineering Task Force, December 2001.
- [18] D. Awduche, A. Chiu, A. Elwalid, I. Widjaja, and X. Xiao., "Overview and Principles of Internet Traffic Engineering", RFC 3272, Internet Engineering Task Force, May 2002.
- [19] Francois Blanchy, L. M'elon, and Guy Leduc., "A Preemption-Aware On-line Routing Algorithm for MPLS Networks", Telecommunication Systems, 24:187-206, 2-4, Oct.-Dec. 2003.
- [20] Francois Blanchy, Laurent M'elon, and Guy Leduc, "An efficient decentralized on-line traffic engineering algorithm for MPLS networks" In J. Charzinski, R. Lehnert, and P. Tran-Gia, editors, Proc. of 18th International TELETRAFFIC CONGRESS - Providing Quality of Service in Heterogeneous Environments, volume 5a, pages 451-460, Berlin, Germany, 31 Aug.-5 Sep. 2003.
- [21] Simon Balon, Fabian Skiv'ee, and Guy Leduc, "Comparing traffic engineering objective functions", In CoNEXT 2005, Student Workshop, Toulouse, France, 24-27 Oct. 2005.
- [22] F. Le Faucheur and al. Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Support of Differentiated Services. RFC 3270. Internet Engineering Task Force, May 2002.