

Analiza implementacije atomičnog BGP protokola na komercijalnim i open sors ruterima

Aleksandar Cvjetić, Aleksandra Smiljanić

Sadržaj - Rad se bavi analizom implementacija BGP protokola (engl. *Border Gateway Protocol*) na komercijalnim i open sors ruterima i pokazuje kako se postojeća proširenja BGP-a i tehnike izolovanja ruting tabela mogu iskoristiti u rešavanju pojedinih problema koji su uočeni u standardnim implementacijama BGP-a.

Ključne reči – Autonomni sistem, BGP protokol, BGP polise.

I. UVOD

INTERNET mreža predstavlja skup autonomnih sistema (AS) i njihovih međusobnih veza. Ovi AS-i su različiti po veličini i rangu, pa tako jedan AS kao susede može imati korisničke AS-e, AS-e istog i AS-e višeg ranga. AS-i razmenjuju informacije o mrežnim prefiksima na Internetu pomoću BGP protokola. Ove informacije AS-i razmenjuju u skladu sa svojim ciljevima i ugovorima sa susednim AS-ima. Ciljevi AS-a mogu odražavati potrebe za balansiranjem saobraćaja i bezbednosne aspekte rutiranja, i oni se realizuju pomoću BGP polisa. Ukoliko postoji više fizičkih konekcija sa susednim AS-om, AS za kontrolu putanje dolaznog saobraćaja može koristiti BGP polisu zasnovanu na MED atributu. MED je standardni BGP atribut koji se koristi pri oglašavanju ruta ka susednom AS-u da naznači preferiranu putanju dolaznog saobraćaja [1]. Polisom se, na jednoj konekciji, rute mogu oglasiti sa manjom vrednosti za MED, pa će susedni AS smatrati ove rute boljim u odnosu rute oglašene preko druge konekcije za koje se MED nije menjao.

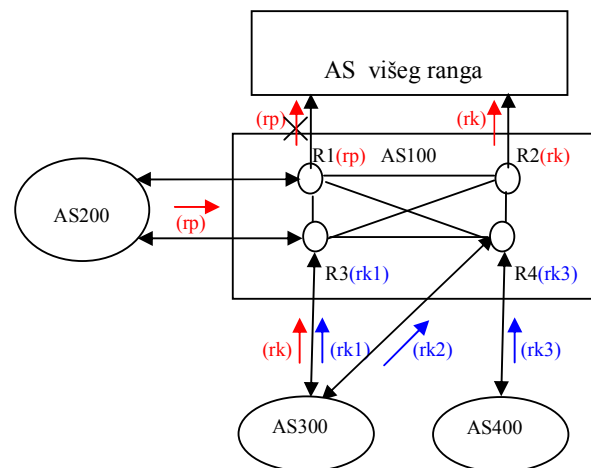
Ugovorima sa susednim AS-ima može biti definisano koje će se rute razmenjivati i na koji način. Obično se korisničkim AS-ima oglašavaju sve rute, pošto korisnici plaćaju za resurse ka Internetu. Susednim AS-ima istog i višeg ranga treba oglašavati samo rute od korisničkih AS-a, čime se sprečava da oni koriste resurse za međusobnu komunikaciju (za koje obično ne plaćaju). Za realizaciju ovih zahteva AS koristi BGP polise kojima se filtriraju rute koje ne treba oglašavati tim AS-ima.

Današnje implementacije BGP protokola imaju ograničenu fleksibilnost u pogledu selekcije i oglašavanja ruta pa samim tim i u realizaciji BGP polisa. Uočeno je da se BGP polisama ne mogu uvek realizovati svi zahtevi AS-a istovremeno, a često se dešava da je realizacija jednog zahteva u konfliktu sa drugim [2]. U poglavlju 2

ovog rada, kroz primere koji prikazuju nedostatak standardnog BGP protokola, predstavljena je osnovna ideja ART atomične teorije rutiranja (engl. *Atomic Routing Theory*), koja predlaže poboljšanja BGP-a koja će omogućiti realizaciju pojedinačnih zahteva AS-a. U poglavlju 3 smo, za konkretan primer, prikazali kako se pojedini predlozi ART-a mogu implementirati upotrebom postojećih tehnologija na komercijalnim ruterima proizvođača *Huawei*, *Cisco* i *Juniper*. U poglavlju 4 smo prikazali mogućnosti realizacije predloženih rešenja na open sors ruterima *Quagga*, *Vyatta* i *Xorp*.

II. ATOMIČNA TEORIJA RUTIRANJA (ART)

Kada dobije skup ruta za neki određeni prefiks, granični ruter AS-a primenjuje proces selekcije poređenjem atributa ovih ruta, i bira jednu najbolju rutu. Ova ruta se oglašava ka ostalim ruterima sa kojima postoje BGP konekcije (osim ka ruteru od kojeg je primljena), uz eventualnu modifikaciju ili filtriranje primenom eksport polise. AS-i često međusobno dogovaraju konzistentno oglašavanje ruta. Ovo podrazumeva oglašavanje ruta u svim tačkama konekcije između njih (ako ih ima više), kako bi ruteri imali više alternativnih ruta ka odredištima. Takođe, korisnički AS-i često zahtevaju mogućnost kontrole svojih ruta primenom standardnih (npr. MED) ili proširenih (npr. *communities*) BGP atributa, pa im je potrebno omogućiti tu kontrolu. Postoje situacije u kojima se ovi zahtevi ne mogu u potpunosti realizovati primenom standardnih implementacija BGP protokola [2].



SI 1: Primeri ne ispunjavanja pojedinih zahteva susednih AS-a na Internetu

Aleksandar Cvjetić, Bilećka 5, Beograd, (e-mail: aleksandar.cvjetic@gmail.com)

Aleksandra Smiljanić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, Srbija, (e-mail: aleksandra@etf.bg.ac.yu)

Na Sl. 1 dat je primer veza susednih AS-a na Internetu. Pretpostavimo da su AS100 i AS200 istog ranga, dok su AS300 i AS400 korisnički AS-i za AS100. Pretpostavimo, takođe, da su AS100 i AS višeg ranga dogovorili konzistentno oglašavanje ruta. U procesu razmene BGP ruta, ruteri R1 i R2 dobijaju dve rute, *rp* i *rk* (označene crvenim strelicama), za isti odredišni prefiks *d* koji se nalazi negde na Internetu. Pretpostavimo da u prva četiri koraka procesa selekcije najbolje BGP rute (najveća vrednost za *local preference*, najmanja dužina *AS path* atributa, najmanji *origin type* i najmanja vrednost za MED¹), rute *rp* i *rk* ostaju jednake na oba ruteru. U petom koraku se bira ruta sa bližim *exit point*-om (tj. kraćom izlaznom putanjom prema „cenama“ linkova), pa ruter R1 bira rutu *rp*, dok R2 bira *rk*. Ako je rutu *rp* prethodno oglasio AS istog ranga kao AS100 (tj. AS200), a rutu *rk* korisnički AS300, AS100 će na ruteru R1 primeniti eksport polisu kojom će filtrirati rutu *rp* ka AS-u višeg ranga, kako bi sprečio da postane tranzitni za AS200 i AS višeg ranga. Sa druge strane, ruter R2 će oglasiti *rk* AS-u višeg ranga, pošto je ovu rutu dobio od korisničkog AS-a. Na ovaj način se rute za isti odredišni prefiks *d* neće oglasiti u svim tačkama konekcije ka AS-u višeg ranga, pa se narušava zahtev za konzistentnim oglašavanjem. Ovakav ishod je posledica činjenice da su proces selekcije najbolje BGP rute i eksport polisa nezavisni, odnosno nemaju koordinisano delovanje na skup ruta.

Posmatrajmo, sada, na Sl.1 slučaj u kojem korisnički AS-i oglašavaju rute ka AS100 (označene plavim strelicama) za neki odredišni prefiks *l* na Internetu. AS300 oglašava rutu *rk2* sa manjom vrednosti za MED u odnosu na rutu *rk1*, kako bi dolazni saobraćaj za taj prefiks sledio putanju rute *rk2* koju AS300 preferira (npr. zbog balansiranja saobraćaja). Pretpostavimo da su rute *rk2* i *rk3* iste u prva tri koraka procesa selekcije BGP rute na ruteru R4. U četvrtom koraku, R4 neće porediti MED attribute ruta *rk2* i *rk3*, pošto one dolaze iz različitih AS-a, pa se proces selekcije nastavlja poređenjem bližeg *exit point*-a. Konačno, zbog bližeg *exit point*-a, ruter R4 bira *rk3* kao svoju najbolju rutu ka odredištu *l* i oglašava je unutar AS100, dok ruter R3 bira rutu *rk1* koja se, takođe, oglašava unutar AS100. Na ovaj način se ruta *rk2*, koju AS300 preferira za dolazni saobraćaj, uopšte neće koristiti za saobraćaj ka tom AS-u.

Uočivši ove probleme u realizaciji zahteva AS-a, ART predlaže poboljšanja BGP protokola tako da: 1. ruteri imaju mogućnost izbora različitih ruta za različite tipove susednih AS-a, što može zahtevati više BGP procesa; 2. filtriranje i modifikacija ruta za susedni AS se mora sprovesti pre procesa selekcije najbolje BGP rute; 3. ruter mora imati mogućnost oglašavanja više od jedne BGP rute za isti odredišni prefiks unutar AS-a i to: oglasiti najmanje jednu rutu i najmanje jednu rutu za svaki susedni AS koji koristi MED [2]. Realizacijom prvog predloga ART-a, ruteri R1 i R2 će koristiti BGP proces koji bira najbolje rute za AS višeg ranga, i u tom procesu neće uzimati u obzir rute koje kasnije ne treba oglašavati tom AS-u, kao što je *rp*. Ruta *rp* se, prema drugom predlogu, mora filtrirati pre procesa selekcije, kako bi taj proces razmatrao samo rute koje su kandidati za oglašavanje. Sada nam

eksport polisa za filtriranje ruta ka AS-u višeg ranga nije potrebna, pošto se filtriranje vrši pre procesa selekcije.

Realizacijom trećeg predloga ART-a, ruter R4 će moći da oglosi dve rute (*rk2* i *rk3*) unutar AS100 za odredišni prefiks *l*, tj. oglosiće po jednu rutu za svaki susedni AS koji koristi MED. Time se uvažava zahtev korisničkog AS300 da se ruta *rk2* oglosi unutar AS100.

Unapređenjem BGP protokola prema prikazanim predlozima postigla bi se veća fleksibilnost u implementaciji BGP polisa. Unapređeni BGP, koji bi imao mogućnost da u potpunosti realizuje sve pojedinačne zahteve AS-a, naziva se atomičnim [2].

III. ANALIZA MOGUĆNOSTI REALIZACIJE ART-A NA KOMERCIJALNIM RUTERIMA

Prikažemo kako se pojedina rešenja, koja ART predlaže, mogu realizovati kroz komandnu liniju (engl. CLI - *Command Line Interface*) rutera vodećih proizvođača opreme upotrebom postojećih tehnologija. Za prikaz ćemo koristiti topologiju na Sl. 1, pri čemu pretpostavljamo da granični ruteri unutar AS100 (R1, R2, R3 i R4) nisu međusobno direktno povezani, već da postoji veza na mrežnom nivou ostvarena pomoću nekog IGP (engl. *Internal Gateway Protocol*) protokola. Razmatraćemo slučaj u kojem su iBGP konekcije (*internal BGP*) uspostavljene samo između graničnih rutera unutar AS100², tj. između logičkih (*loopback*) interfejsa na tim ruterima.

A. Huawei CLI

Prikaz mogućnosti realizacije predloga ART-a kroz Huawei CLI sprovedi smo na ruteru *Quidway NE80E* sa softverskom verzijom V300R003 [3]. Razmotrićemo prvo realizaciju prva dva predloga. Dakle, potrebno je da BGP proces na Huawei ruterima R1 i R2 oglašava AS-u višeg ranga samo rute od korisničkih AS-a, pri čemu će ostale rute biti filtrirane pre procesa selekcije najbolje BGP rute. Za realizaciju ovih zahteva iskoristićemo tehnike koje se koriste u BGP/MPLS VPN implementacijama [4]. Na graničnim ruterima AS100 potrebno je konfigurisati po jednu VPN (ili VRF) instancu (engl. *Virtual Routing and Forwarding instance*) za svaki tip susednog AS-a sa kojim ruter ima eBGP (*external BGP*) konekciju. VPN instanca je virtuelna instanca rutera koja ima sopstvenu ruting tabelu, ruting procese i pripadajuće interfejse. Ove VPN instance treba da sadrže samo rute koje se mogu oglasiti susednom AS-u za koji su konfigurisane. Na ruteru R1 ćemo konfigurisati dve VPN instance (za AS200 i AS višeg ranga), na ruteru R2 jednu (za AS višeg ranga) i sl. VPN instanca na ruteru R1 (koju smo nazvali “*up_as*”) za AS višeg ranga konfigurise se na sledeći način:

```
[R1]ip vpn-instance up_as
[R1-vpn-instance-up_as]route-distinguisher 500:1
[R1-vpn-instance-up_as]vpn-target 500:1 export-extcommunity
[R1-vpn-instance-up_as]vpn-target 300:1 import-extcommunity
[R1-vpn-instance-up_as]vpn-target 400:1 import-extcommunity
```

¹ Po BGP standardu (RFC 1771), MED atribut se poredi samo za rute koje je oglosio isti susedni AS.

² U opštem slučaju između svih rutera unutar jednog AS-a postoje iBGP konekcije

Ovoj VPN instanci je potrebno dodati interfejs rutera R1 ka AS-u višeg ranga (npr. interfejs *GigabitEthernet* 1/0/0 sa IP adresom 212.200.198.161/30), tj.

```
[R1]interface GigabitEthernet 1/0/0
[R1-GigabitEthernet1/0/0]ip binding vpn-instance up_as
[R1-GigabitEthernet1/0/0]ip address 212.200.198.161 30
```

U prikazanoj konfiguraciji VPN instance konfigurisali smo parametre RD i RT koji se dodaju rutama te instance prilikom njihovog oglašavanja ka ostalim ruterima unutar AS100. RD (engl. *Route Distinguisher*) je 64-bitni parametar koji obezbeđuje da se rute iz različitih VPN instanci razlikuju u slučaju preklapanja adresnih opsega [4]. U našem slučaju radi se o Internet rutama koje su globalno jedinstvene, pa se ne mora voditi računa o jedinstvenosti RD. Nakon dodavanja RD IPv4 rutama u VPN instanci, one postaju VPN-IPv4 rute [4]. RT (engl. *Route Target*), u *Huawei* implementaciji *vpn target*, je BGP *extended community* atribut [5], koji se dodaje VPN-IPv4 rutama za kontrolu redistribucije ruta između različitih VPN instanci. *Export-extcommunity* predstavlja eksport RT, odnosno RT sa kojim se rute iz VPN instance “*up_as*” eksportuju ka ostalim ruterima unutar AS100 (u našem slučaju je 500:1), dok se *import-extcommunity* (import RT) koristi za kontrolu ruta koje se mogu importovati u VPN instancu “*up_as*”. Da bi se omogućila redistribucija ruta između dve VPN instance, eksport RT jedne VPN instance mora odgovarati najmanje jednom import RT druge VPN instance i obrnuto [4].

Na sličan način je potrebno konfigurisati i ostale VPN instance na graničnim ruterima AS100. VPN instance za AS300 i AS400 na ruterima R3 i R4 konfigurisu se sa eksport RT 300:1 i 400:1 respektivno, dok import RT moraju omogućiti importovanje svih ruta. VPN instanci za AS200 na ruterima R1 i R3 dodeljuje se eksport RT 200:1, dok će import RT biti 300:1 i 400:1 (rute od korisničkih AS-a).

Pošto će se, u našem slučaju, BGP rute razmenjivati iz VPN instanci, za njihovo oglašavanje potrebno konfigurisati MP-BGP (*Multiprotocol* BGP), proširenje BGP protokola za oglašavanje ruta ostalih adresnih familija osim IPv4 (IPv6, VPN-IPv4 i sl.) [6]. Na ruteru R1, za VPN instancu “*up_as*”, prvo ćemo konfigurisati MP-eBGP konekciju sa AS-om višeg ranga za razmenu IPv4 ruta, a zatim MP-iBGP konekcije sa ostalim graničnim ruterima AS100 za razmenu VPN-IPv4 ruta³:

```
[R1]bgp 100
[R1-bgp]ipv4-family vpn-instance up_as
[R1-bgp-up_as]peer <ip adresa rutera u as-u višeg ranga>
> as-number <broj as-a višeg ranga>
[R1-bgp]ipv4-family vpnv4
[R1-bgp-af-vpnv4]peer <ip adresa graničnog rutera as100> enable
```

Broj 100 u kodu je broj AS-a kojem R1 pripada. Poslednju komandu potrebno je ponoviti za sve granične rutere AS100 sa njihovim IP adresama koje se koriste za iBGP. MP-BGP je potrebno konfigurisati i na ostala tri

granična rutera na sličan način. Na kraju, da bi omogućili da se rute iz različitih VPN instanci razmenjuju direktno između graničnih rutera AS100, potrebno je konfigurisati tunele između tih rutera. Postoje brojni načini za konfigurisanje tunela i oni će, zbog ograničenog prostora, biti izostavljeni iz ovog rada.

Kada R1 dobije rute od ostalih graničnih rutera AS100, on proverava da li eksport RT pridruženi tim rutama odgovaraju bar jednom import RT konfigurisanom za njegove VPN instance. Kada dođe do preklapanja RT, rute se importuju u VPN instancu za koju važi preklapanje. Prema prikazanoj konfiguraciji, u VPN instancu “*up_as*” importovaće se samo rute od korisničkih AS300 i AS400. Za importovane rute se zatim primenjuje proces selekcije, i najbolje rute se oglašavaju ka AS-u višeg ranga. Ruter R2, sličnom procedurom, importuje u svoju VPN instancu rute od korisničkih AS-a, pa sada oba rutera mogu oglasiti najbolje rute ka AS-u višeg ranga čime smo realizovali konzistentno oglašavanje ruta.

Prema traćem predlogu ART-a, *Huawei* ruter R4 mora oglasiti dve rute unutar AS100 (*rk2* i *rk3*) za određeni prefiks *l*. BGP implementacija na *Huawei* ruterima nema mogućnost oglašavanja više od jedne BGP rute za isti određeni prefiks, pa se ovaj predlog ne može realizovati [3].

B. Cisco CLI

Za realizaciju predloga ART-a na *Cisco* ruterima koristili smo *Dynamips* softver⁴. Analizu smo sprovedi za arhitekturu rutera 7200 serije na ovom simulatoru sa softverskom verzijom IOS 12.4 (13b) [7].

Kao i u *Huawei* realizaciji, i ovde smo koristili tehnike koje se primenjuju u BGP/MPLS VPN implementacijama da bi realizovali prva dva predloga ART-a. S obzirom da je princip realizacije i koraci u konfiguraciji isti kao u *Huawei* rešenju (osim razlike u sintaksi CLI komandi ova dva proizvođača), izostavićemo taj deo konfiguracije. Za filtriranje ruta na osnovu RT, *Cisco* ruteri podržavaju i mogućnost konfigurisanja *ip extended community* lista [8]. Ove liste se mogu konfigurisati i primeniti za svaku BGP konekciju posebno, za odlazne ili dolazne rute (engl. *outbound* ili *inbound*). Na ruteru R1 ćemo prvo konfigurisati *ip extended community* listu 1 koja filtrira sve rute sa RT 200:1 (rute od AS200), a zatim ćemo ovu listu primeniti na iBGP konekciju rutera R1 sa R2 za odlazni saobraćaj:

```
R1(config)# ip extcommunity-list 1 deny rt 200:1
R1(config)#router bgp 100
R1(config-router)#neighbor <ip adresa rutera R2> filter-
list 1 out
```

Na ovaj način smo obezbedili da se rute od AS200 filtriraju na ruteru R1 još prilikom njihovog oglašavanja. Podsetimo da se u *Huawei* implementaciji, za posmatranu iBGP konekciju između dva rutera, rute filtriraju tek na strani prijema na osnovu RT.

BGP implementacija na *Cisco* ruterima nema mogućnost oglašavanje više od jedne rute za neki

³ VPN-IPv4 rute se razmenjuju kroz iBGP konekcije. Kroz eBGP konekcije razmenjuju se IPv4 rute. RFC 2547- BGP/MPLS VPNs

⁴ *Dynamips* je simulator hardvera *Cisco* uređaja koji koristi *Cisco* IOS operativni sistem. <http://dynagen.org>

određišni prefiks, pa se treći predlog ART-a ne može realizovati [9].

C. Juniper CLI

Mogućnosti implementacije predloga ART-a na Juniper ruterima ispitali smo za rutere T serije sa softverskom verzijom JUNOS 9.6 [10]. Prema raspoloživoj dokumentaciji [11], za implementaciju prva dva predloga na raspolaganju imamo iste tehnike koje smo koristili na ruterima ostala dva proizvođača opreme, pa ih nećemo ovdje ponavljati.

Postojeća implementacija BGP protokola na Juniper ruterima ne omogućava oglašavanje više od jedne BGP rute za određeni određišni prefiks, pa treći predlog ART-a ne može biti realizovan [11].

IV. ANALIZA MOGUĆNOSTI REALIZACIJE ART-a NA OPEN SORS RUTERIMA

Pored komercijalnih rutera, mogućnosti realizacije predloga datih u ART-u razmatrali smo i za pojedine open sors rutere: *Quagga*, *Vyatta* i *Xorp*.

Quagga omogućava konfigurisanje više BGP instanci, odnosno BGP procesa, na jednom ruteru [12]. Na primer, na ruteru R1 možemo konfigurisati dva BGP procesa:

```
bgp multiple-instance
router bgp 100
neighbor <ip adresa rutera u as200> remote-as 200
router bgp 1000
neighbor <ip adresa rutera u as-u višeg ranga> remote-as
<broj as-a višeg ranga>
```

Najbolja BGP ruta će se nalaziti u *kernel* ruting tabeli, tj. globalnoj ruting tabeli operativnog sistema. Međutim, bira se samo jedna najbolja ruta koja se oglašava (ili filtrira) ka ostalim susedima, pa ne možemo realizovati prvi predlog ART-a. Na *Quagga* ruteru ne možemo realizovati prva dva predloga ART-a upotrebom VRF instanci i MP-BGP, pošto ovaj softverski ruter ne podržava te funkcionalnosti [12]. Pošto BGP proces oglašava samo jednu najbolju rutu, ni treći predlog ART-a se ne može realizovati na ovom ruteru.

Vyatta softverski ruter podržava sledeće BGP standarde [13]: RFC 4271, RFC 4273, RFC 1997, RFC 3065, RFC 2796. Na osnovu ovoga se može zaključiti da *Vyatta* nema podršku za MP-BGP (RFC 2858). Takođe, u trenutnoj implementaciji ne postoji mogućnost konfigurisanja VRF instanci, pa se prva dva predloga ART-a ne mogu realizovati. BGP implementacija na *Vyatta* ruteru omogućava oglašavanje samo jedne najbolje BGP rute, pa se ni treći predlog ART-a ne može realizovati [13].

Xorp softverski ruter je treće open sors rešenje koje smo razmatrali. Na *Xorp*-u su implementirani sledeći BGP standardi [14]: RFC 4271, RFC 3392, RFC 2545, RFC 1997, RFC 2796, RFC 3065, RFC 2439, RFC 4893. BGP proces na *Xorp*-u ne podržava VPN-IPv4 rute, a poslednja verzija ovog softverskog rutera nema ni mogućnost konfigurisanja VRF instanci, pa se prva dva predloga ART-a ne mogu realizovati na način kako je to ostvareno kod komercijalnih rutera. Takođe, ni treći predlog ART-a se ne može implementirati pošto BGP na *Xorp*-u bira i oglašava samo jednu najbolju rutu za svaki određišni prefiks.

V. ZAKLJUČAK

U radu "Atomic Routing Theory", autori predlažu poboljšanja BGP protokola kako bi se realizovali pojedini zahtevi AS-a koji su mogli biti u suprotnosti u prethodno definisanom BGP-u. Mi smo pokazali da se prva dva predloga ART-a mogu ostvariti postojećim tehnikama koje se koriste u BGP/MPLS VPN implementacijama. Na ruterima su potrebni dodatni memorijski i procesorski resursi, s obzirom da će VRF instance sadržati veliki broj Internet ruta u poređenju sa brojem ruta u VPN implementacijama. Analizu BGP implementacija sprovedi smo i za pojedina open sors rešenja, i ona pokazuje da ovi ruteri zaostaju u implementaciji nekih BGP proširenja kojima bi se mogla realizovati prva dva predloga ART-a. Međutim, komercijalni, kao ni open sors ruteri, nemaju mogućnost oglašavanja više od jedne BGP rute za neki određišni prefiks, pa se ni na jednoj od prikazanih implementacija ne može realizovati treći predlog ART-a. Za njegovu realizaciju potrebno je sprovesti detaljnu analizu načina korišćenja i implementacije novog *ADD-PATH* atributa [15], koji je predložen u [2].

LITERATURA

- [1] RFC 1771 – A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4), March 1995. Available: <http://www.ietf.org>
- [2] R. Z. Shen, Y. Wang, J. Rexford, "Atomic routing theory", Technical Report, Department of Computer Science, Princeton University, July 2008. Available: <http://www.cs.princeton.edu>
- [3] "Quidway NetEngine5000E&80E&40E Router Feature Description - IP Routing", Product Manual, Available: <http://support.huawei.com>
- [4] RFC 2547 – BGP/MPLS VPNs, March 1999. Available: <http://www.ietf.org>
- [5] RFC 4360 – BGP Extended Communities Attribute, February 2006. Available: <http://www.ietf.org>
- [6] RFC 2858 – Multiprotocol Extensions for BGP-4, June 2000. Available: <http://www.ietf.org>
- [7] "Cisco IOS Software Major Release 12.4 Features and Hardware Support", Product Literature, July 2006. Available: <http://www.cisco.com>
- [8] "BGP Support for Named Extended Community Lists", Feature Guide, August 2007. Available: <http://www.cisco.com>
- [9] "Cisco BGP Overview", Cisco IOS IP Routing Protocols Configuration Guides, May 2009. Available: <http://www.cisco.com>
- [10] "Feature Guide", Junos 9.6: Software Documentation, May 2009. Available: <http://www.juniper.net>
- [11] "Routing Protocols Configuration Guide", Junos 9.6: Software Documentation, May 2009. Available: <http://www.juniper.net>
- [12] <http://www.quagga.net/docs.php>
- [13] "BGP Reference Guide", Reference Guides, March 2009. Available: <http://www.vyatta.com>
- [14] "XORP User Manual", Version 1.6, January 2009. Available: <http://www.xorp.org>
- [15] "draft-walton-bgp-add-paths-03", January 2009. Available: <http://www.ietf.org>

ABSTRACT

The paper analyses implementations of BGP protocol on commercial and open source routers and presents how the existing BGP extensions and routing table isolation techniques could be used to solve issues found in standard BGP implementation.

ANALYSIS OF ATOMIC BGP PROTOCOL IMPLEMENTATION ON COMMERCIAL AND OPEN SOURCE ROUTERS

Aleksandar Cvjetić, Aleksandra Smiljanić