

MPLS P2MP LSP. Ekonomski aspekti i primena u IP televiziji.

Jelena Marašević, *student, ETF Beograd*, Milan Čabarkapa, *student, ETF Beograd*

Sadržaj — Ovaj tekst posvećen je objašnjenju MPLS multikasta i njegovoj primeni na emitovanje kvalitetnog televizijskog programa putem interneta. Tekst se oslanja na objašnjenja iznesena u [1] i predloge i poređenja sa klasičnim IP multikastom koji su dati u [1] i [2]. Više pažnje posvećuje se samoj primeni P2MP LSP-ova, dok su tehnički aspekti izneti u drugom TELFOR radu, [4], sa kojim ovaj rad čini celinu.

Ključne reči — IPTV, LDP, MPLS, P2MP LSP, RSVP.

I. UVOD

SA razvojem novih tehnologija, sve većim brojem korisnika i složenostima njihovih zahteva, u današnje vreme javlja se potreba za mrežama koje mogu podržati distribuciju što veće količine saobraćaja ka neprekidno rastućem broju korisnika, uz kontrolu saobraćaja i garantovanim kvalitetom servisa.

Većina MPLS mreža dizajnirana je tako da koristi MPLS za tačka-tačka prosleđivanje, dok se za prosleđivanje od jednog ulaza ka više izlaza koristi običan IP multikast. Oslanjanjem na [1] i [2], u radu se objašnjava sam princip P2MP LSP-ova (*Point To Multipoint Label Switched Paths*, tačka-više tačaka putevi preko kojih se prosleđivanje vrši razmenom labela), prednost ovakvog MPLS multikasta u odnosu na klasičan IP multikast i njegova primena u mrežama koje se koriste za prenos televizijskog signala visokog kvaliteta (HDTV) uz mogućnost ponude različitih, dodatnih, usluga.

II. EKONOMSKI ASPEKTI

U slučajevima kada se za tačka-tačka prenos koristi MPLS, a za tačka-više tačaka IP multikast, dolazi se do situacije da kontrolna ravan i ravan za prosleđivanje operišu potpuno nezavisno jedna od druge, bez ikakve međusobne veze i znanja o onoj drugoj. Kod korišćenja P2MP LSP-a za multikastnu distribuciju, kontrolna ravan za sav saobraćaj u jezgru mreže bazira se na RSVP-u (*Resource Reservation Protocol*) ili LDP-u (*Label Distribution Protocol*), dok se ravan za prosleđivanje za sav saobraćaj bazira na MPLS enkapsulaciji. Ovo smanjenje broja korišćenih protokola u jezgru mreže, kao i broja

enkapsulacija u ravni podataka, rezultuje pojednostavljenim mrežnim operacijama.

Razmotrimo sada neke nedostatke IP multikasta i razloge iz kojih je bolje koristiti P2MP TE. IP multikastno prosleđivanje omogućuje kretanje saobraćaja do više prijemnika bez potrebe za kopiranjem poslatih paketa, ali ne može imati nikakvu kontrolu nad putanjom kojom će se kretati saobraćaj, kao ni davati nikakve garancije po pitanju širine propusnog opsega, što znači da ne može obezbediti QoS. Sa druge strane, određene aplikacije, kao što je prenos video signala u realnom vremenu, zahtevaju multikastni prenos uz garantovani QoS, kao što su garantovani protok i mali gubici.

Korisno je uporediti neka svojstva IP multikasta sa onima koje poseduje P2MP TE (*Point To Multipoint Traffic Engineering*). Iako postoje određene hibridne sheme u kojima IP multikast radi zajedno sa P2MP TE, u ovom delu će se vršiti samo njihovo upoređivanje u osnovnoj formi:

A. Failover mehanizmi.

Kod IP multikasta *failover* mehanizmi su relativno spori (reda veličine sekundi), jer vremenska skala delimično zavisi i od vremena konvergencije IGP-a. Ovo čini IP multikast nepogodnim za prenos u realnom vremenu, jer je tako dug gubitak prenosa saobraćaja neprihvatljiv. Ovaj problem je rešen kod RSVP-a korišćenjem *fast-reroute* mehanizma, jer se prelazak na *back-up* putanju u slučaju neuspeha vrši veoma brzo (reda milisekundi) i tu odluku donosi lokalni *upstream* ruter.

B. Kontrola putanje po kojoj se kreće saobraćaj.

Kod IP multikasta teško je kontrolisati kojim putanjama će se kretati saobraćaj. Multikastno stablo koje se kreira je *shortest-path* i njega određuje IGP. Postoje određene implementacije koje dozvoljavaju unošenje statičkih multikastnih ruta kako bi se ostvarila kontrola nad kretanjem saobraćaja, ali je ovakvo rešenje teško ostvarivo i samim tim nije prihvatljivo. Za razliku od njega, RSVP TE omogućuje kontrolu puta kojim će ići saobraćaj, pa se može obezbediti da saobraćaj teče najmanje opterećenim putanjama ili po postavkama koje odredi korisnik. To pronalazi najveću primenu u situacijama kada korisnik želi da se distribucija saobraćaja obavlja korišćenjem *minimum-cost* stabla (*Steiner*-ovo stablo) umesto *shortest-path* stabla.

C. Garancija širine propusnog opsega.

IP multikast protokoli (kao što je PIM, *Protocol Independent Multicast*) ne mogu imati rezervisanu širinu propusnog opsega. Čak i u slučaju kada bi posedovali

J. R. Marašević, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija; (telefon: 381-64-3353356; e-mail: jelena.marasevic@student-partners.com).

M. Čabarkapa, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija; (telefon: 381-64-3595686; e-mail: cabmilan@yahoo.com).

takve mehanizme, opet bi došlo do gubitka paketa i oni ne bi mogli da stignu do svog odredišta, jer se saobraćaj kreće uvek po istim putanjama koje su određene *shortest-path* stablom. Sa druge strane, RSVP-TE poseduje mehanizme za rezervisanje širine propusnog opsega, i dostupni opseg se može uzeti kao deo proračuna putanje po kojoj će se kretati saobraćaj.

D. Kontrola nad prijemnicima kojima je dozvoljen pristup stablu.

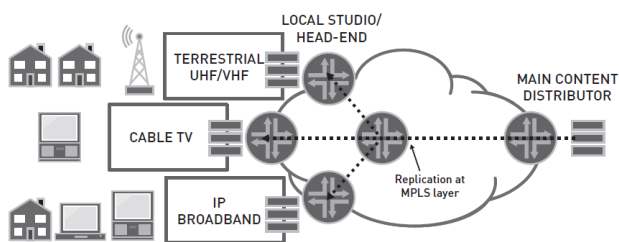
Kod IP multikasta ne postoji nikakva kontrola nad krajevima stabla ili prijemnicima koji mogu da im se pridruže, i prijemnici se mogu vezati za bilo koje dostupno stablo, osim ako se tako nešto ne spreči korišćenjem alata kao što su PIM Join filteri. Za razliku od njega, sa P2MP TE-om, skup prijemnika koji su vezani za krajeve stabla određen je ulaznim čvorom (kroz konfiguraciju).

III. DISTRIBUCIJA VIDEO SAOBRAĆAJA KROZ MREŽU

U prvo vreme, za distribuciju video saobraćaja korišćene su zemaljske ATM ili SONET/SDH mreže. Međutim, sve većim prelaskom na IP/MPLS mreže razvila se i potreba za korišćenjem ovih mreža za prenos video saobraćaja. Prva ograničenja na koja se naišlo u ovoj ideji bila su ta što je tačka-tačka prenos ka višestrukim odredištima nedovoljno efikasan za prenos u realnom vremenu, jer bi se pojedinačnim slanjem video paketa ka svakom odredištu vrlo brzo iscrpela dostupna širina propusnog opsega.

P2MP LSP zapravo predstavlja put na kom se prosleđivanje vrši razmenom labela, s tom razlikom u odnosu na običan LSP što se sadržaji ne dopremaju do jedne izlazne tačke, već se slanje vrši ka višestrukim odredištima.

Na Sl. 1 prikazano je kako se *broadcast* sadržaji šalju preko jednog P2MP LSP-a ka većem broju mreža za pristup. Ruter koji treba da prosledi isti paket ka više različitih rutera ima svojstvo replikacije, čime se obezbeđuje brže prosleđivanje i manje opterećenje širine propusnog opsega.



Sl. 1

Dodavanjem mogućnosti korišćenja P2MP LSP-ova, MPLS mrežama se dodaje mogućnost da dostavljaju i unikat i multikast sadržaje preko iste mreže.

IV. PRIMENA P2MP TE-A NA EMITOVANJE TV PROGRAMA

Jedna od najzanimljivijih primena P2MP TE-a je svakako za profesionalni prenos televizijskog signala u realnom vremenu. Ovo ne treba mešati sa internet video *streaming*-om, koji uglavnom podrazumeva slanje video tokova sa

malim protokom krajnjim PC korisnicima bez ikakve garancije kvaliteta. Naprotiv, profesionalna distribucija TV signala u realnom vremenu zahteva striktnu garanciju performansi od strane mreže. Korisnici takvih usluga su TV kompanije koje transportuju *real-time* video saobraćaj između studija, od studija do ulaznih krajeva distribucione mreže (zemaljske, kablovske ili satelitske) ili od spoljne *broadcast* lokacije do studija. Ovakva mogućnost emitovanja je izuzetno privlačna za servis provajdere zbog toga što se može garantovati siguran tok video signala visokog kvaliteta. Zahtev za ovim tipom usluga će tek rasti iz godine u godinu, budući da se broj postojećih TV kanala kontinuirano povećava, kao posledica povećavanja kapaciteta kroz stalni rast satelitske, zemaljske i kablovske infrastrukture.

Mreže koje su se tradicionalno bavile prenosom TV signala su uglavnom bile bazirane na TDM transportu (u formi PDH, SDH ili SONET-a), ili pak na ATM-u. U današnje vreme, sve se više teži prelasku na IP/MPLS mreže iz sledećih razloga:

-Pored transporta video signala u realnom vremenu, televizijske kompanije sve više zahtevaju i mogućnost *non-real-time* prenosa korišćenjem IP-baziranih protokola (kao što je FTP), kao pandam tradicionalnoj metodi fizičkog prenosa nasnimljenog medija od jedne do druge lokacije. Uz to, korišćenje iste mreže za *real-time* i *non-real-time* prenos sa sobom povlači i manje troškove. Mreže koje su bazirane na razmenama paketa (*Packet Switched Networks*, PSN) su daleko bolje za ovakve primene u odnosu na TDM mreže zbog mogućnosti statističkog multipleksiranja, jer ono više odgovara neuniformno raspodeljenim tokovima koji karakterišu *non-real-time* video saobraćaj.

-Veća brzina na interfejsu je dostupna kod IP/MPLS mreža nego kod ATM mreža.

-Lakše je napraviti deljenu mrežu za više TV kompanija koje bi zakupljivale određenu širinu propusnog opsega. Vreme za koje je moguće obezbediti propusni opseg za nove korisnike, ili povećanje širine propusnog opsega za već postojeće korisnike, je znatno manje nego u slučaju TDM baziranih mreža.

-Servis provajder može ići čak i korak dalje. Umesto da koristi mrežu samo za TV saobraćaj, on ovu uslugu može koristiti kao samo jednu od brojnih koje se ostvaruju kroz IP/MPLS mrežu.

Za transport kvalitetnog televizijskog signala u realnom vremenu mreža mora ispuniti veliki broj striktnih zahteva, čak i više nego što je to slučaj kod prenosa govornog signala. Priroda same primene je takva da se ne može obezbediti ponovno slanje podataka u slučaju gubitka paketa, a vrlo mali prekid prenosa je primetan i značajno utiče na kvalitet. Uslovi koji se moraju ispuniti su sledeći:

A. *Garancija protoka*. Kada se jednom uspostavi tok video saobraćaja, on se mora preneti bez ikakvog gubitka poslatih podataka. Drugi tokovi ne smeju narušavati uspostavljeni saobraćaj prevelikim zauzimanjem propusnog opsega.

B. *Male varijacije kašnjenja*. Tolerancija toka na promene kašnjenja zavisi od toga koja oprema se koristi za dekodiranje, ali se uglavnom ide na varijacije reda milisekundi.

C. *Visoka dostupnost mreže.* Poremećaji toka podataka u slučaju pada nekog linka ili neke od komponenata opreme moraju se svesti na minimum. Stoga su visok stepen redundanse komponenata i sheme za brz oporavak u slučaju pada linka jako poželjni.

D. *Prenos od jednog izvora do više odredišta.* Uobičajeni zahtev za *real-time* video tokove je da se mogu prenositi ka više odredišta. Pri tome je jako važno da se obezbedi dodavanje ili uklanjanje odredišta za jedan određeni tok bez ometanja toka podataka ka ostalim odredištima.

Razmotrimo sada kako se gore pomenuti zahtevi mogu ispuniti korišćenjem P2MP TE-a kod MPLS mreža. Male promene kašnjenja i garantovani protok se mogu ostvariti na sledeći način:

Ako se mreža koristi i za prenos drugog saobraćaja, *real-time* video paketi se smeštaju u posebno namenjene redove sa visokim prioritetom. To znači da je kašnjenje podataka u tim redovima minimizirano, sve dok redovi nisu preopterećeni. Preopterećenje redova se može izbeći korišćenjem *traffic engineering* mehanizama: za svaki P2MP LSP se rezerviše potrebna širina propusnog opsega i vrši se kontrola pristupa redu, tako da suma rezervisanih širina propusnih opsega ne pređe veličinu ukupne širine propusnog opsega reda. Ako je video saobraćaj jedini oblik saobraćaja koji zahteva rezervaciju širine propusnog opsega i kontrolu pristupa, onda se može koristiti RSVP bazirani *traffic engineering* sa maksimalnim protokom koji odgovara veličini reda kome je dodeljen *real-time* video. U suprotnom, ako i drugi oblici saobraćaja zahtevaju rezervaciju širine propusnog opsega i kontrolu pristupa, onda se može koristiti RSVP bazirani *DiffServ Aware Traffic Engineering*.

Najefikasniji način, po pitanju širine propusnog opsega, da se ispune korisnički zahtevi za isporučivanjem saobraćaja ka višestrukim odredištima je da servis provajder za distribuciju saobraćaja gradi P2MP LSP-ove u formi *minimum-cost* stabla. Takva efikasnost je od izuzetnog značaja, imajući u vidu da je protok nekomprimovanog videa sa standanom definicijom veći od 300Mbps, a da protok kod nekomprimovanog HD videa prelazi 1.5Gbps. U nekim slučajevima koristi se kompresija (na primer bazirana na MPEG-2) kako bi se smanjili zahtevi po pitanju protoka. Zahtevi za mogućnošću dodavanja i uklanjanja izlaznih tačaka kod P2MP LSP-a se mogu ispuniti pažljivim dizajnom i implementacijom ravni za prosleđivanje kod rutera.

Korišćenjem *fast-reroute* mehanizama za P2MP LSP-ove minimiziraju se poremećaji toka saobraćaja ukoliko dođe do pada nekog linka. Ipak, za razliku od prenosa govornog signala, čak i prekid od samo par desetina milisekundi može se primetiti na TV ekranu. Primetimo da se ovo dešava i prilikom korišćenja SDH ili SONET zaštite kod TDM mreža.

Za najkritičniji TV saobraćaj ponekad se koristi redundansa na nivou aplikacije. U ovoj shemi, dve kopije istog *real-time video stream*-a šalju se na ulaz mreže, pri čemu je sam video domen odgovoran za replikaciju. Dva toka se kreću različitim putanjama kroz mrežu, tako da ne dele isti sudbinu (na primer, ne kreću se kroz isto optičko vlakno ili žicu). Na prijemnom kraju, oba toka se šalju ka prijemniku koji je sposoban da neprimetno pređe sa jednog

toka na drugi u slučaju da se javi smetnje u preuzimanju podataka iz toka koji se trenutno koristi. Ova shema povećava dostupnost toka video signala sa kraja na kraj, pošto ukoliko dođe do pada jednog linka ili neke komponente opreme, saobraćaj može da nastavi da se odvija nesmetano. Kada se koriste dva P2MP LSP-a za prenos saobraćaja, činjenica da je svaka grana putanje oba LSP-a pod punom kontrolom korisnika u potpunosti osigurava da dva LSP-a ne dele istu sudbinu.

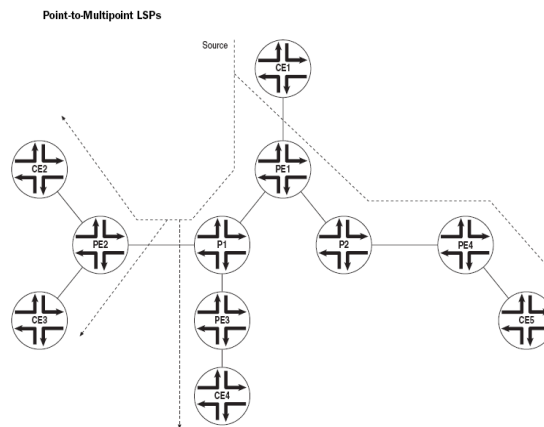
Kodeci koji konvertuju video signal u tokove IP paketa ili ATM ćelija i obrnuto su dostupni na tržištu. Svaki od ovih vidova saobraćaja se može upariti sa P2MP LSP-ovima.

Kada se koristi za distribuciju TV signala, P2MP LSP je uglavnom posvećen samo jednom *video stream*-u. Neki P2MP LSP-ovi mogu biti relativno kratkog veka, trajanja od samo nekoliko sati, kao na primer kada se koriste za prenos sportskog događaja koji prati izvestan broj gledalaca. Ovo je potpuno suprotno klasičnom tačka-tačka *traffic engineering*-u u mrežama servis provajdera, gde je LSP uobičajeno dugog veka (nekoliko meseci ili godina) i prenosi veliki broj tokova saobraćaja sa kraja na kraj.

V. KONFIGURACIJA P2MP LSP-A NA JUNOS-U

Za konfigurisanje P2MP LSP-a daćemo primer na JUNOS-u. JUNOS je JUNIPER-ov pandam CISCO IOS-u. Kao što kod CISCO-a prilikom konfiguracije imamo *config* modove, tako kod JUNIPER-a imamo *edit* hijerarhijske nivoe. Kada konfiguriramo JUNOS *software*, trenutni hijerarhijski nivo konfiguracije je prikazan u baneru.

Na Sl. 2 data je mreža u kojoj se uspostavlja P2MP LSP.



Sl. 2. Topologija mreže u kojoj se uspostavlja P2MP LSP

Kao što vidimo, imamo četiri pod-LSP-a i svaki se nalazi u P2MP LSP-u nazvanom *p2mp-lsp-sample*. Ovakav P2MP LSP se može koristiti za distribuciju TV signala. Kada se dodaje prijemnik koji se nalazi na novoj lokaciji, prilikom konfiguracije se dodaje samo novi pod-LSP. Ruter PE1 koji se nalazi u korenu P2MP LSP-a *p2mp-lsp-sample* se konfigurira na sledeći način:

```
[edit protocols mpls]
label-switched-path branch-LSP-to-PE2 {
to 10.255.235.25;
```

```

p2mp p2mp-lsp-sample;
primary path1;
}
label-switched-path branch-LSP-to-PE2 {
to 10.255.235.25;
p2mp p2mp-lsp-sample;
primary path2;
}
label-switched-path branch-LSP-to-PE3 {
to 10.255.241.34;
p2mp p2mp-lsp-sample;
primary path3;
}
label-switched-path branch-LSP-to-PE4 {
to 10.255.244.125;
p2mp p2mp-lsp-sample;
primary path4;
}

```

VI. ZAKLJUČAK

Sa uvođenjem P2MP-TE-a otvorena su nova vrata u svetu multikastne distribucije saobraćaja, gde multikast može uživati sve prednosti koje su ranije bile dostupne kroz MPLS unicast, kao što su garantovani protok i brzi *failover* mehanizmi. Ovo veliko objedinjavanje MPLS-a i multikasta učinilo je mogućim ono što je ranije izgledalo kao daleki san o budućnosti interneta; velike kompanije u svetu i kod nas već su počele sa emitovanjem HD televizijskog programa putem interneta donoseći korisnicima niz novih mogućnosti, kao što su video na zahtev i snimanje sadržaja. Šta će budućnost doneti ostaje da se vidi u narednim

godinama koje će sigurno pratiti unapređivanje novih tipova usluga i razvoj odgovarajućih tehnologija.

LITERATURA

- [1] I. Minei, J. Lucek, "MPLS-Enabled Applications. Emerging Developments and new Technologies", *John Wiley & Sons, Ltd*, 2005, ch.6.
- [2] "White Paper-Best Practises for Video Transit on an MPLS Backbone". Available: <http://www.juniper.net/us/en/local/pdf/whitepapers/2000106-en.pdf>.
- [3] "MPLS Applications Configuration Guide". Available: <http://www.juniper.net/techpubs/software/junos/junos82/swconfig82-mpls-apps/download/swconfig82-mpls-apps.pdf>
- [4] Milan M. Čabarkapa, Jelena R. Marašević, "MPLS P2MP LSP. Tehnički aspekti i rešenja.", *TELFOR*, 2009.

ABSTRACT

This text explains in what way MPLS networks could be used for multicast distribution and applied to professional broadcast television. Text follows explanations given in [1] and suggestions and some comparisons between MPLS multicast and traditional IP multicast, given in [1] and [2]. It is more dedicated to applications in TV distribution than to technical aspects, which are given in other TELFOR paper, [4].

MPLS P2MP LSP. The business drivers and the use of P2MP LSPs in IPTV

Jelena Marasevic, *student, ETF Belgrade*
Milan Cabarkapa, *student, ETF Belgrade*