

Analiza performansi Multicast VPN protokola u mreži internet servis provajdera

Dragan M. Jovičić

Sadržaj — U radu je izvršena analiza performansi dva multicast VPN (*Virtual Private Network*) modela u MPLS mreži internet servis provajdera. Modeli su simulirani korišćenjem Dynamips softverskog alata i odgovarajućih Cisco IOS operativnih sistema. Analiza empirijskih rezultata dobijenih simulacijom oba modela navodi na zaključak da nema značajnijih razlika u kvalitetu prenosa multicast saobraćaja. IP paketi u ravni prosleđivanja se prosleđuju istom efikašnošću i razlika u tipovima enkapsulacija multicast VPN saobraćaja ne utiče na performanse. Zaključeno je da protokoli koji utiču na kreiranje različitih tipova multicast stabala u kontrolnoj ravni taj proces kreiranja vrše približno istom brzinom.

Ključne reči — BGP MDT SAFI, IP/GRE, mLDP, MPLS, Multicast VPN, MVPN, Rosen draft.

I. UVOD

CILJ rada je analiza performansi dva multicast VPN (*Virtual Private Network*) modela u MPLS mreži internet servis provajdera. Analizom empirijskih rezultata pokušalo se utvrditi da li jedan od modela pruža bolji kvalitet servisa sa tačke gledišta krajnjeg korisnika, koji su odlučujući faktori na osnovne parametre kvaliteta servisa, i šta bi moglo da motiviše servis provajdera da se odluči za prelazak sa jednog na drugi model. Model MPLS mreže na mrežnom sloju internet servis provajdera je implementiran koristeći Cisco hardver emuliran putem Dynamips softvera i Cisco IOS operativnog sistema namenjenog servis provajderima. Konfiguracija mrežne infrastrukture sledi standardne Cisco preporuke. Multicast saobraćaj je generisan kroz dve

Dragan M. Jovičić, Smiljanićeva 37, 11000 Beograd, Srbija (telefon: 381-63-547097; e-mail: draganj84@gmail.com).

odvojene VPN mreže korišćenjem alata *iperf* i *VideoLAN* softvera za strimovanje multimedijalnih sadržaja. Iperf alatom su prikupljene informacije o brzini protoka, varijacijama u kašnjenju paketa, broju izgubljenih paketa i broju paketa koji nisu stigli po redosledu.

Rezultati testova dobijeni *iperf* alatkom pokazuju da nema značajnijih razlika u rezultatima parametara koji direktno oslikavaju kvalitet servisa prenosa multicast saobraćaja kroz mrežu servis provajdera. Rezultati navode na zaključak da je efikasnost prosleđivanja paketa slična i da razlika u enkapsulacijama multicast VPN saobraćaja ne utiče na performanse. Takođe, protokoli koji utiču na kreiranje različitih tipova multicast stabala u kontrolnoj funkcionišu istom brzinom. Naime, rezultati simulacija pokazuju da prilikom kreiranja novih instanci ovih stabala u različitim modelima nije došlo do varijacija u parametrima kašnjenja paketa. Ipak, zaključak je da prelazak na model baziran na MPLS enkapsulaciji predstavlja dobar potez za servis provajdere zbog svih prednosti koje MPLS tehnologija pruža u odnosu na rutiranje klasičnih IP paketa.

II. MULTICAST VPN MREŽE

MVPN (*Multicast VPN*) je tehnologija koja implementira multicast uslugu preko postojeće VPN mreže kao deo transportne infrastrukture [1]. U ovoj tehnologiji multicast podaci se prenose enkapsulirani preko servis provajder mreže pri čemu je L3VPN (*Layer 3 VPN*) BGP/MPLS infrastruktura široko raspostranjena u današnjim mrežama. RFC 4364 opisuje protokole i procedure za izgradnju BGP/MPLS mreža u kojima se prenosi unicast saobraćaj. Međutim, uspešan prenos multicast saobraćaja kroz mrežu servis provajdera danas postaje neophodan jer predstavlja osnovu za realizaciju različitih multimedijalnih servisa. Iz navedenih razloga bilo je potrebno definisati način prenosa multicast saobraćaja koji će pritom koristiti postojeće protokole i infrastrukturu.

Da bi se IP multicast saobraćaj prenosio kroz BGP/MPLS VPN mrežu sa jednog sajta na drugi, potrebno je implementirati specijalne protokole i procedure od strane servis provajdera [1], [2]. Danas su u širokoj upotrebi tri modela za prenos multicast saobraćaja kroz VPN mrežu servis provajdera na mrežnom sloju OSI hijerarhije:

- PIM/GRE model
- mLDP model
- RSVP-TE model

PIM/GRE model (tzv. Rosen-Draft model) je baziran na klasičnoj IP i GRE (*Generic Router Encapsulation*) enkapsulaciji, dok su mLDP (*multicast Label Distribution Protocol*) i RSVP-TE (*Resource Reservation Protocol Traffic Engineering*) modeli bazirani na MPLS enkapsulaciji. mLDP model je zasnovan na multicast ekstenzijama za LDP protokol. RSVP-TE model koristi postojeće *Traffic Engineering* ekstenzije za RSVP protokol [3], [4]. RSVP-TE model nije testiran jer Cisco ne podržava potpunu implementaciju ovog modela u svojim operativnim sistemima. Stoga se na ovaj model ne vrši dalji osvrt.

Pre objašnjenja PIM/GRE i mLDP modela u nastavku teksta, prvo je objašnjen koncept multicast stabala jer je ovaj mehanizam neophodan za implementaciju multicast modela.

A. Multicast stabla

Krajnji rezultat konvergencije multicast rutiranja protokola je multicast stablo - virtualna putanja preko koje se prenose multicast paketi. Postoje dva tipa multicast stabla koje multicast protokoli kreiraju. Stabla koja se kreiraju za svaki izvor ponaosob konstruišu stablo sa korenom u samom izvoru. Nazivaju se *Source Based Trees* ili *Shortest Path Trees* (SPT) jer predstavljaju stabla sa najkraćom putanjom od korena (izvora) do listova (krajnjih uređaja). IP paketi se prosleđuju kroz SPT stablo na osnovu izvorišne adrese (S – *Source*) od koje paketi polaze i na osnovu grupne adrese (G – *Group*) kojoj paketi pripadaju. Na osnovu toga, stanje prosleđivanja kroz ovo stablo se označava sa (S,G). Svako SPT stablo ima koren u samom izvoru multicast paketa.

Drugi tip stabla su *Shared distribution trees* (SDT) i predstavljaju stabla čiji se koren nalazi u izabranoj tački mreže (ruter, svič na mrežnom sloju) ispod koje se nalaze svi pripadnici specifične multicast grupe. Ova tačka se u PIM (*Protocol Independent Multicast*) protokolu naziva *Rendezvous Point* – RP [5]. U slučaju SDP stabla, multicast strim se prosleđuje kroz deljeno stablo samo na osnovu multicast grupne adrese (G), bez obzira na izvorišnu IP adresu. Na osnovu toga, stanje prosleđivanja kroz ovo stablo se označava sa (*,G). Na Cisco ruterima informacija o aktivnim i potencijalnim RP tačkama se može distribuirati na nekoliko načina – *PIM bootstrap* protokol [6], Cisco *Auto-RP* protokol ili manuelna konfiguracija. Za svaku grupu mora postojati barem jedan RP.

U test okruženju su korišćena oba tipa stabala. U slučaju PIM/GRE modela koji zahteva multicast PIM rutiranje u jezgri mreže servis provajdera koristi se PIM-SSM (*Protocol Independent Multicast – Source Specific Multicast*) koji se bazira isključivo na eksplicitnom kreiranju SPT stabala do ostalih PE (*Provider Edge*) rutera [7]. U slučaju klijentskih VPN mreža korišćen je PIM-

SM (*Protocol Independent Multicast – Sparse Mode*) sa RP tački u jednom od CE (*Customer Edge*) rutera.

B. PIM/GRE model (“Rosen Draft” model)

U ovom rešenju svakom VPN-u je dodeljeno zasebno MDT (*Multicast Distribution Tree*) stablo, odnosno domen koji je efektivno mapiran na multicast grupu servis provajdera. Ovom multicast grupom se enkapsuliraju VPN multicast paketi korisnika, i zatim regularnim IP multicast rutiranjem i korišćenjem PIM protokola u jezgru servis provajder mreže vrši prosljeđivanje paketa. Za razliku od unicast VPN saobraćaja gde jezgro nije moralo sadržati nikakvu informaciju vezanu za stanje unicast saobraćaja korisnika, u slučaju multicast saobraćaja to nije slučaj [1].

U PIM/GRE modelu uvek je aktivno minimum jedno podrazumevano stablo koje povezuje sve PE rutere koji pripadaju VPN mreži za koju je aktivan MVPN servis, kao i svi P ruteri u jezgru servis provajdera. Ovo stablo služi za uspostavljanje inicijalne komunikacije uređaja u mreži servis provajdera, ali je sposobno i da prosljeđuje sav multicast saobraćaj jedne VPN mreže. Međutim, putanja paketa kroz MDT stablo nije optimalna jer PE ruteri koji nemaju potrebe da prosljeđuju ove pakete do CE (*Customer Edge*) rutera ovakve pakete odbacuju (ne postoje aktivni slušaoci multicast saobraćaja priključeni na taj PE).

Iako se opisanim mehanizmom postiže minimalna količina stanja koje P (*Provider*) ruteri u jezgru moraju da memorišu (jedna MDT grupa za ceo jedan MVPN) ipak se potencijalno velika količina saobraćaja, naročito u slučaju saobraćaja velikih protoka mora odbaciti čime se značajno troše mrežni resursi. Stoga, poželjno je da se konstruiše posebno stablo same za one PE rutere koji se nalaze na putanji ka CE ruterima, a koji žele da primaju multicast sadržaj. Ovakvo stablo se naziva *Data MDT* (D-MDT) stablo. Kreiranje D-MDT stabala zavisi od konfiguracije administratora MVPN mreže. Kreiranje većeg broja stabala dovodi do optimalnije putanje svih multicast paketa, ali i do povećanja broja stanja koje ruteri u ISP mreži moraju da čuvaju. Konfiguracija test okruženja u ovom radu podrazumeva kreiranje dodatnog stabla za transport multicast saobraćaja, dok se podrazumevano stablo koristi samo za uspostavljanje inicijalne komunikacije.

C. mLDP model

Osnovna motivacija prelaska sa IP tuneliranja na MPLS enkapsulaciju je integracija sa unicast tehnologijom i infrastrukturom, kao i mogućnost iskorišćenja FRR (*Fast Reroute*) MPLS tunela za zaštitu linkova. Inicijalno, došlo se na ideju o P2MP (*Point to Multipoint*) LSP stablima. Regularna P2P (*Point to Point*) LSP stabla su mapirana na jedan MPLS FEC (*Forwarding*

Equivalence Class) elemenat, koji predstavlja jedno odredište (IP prefiks, virtualno kolo, i sl.). Nasuprot tome, P2MP LSP imaju više odredišta, ali jedan koren. Dakle, P2MP LSP predstavlja stablo sa jednim poznatim korenom i jednom jedinstvenom vrednošću, “selektorom” (*opaque value*), koja je deljena od strane svih članova stabla [8], [9]. Ova jedinstvena vrednost može biti multicast grupna adresa, u slučaju da je multicast mapiran na LSP, ali je ta vrednost generička i nije limitirana samo za multicast grupe.

Na P2MP LSP se može posmatrati kao na vrstu SPT (*Shortest Path Trees*) stabla konstruisanog prema korenu, koristeći MPLS labela za prosleđivanje paketa. Korišćenje P2MP LSP nije ograničeno samo na multicast, jer su ova dva koncepta odvojena. Dobar primer korišćenja P2MP LSP je u VPLS (*Virtual Private Line Service*) tehnologiji, gde su virtualna P2P kola (*pseudowires*) zamenjene sa P2MP LSP stablima sa korenima u svakom PE ruteru koje se prostiru do svih ostalih PE rutera [10].

Takođe, uveden je i koncept MP2MP (*Multipoint to Multipoint*) MPLS LSP stabala. MP2MP LSP ima jedan “deljeni” koren kao P2MP LSP stablo, ali saobraćaj može teći u oba pravca, prema korenu i od korena prema listovima. Svaki list može slati saobraćaj svim ostalim listovima. Ovo je u suprotnosti sa P2MP LSP gde je samo koren sposoban da šalje saobraćaj prema listovima. MP2MP LSP su analogni bidirekcionim stablima u *PIM-Bidir* protokolu [11]. Kolektivno, P2MP i MP2MP LSP se nazivaju *multipoint* LSP stabla. Kontrolna ravan i ravan prosleđivanja na ruterima u MPLS mreži je odvojen. Konačni rezultat kreiranja multicast stabla je da ruteri prosleđuju pakete na osnovu distribuiranih MPLS labela. Sa tačke gledišta rutera u ravni prosleđivanja ne postoji razlika između unicast i multicast paketa.

III. METODE RADA I TEST OKRUŽENJE

Virtualno test okruženje mreže servis provajdera i korisnika VPN mreža je realizovano koristeći Dynamips. Dynamips je *open-source* emulator kreiran za emulaciju Cisco rutera na računarima. Emulator radi na principu klijent-server modela, gde se serverska komponenta – hipervizor – pokreće u pozadini i kontroliše instance virtualnih rutera koje se pokreću u klijent modu. Server i klijenti se mogu pokretati na različitim računarima, preko mreže, čime se doprinosi na skalabilnosti. Emulator koristi JIT (*Just in Time*) kompajler na x86 (Pentium) i x84_64 (AMD64/Intel EM64T) platformama. Originalno pisan za Linux platformu, emulator radi na Windows i *BSD platformama. Svaki virtualni ruter predstavlja zasebnu instancu koja funkcioniše nezavisno od ostalih virtualnih rutera na host mašini.

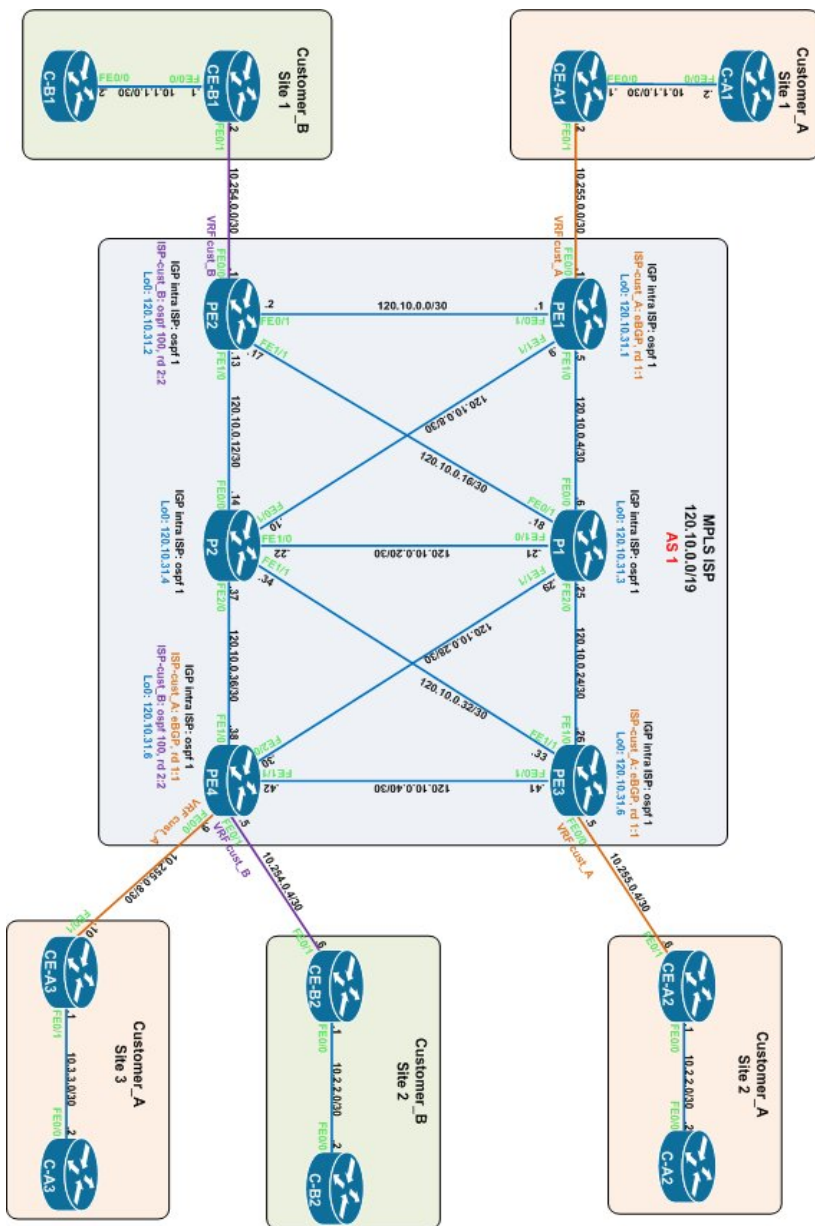
Dynagen je tekstualno orijentisan *front-end* koji koristi hypervizor za komunikaciju sa Dynamipsom. Dynagen korisiti jednostavno konstruisane tekstualne fajlove koji sadrže sav opis virtualne infrastrukture rutera. Koristi CLI (*control line interface*) za komunikaciju korisnika direktno sa Dynamipsom i omogućuje eksplicitnu kontrolu instanci virtualnih rutera kao što su listing, pokretanje, zaustavljanje, pauziranje. Dynagen je napisan u Python jeziku pa je stoga kompatibilan sa svakom platformom koja podržava Python interpreter.

A. Generisanje multicast saobraćaja

Glavna alatka korišćena za generisanje multicast signala je *iperf*. Iperf je *de facto* alatka za generisanje i analiziranje saobraćaja i podržava TCP, UDP, unicast i multicast tipove saobraćaja. Iperf vrši analizu sledećih parametara: brzina protoka, *delay jitter*, gubitak paketa i broj *out-of-order* paketa. Ovo su ujedno i parametri koji su testirani u ovom radu. Iperf radi kao klient-server model, gde server prima generisani saobraćaj od strane klijenta. Parametri koji se definišu na klijentu su brzina protoka multicast saobraćaja definisana u Mbps (Megabitima po sekundi), i ukupan broj intervala koji se šalje.

Iperf alatka je korišćena za prikupljanje parametara vezanih za kvalitet prenosa multicast paketa kroz virtualnu mrežu servis provajdera. Testirane su performanse dva MVPN modela: PIM/GRE i mLDP. Oba MVPN modela su testirana iperf alatom tri puta, koristeći identične parametre. U prvom testu broj intervala je iznosio 50, u drugom 10.000, i u trećem 10.000. Kako dužina svakog pojedinačnog intervala u iperf testu iznosi jednu sekundu, dužine testova su trajale 50 sekundi u prvom testu, i 166 minuta u drugom i trećem posebno. Takođe, testovi su varirali u brzini protoka saobraćaja koji je pušten kroz mrežu servis provajdera. Brzine prenosa multicast paketa u tri testa su iznosila 1Mbps, 10Mbps, odnosno 35Mbps, respektivno.

Virtualna topologija konstruisana sa Dynamips softverom se nalazi na slici 1. Pošto je mreža testirana sa iperf alatom, koristila se VideoLAN *open-source* alatka, odnosno VLC (*VideoLAN client*). VLC je modularni portabilni media plejer koji podržava strimovanje različitih audio i video formata (MPEG, DivX, Xvid, Ogg, itd), DVD, VCD medija, i drugih striming protokola. Za potrebe testa je strimovano nekoliko različitih formata. Obzirom da VLC nije *benchmark* alatka kao iperf i time direktno ne loguje informacije o kvalitetu servisa, ovaj test je pokrenut radi davanja striktno subjektivnog mišljenja koji se dobija posmatranjem strimovanog multicast sadržaja, a zarad upoređivanja sa rezultatima dobijenim iz *iperf* testova.



Sl. 1. Virtualna mreža servis provajdera i VPN klijenata konstruisana u Dynamips-u.

B. Konfiguracija PIM/GRE modela

Model je implementiran koristeći sledeće tehnologije: IP enkapsulaciju kroz GRE tunele (IPIP enkapsulacija je takođe moguća, nije testirana), BGP MDT-SAFI za PE *auto-discovery* mehanizam, PIM-SM za multicast signalizaciju, i SSM PIM-SM kao tehnologija za izgradnju P-stabla unutar servis provajdera. PIM-SM je korišćen za komunikaciju unutar obe VPN mreže, odnosno između CE i PE rutera, kao i između PE preko ISP mreže u C-PIM instanci. Za određivanje RP rutera u VPN mreži su odgovorni C ruteri. PIM-SSM protokol nije testiran u VPN mreži. Korišćenjem SSM PIM-SM protokola za izgradnju P-stabla se olakšava administracija unutar ISP mreže. PIM-SM varijanta sa RP tačkama kao protokol P-stabla nije testirana.

C. Konfiguracija mLDP modela

Osnovna prednost u odnosu na PIM/GRE model je integracija sa MPLS tehnologijom i odsustvo potrebe za PIM protokolom u jezgri mreže servis provajdera. Umesto IP/GRE enkapsulacije koristi se MPLS. U ovom testu implementira se “out-of-band” pristup, jer Cisco ne podržava “in-band” [12] pristup u IOS verziji 12.2. To znači da PE ruteri i dalje moraju da komuniciraju PIM-SM sa ostalim PE ruterima, kao što je bio slučaj sa PIM/GRE modelom. Direktna prednost u odnosu na PIM/GRE model je i mogućnost integracije MPLS FRR (*Fast Reroute*) mehanizma. Korišćenjem “one-hop” primarnih i *backup* tunela MPLS TE omogućuje brzu konvergeniciju multicast saobraćaja preko funkcionalnih *backup* linkova. mLDP signalizirani LSP ne podržavaju statičku konfiguraciju MPLS TE tunela koristeći RSVP-TE, već samo rekurzivno rutiranje preko automatskih tunela.

IV. REZULTATI

A. Iperf rezultati

Iperf ne meri striktno kašnjenje paketa već samo varijaciju kašnjenja između paketa, tako da je prosečno kašnjenje paketa utvrđeno jednostavnim PING testovima sa klijent računara na multicast adresu. Rezultati testova za PIM/GRE model su prikazani u tabelama 1, 2 i 3, a rezultati testova za mLDP model u tabelama 4,5 i 6.

TABELA 1: REZULTATI IPERF TESTA ZA BRZINU PROTOKA 1MBPS, MODEL PIM/GRE

<i>Host</i>	<i>Brzina protoka</i>	<i>Prošečno kašnjenje</i>	<i>Prosečan jitter</i>	<i>Najveći jitter</i>	<i>Najmanji jitter</i>
A1	1.05 Mbps	19ms	3.234ms	4.140ms	2.041ms
A2	1.05 Mbps	20ms	3.122ms	3.972ms	2.102ms
	<i>Dužina intervala testa</i>	<i>Broj intervala</i>	<i>Izgubljeni paketi</i>	<i>Procenat izgubljenih paketa</i>	<i>Broj out-of-order paketa</i>
A1	1 sek.	50	0/4K	0%	0
A2	1 sek.	50	0/4K	0%	0

TABELA 2: REZULTATI IPERF TESTA ZA BRZINU PROTOKA 10MBPS, MODEL PIM/GRE

<i>Host</i>	<i>Brzina protoka</i>	<i>Prošečno kašnjenje</i>	<i>Prosečan jitter</i>	<i>Najveći jitter</i>	<i>Najmanji jitter</i>
A1	10.00 Mbps	22ms	4.193ms	4.794ms	3.641ms
A2	10.00 Mbps	23ms	4.217ms	5.021ms	3.577ms
	<i>Dužina intervala testa</i>	<i>Broj intervala</i>	<i>Izgubljeni paketi</i>	<i>Procenat izgubljenih paketa</i>	<i>Broj out-of-order paketa</i>
A1	1 sek.	10,000	5/8500K	<0.001%	3
A2	1 sek.	10,000	7/8500K	<0.001%	4

TABELA 3. REZULTATI IPERF TESTA ZA BRZINU PROTOKA 35MBPS, MODEL PIM/GRE

<i>Host</i>	<i>Brzina protoka</i>	<i>Prošečno kašnjenje</i>	<i>Prosečan jitter</i>	<i>Najveći jitter</i>	<i>Najmanji jitter</i>
A1	35.00 Mbps	45ms	13.382ms	16.821ms	9.520ms
A2	35.00 Mbps	40ms	11.704ms	14.355ms	8.692ms
	<i>Dužina intervala testa</i>	<i>Broj intervala</i>	<i>Izgubljeni paketi</i>	<i>Procenat izgubljenih paketa</i>	<i>Broj out-of-order paketa</i>
A1	1 sek.	10,000	37/30M	<0.001%	58
A2	1 sek.	10,000	42/30M	<0.001%	51

Uslovi tri pojedinačna merenja za oba modela su bila jednaka, osim u slučaju prvog testa kod mLDP modela. Test br. 1 mLDP modela je scenario gde se simulirao pad glavnog linka između dva rutera u mreži servis provajdera. Cilj je bio provera efikasnosti FRR (*Fast Reroute*) mehanizma.

TABELA 4. REZULTATI IPERF TESTA ZA BRZINU PROTOKA 1MBPS, MODEL MLDP

<i>Host</i>	<i>Brzina protoka</i>	<i>Prošечно kašnjenje</i>	<i>Prosečan jitter</i>	<i>Najveći jitter</i>	<i>Najmani jitter</i>
A1	1.05 Mbps	21ms	3.319ms	4.212ms	1.991ms
A2	1.05 Mbps	20ms	7.281ms	54.132ms	2.244ms
	<i>Dužina intervala testa</i>	<i>Broj intervala</i>	<i>Izgubljeni paketi</i>	<i>Procenat izgubljenih paketa</i>	<i>Broj out-of-order paketa</i>
A1	1 sek.	50	0/4K	0%	0
A2	1 sek.	50	52/4K	~1.2%	0

TABELA 5. REZULTATI IPERF TESTA ZA BRZINU PROTOKA 10MBPS, MODEL MLDP

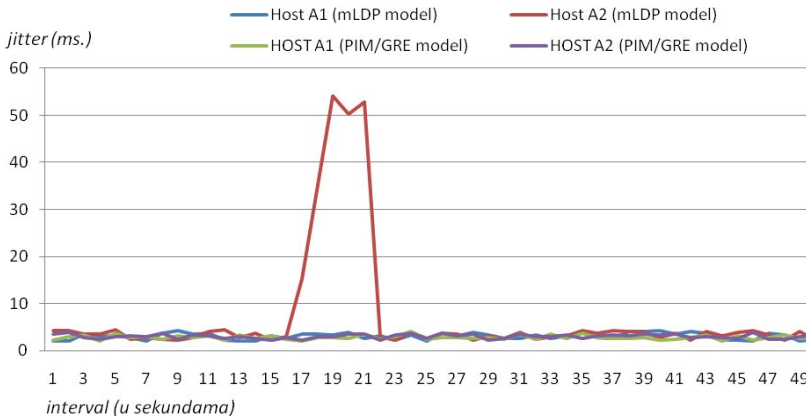
<i>Host</i>	<i>Brzina protoka</i>	<i>Prošечно kašnjenje</i>	<i>Prosečan jitter</i>	<i>Najveći jitter</i>	<i>Najmanji jitter</i>
A1	10.05 Mbps	25ms	4.247ms	5.146ms	2.841ms
A2	10.05 Mbps	24ms	4.190ms	5.021ms	3.416ms
	<i>Dužina intervala testa</i>	<i>Broj intervala</i>	<i>Izgubljeni paketi</i>	<i>Procenat izgubljenih paketa</i>	<i>Broj out-of-order paketa</i>
A1	1 sek.	10,000	7/8500K	<0.001%	3
A2	1 sek.	10,000	4/8500K	<0.001%	5

TABELA 6. REZULTATI IPERF TESTA ZA BRZINU PROTOKA 10MBPS, MODEL MLDP

<i>Host</i>	<i>Brzina protoka</i>	<i>Prošечно kašnjenje</i>	<i>Prosečan jitter</i>	<i>Najveći jitter</i>	<i>Najmanji jitter</i>
A1	35.05 Mbps	42ms	13.291ms	15.617ms	8.992ms
A2	35.05 Mbps	48ms	11.862ms	14.663ms	8.735ms
	<i>Dužina intervala testa</i>	<i>Broj intervala</i>	<i>Izgubljeni paketi</i>	<i>Procenat izgubljenih paketa</i>	<i>Broj out-of-order paketa</i>
A1	1 sek.	10,000	35/30M	<0.001%	62
A2	1 sek.	10,000	41/30,M	<0.001%	52

Povećanjem brzine protoka, povećava se broj izgubljenih paketa, kao i varijacije u kašnjenju, što je bilo očekivano. Treba napomenuti da, obzirom da je test uređen na virtualnoj topologiji, pretpostavka je da bi rezultati mogli

biti drugačiji na pravim fizičkim ruterima, ili rezultati donekle drugačiji ukoliko bi se topologija izvršavala na računaru drugačijih specifikacija ili performansi. Međutim, važnije od preciznih rezultata su konzistentni rezultati. Drugim rečima, rezultati dobijeni testovima dva modela su konzistentni jedni sa drugim, ukazujući na odsustvo eventualnih problema sa samim emulatorom, a parametri koji su dobijeni merenjima dva modela se mogu uporediti. Naveće interesovanje je bilo za varijacije kašnjenja paketa – *jitter*. U slučaju da su dobijeni rezultati testiranjem dva modela bili vidno različiti, bilo bi potrebno dodatno testiranje da bi se utvrdilo da li je problem sa Dynamips softverom, ili je razlika u kašnjenju posledica implementacije samih MVPN modela. Odnosi rezultata u kategoriji brzine prenosa od 1Mbps se vide na slici 1:



Sl. 2. Varijacije u kašnjenju paketa (*jitter*) za *HOST A1* i *HOST A2* računare. Brzina protoka 1Mb/s. Snažan skok kašnjenja i gubitak paketa je usled simulacije kvara linka između PE i P rutera. Slične varijacije u kašnjenju.

Dobijeni rezultati su bili u očekivanim okvirima. Oba testirana modela implementiraju različite mehanizme u kontrolnoj ravni, iz čega proističu različiti mehanizmi za izgradnju multicast LSP stabala. Ipak, ovi različiti mehanizmi nisu uticali na razliku u dinamici kreiranja novih MDT stabala, pa se prikazane male varijacije u kašnjenju ne mogu pripisati ovim različitim mehanizmima. Jedino odstupanje na priloženom grafiku se vidi kod jednog kranjeg uređaja (HOST-A), ali to je posledica aktiviranja FRR mehanizma, tokom kojeg se oslikava i očekivani broj izgubljenih paketa. Rezultati

merjenja pokazuju da je prosečna varijacija kašnjenja paketa od oko 50ms u kategoriji sa mehanizmima restauracije saobraćaja u SONET/SDH mrežama.

B. VLC multicast test

Subjektivno mišljenje dobijeno posmatranjem multimedijalnog sadržaja se poklapa sa analizom rezultata koji su dobijeni iz rezultata sa *iperf* alatkom. Rezultati dobijeni strimovanjem multicast sadržaja kroz virtualnu mrežu servis provajdera koristeći oba MVPN modela su bili jednaki. Video sadržaj srednjeg kvaliteta je strimovan bez uočljivih grešaka. Kvalitet strimovanog sadržaja je identičan kvalitetu koji se posmatra direktno na lokalnom računaru. Delimičan problem je nastao kod strimovanja sadržaja sa relativno visokim protokom od 35 Mbps. Iz *iperf* testa se vidi da postoje izgubljeni paketi i paketi koji nisu stigli po redu (skoro sigurno kao posledica *Dynamipsa*), a to prouzrokuje povremeno preskakanje sadržaja, "ghosting" efekat u određenim delovima slike, ili retko potpuno zamrzavanje slike.

Na kraju, video sadržaj se ipak može odgledati, ali je ukupan utisak degradiran. Međutim, kao i u slučaju testova sa *iperf* alatkom, rezultati koji su dobijeni testiranjem oba multicast modela su identični. Subjekti koji su učestvovali u ovom testu nisu mogli da primete razlike u kvalitetu multicast sadržaja u oba slučaja. Test koji je obuhvatao prenos slike uživo preko virtualne mreže je dao jednake rezultate. Rezolucija slike kamera je iznosila 640x480 piksela. Prenos slike je bio tečan a kvalitet slike i zvuka očekivan za kvalitet kamera, bez ijednog vidljivog problema sa kvalitetom tokom implementacija oba MVPN modela.

V. ZAKLJUČAK

Obzirom na ubrzani razvoj multimedijalnih aplikacija i servisa, uspešan prenos multicast sadržaja postaje ključni faktor za dalji razvoj mreža internet servis provajdera. U ovom radu je izvršena analiza performansi dva multicast VPN modela koja se međusobno razlikuju po enkapsulacijam, protokolima za izgradnju multicast stabala, kao i signalizacionim metodama. Analiza je izvršena konstruisanjem virtualne topologije u *Dynamips* softveru koristeći *Cisco* IOS operativni sistem.

Analizom rezultata zaključeno je sledeće:

1. Posmatrano u ravni prosleđivanja, ruteri prosleđuju IP i MPLS pakete sa jednakom efektivnošću u oba MVPN modela.

2. Posmatrano iz aspekta kontrolnih ravni rutera, brzina komunikacija kontrolnih protokola i kreiranje novih *MDT* stabala nije prouzrokovalo povećanje kašnjenja paketa. Dobijeni rezultati ukazuju na slične performanse.
3. Sa tačke gledišta krajnjeg korisnika, tip multicast VPN modela koji je implementiran u mreži servisa provajdera ne utiče direktno na kvalitet signala. Stoga, metoda prenosa saobraćaja kroz mrežu servisa provajdera je potpuno transparentna za krajnjeg korisnika.
4. Sa tačke gledišta servisa provajdera, mLDP predstavlja bolje rešenje za transport multicast servisa od tradicionalnog PIM/GRE modela zahvaljujući svim prednostima MPLS tehnologije u odnosu na IP. Mogućnost integracije unicast sa multicast servisima u MPLS mreži olakšava administrativno održavanje mreže i mogućnost lakše integracije i proširivanja novih servisa za krajnje korisnike.

ZAHVALNICA

Iskoristio bih ovu priliku da se zahvalim svim profesorima sa Računarskog fakulteta, a pre svega prof. dr Mirjani Radivojiveć čiji su saveti tokom izrade ovog rada i celokupnog vremena provedenog na fakultetu bili od neizmerne koristi.

Pre svega, hvala roditeljima koji su mi pružili punu podršku tokom dosadašnjeg školovanja i stručnog usavršavanja.

LITERATURA

- [1] Rosen, E., *et al.*, "Multicast in MPLS/BGP IP VPNs", Work in progress, January 2010.
- [2] Bates, T., *et al.*, "Multiprotocol Extensions for BGP-4", RFC 4760, January 2007.
- [3] Aggarwal, R., *et al.*, "S. Extensions to Resource Reservation Protocol Traffic Engineering (RSVP-TE) for Point-to-Multipoint TE Label Switched Paths (LSPs)", RFC 4875, May 2007.
- [4] Pan, P., *et al.*, "Fast Reroute Extensions to RSVP-TE for LSP Tunnels", RFC 4090, May 2005.
- [5] Fenner, B., *et al.*, "Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification (Revised)", RFC 4601, August 2006.
- [6] Bhaskar, N., *et al.*, "Bootstrap Router (BSR) Mechanism for Protocol Independent Multicast (PIM)", RFC 5059, January 2008.
- [7] Holbrook, H., *et al.*, "Source-Specific Multicast for IP", RFC 4607, August 2006.

- [8] Nalawade, G., *et al.*, “MDT SAFI”, Internet Draft, draft-nalawade-idr-mdt-safi-03.
- [9] Thomas, B., *et al.*, “LDP Capabilities”, RFC 5561, July 2009.
- [10] ITU-T G.8011.2/Y.1307.2, “Ethernet virtual private line service”, September 2005.
- [11] Handley, M., *et al.*, “Bidirectional Protocol Independent Multicast (BIDIR-PIM)”, RFC 5015, October 2007.
- [12] Wijrnards, I., *et al.*, “M. Multipoint LDP in-band signaling for Point-to-Multipoint and Multipoint-to-Multipoint Label Switched Paths”, Work in progress, May 2011.

ABSTRACT

This work shows performance measurement and comparative analysis of two multicast VPN (MVPN) models in virtual internet service provider network. The virtual network is created using open-source Cisco router emulator Dynamips. Results are gathered using *iperf* benchmarking tool which measures following statistical data about each packet: bandwidth, delay jitter, number of lost packets, and number of out-of-order packets.

Results gathered from the testings of the two MVPN models point to no significant differences in the quality of transmission of multicast traffic across service provider backbone. IP packets are forwarded with similar efficiency in router data plane. Differences in encapsulation of multicast VPN traffic, multicast traffic signaling, and multicast distribution tree building protocols do not affect performance of multicast traffic transmission in routers, and are transparent to both service providers and their customers.

PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTICAST VPN PROTOCOLS IN SERVICE PROVIDER NETWORKS

Dragan M. Jovičić