

Ville Vuorinen

Attribuutit BGP-reitityksessä

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

2018

ATTRIBUUTIT BGP-REITITYKSESSÄ

Ville Vuorinen

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

Tammikuu 2018

Ohjaaja: Grönholm, Jukka

Sivumäärä: 28

Asiasanat: bgp, reititys, veos

Opinnäytetyöni käsitteli attribuuttien käyttöä BGP-reitityksessä.

Tarkoituksenani oli tutkia ja havainnollistaa miten attribuutteja muokkaamalla voidaan vaikuttaa reitityspäätöksiin käyttäen BGP-reititysprotokollaa.

Työni sisältää käytännön esimerkkejä attribuuttien käyttämisestä BGP-reitityksessä. Laboratorioympäristö toteutettiin hyödyntäen Arista vEOS ja Virtualbox-ohjelmistoja.

Työni ei anna valmiita ratkaisuja, mutta auttaa ymmärtämään BGP:n toimintaa muita reititysprotokollia aiemmin käyttäneille henkilöille.

ATTRIBUTES IN BGP-ROUTING

Ville Vuorinen

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Business Information Technology

January 2018

Supervisor: Grönholm, Jukka

Number of pages: 28

Keywords: bgp, routing, veos

This thesis handles usage of attributes in BGP-routing.

My intention was to investigate and demonstrate how modification of attributes may affect on routing decisions when using BGP as a routing protocol.

This work includes practical examples of using attributes in BGP-routing.

The laboratory environment was implemented using Arista vEOS and Virtualbox softwares.

This work does not provide ready-made solutions but it helps to understand the behaviour of BGP for people who have previously used other routing protocols.

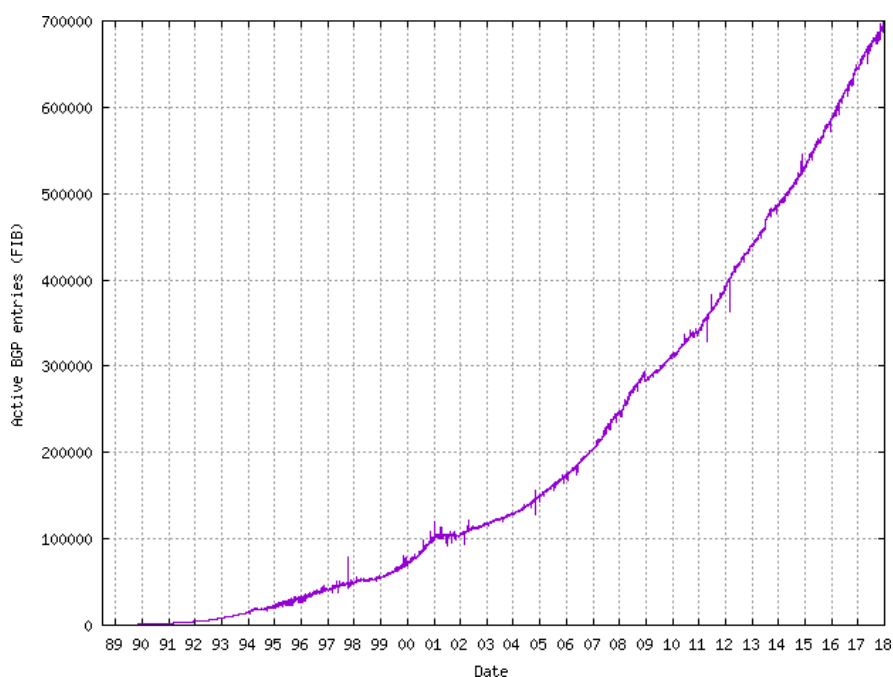
SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	INTERNET	6
2.1	Internetin historia.....	6
2.2	Ulkoisten reititysprotokollien historia	6
2.3	Reititysprotokollat yleisesti	7
3	BGP	8
3.1	BGP:n naapurit	8
3.2	Parhaan polun algoritmi.....	9
3.3	Reittiheijastimet.....	9
3.4	Attribuutit	11
3.4.1	Attribuuttien tyypit.....	11
3.4.2	Local Preference.....	12
3.4.3	Multi Exit Discriminator	12
3.4.4	Community	13
3.4.5	Next Hop	14
3.4.6	AS Path	14
3.5	Attribuutit vEOS -ympäristössä.....	15
3.5.1	Esimerkkiverkon topologia	15
3.5.2	Esimerkkiverkon reitittimien reititystaulut	15
3.5.3	Local Preference.....	18
3.5.4	Multi Exit Discriminator	19
3.5.5	Community	21
3.5.6	Next Hop	23
3.5.7	AS Path	24
4	LOPUKSI.....	26
	LÄHTEET.....	27

1 JOHDANTO

Internetin runkoreititys on tällä hetkellä yhden reititysprotokollan varassa. Runkoreititystä hoitaa BGP niminen (Border Gateway Protocol) protokolla, jonka tehtävänä on huolehtia Internetin rungossa tehtävästä reitityksestä ja levittää reititystietoja globaalisti kaikille autonomisille järjestelmille (AS, Autonomous System). Internet rakentuu joukosta autonomisia järjestelmiä, jotka jakavat reititystietoja ja muodostavat yhteyden toisiinsa BGP:llä joko suoraan, tai Internetin yhdysliikennepisteissä. Näitä verkkoja ylläpitävät tuhannet kaupalliset ja ei-kaupalliset toimijat. Työssä käsitellään pintapuolisesti BGP:n toimintaa, ja sen yleisimpiä attribuutteja.

Internetin kasvu on tuonut mukanaan haasteita BGP:n toimintaan. Internetin reititystaulussa on kirjoitushetkellä yli 650000 reittiä, mikä hidastaa BGP:n parhaan polun algoritmin toimintaa ja vaatii lisää resursseja runkoreitittimiltä. (Kuva 1.)



Kuva 1. Internetin reititystaulun koko tammikuussa 2018 (Cidr-report.org 2018).

2 INTERNET

2.1 Internetin historia

Yhdysvaltain puolustusvoimat kehitti Internetin esiversion vastineena Neuvostoliiton laukaisemalle Sputnik -satelliitille. Tavoitteena oli rakentaa atomipommin kestävä tapa välittää tietoa osavaltioiden ja tukikohtien välillä. Tavoitteessa onnistuttiin vuonna 1969, jolloin alkunsa sai verkko nimeltä ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network). ARPANET menestyi hyvin organisaatioissa, joilla oli kytköksiä Yhdysvaltain puolustusvoimiin ja siten myös pääsy verkkoon.

Rajoitetun pääsyn johdosta syntyi muita vapaampia tiedonvälitykseen tarkoitettuja verkkoja. Olemassa olevilla verkoilla ei kuitenkaan ollut yhtenäistä tapaa kommunikoida keskenään ennen vuotta 1983, jolloin julkaistiin TCP/IP (Transfer Control Protocol/Internet Protocol), joka vakiinnutti tavan vaihtaa tietoa eri tietoverkkojen välillä. (University System of Georgia.)

2.2 Ulkoisten reititysprotokollien historia

EGP (Exterior Gateway Protocol) julkaistiin vuonna 1984 korvaamaan aiemmin etäisyysvektoreihin perustuva, mutta vain yhden verkon sisällä liikennöimisen mahdollistaneen GGP (Gateway to Gateway Protocol) -protokollan. EGP oli ensimmäinen TCP/IP:tä hyödyntävä reititysprotokolla. EGP hyödynsi GGP:n ajatusta etäisyysvektoreihin perustuvasta liikennöimisestä samalla lisäten reititystietoihin eri organisaatioiden verkot erittelevän autonomisen järjestelmän numeron.

Vuonna 1989 EGP:n seuraajaksi julkaistiin BGP (Border Gateway Protocol). BGP eroaa EGP:stä siten, että se ei automaattisesti etsi toisia BGP:tä käyttäviä reitittämiä, vaan yhteydet toisiin reitittämiin on verkon ylläpitäjän tehtävä itse. BGP perustuu EGP:ssä julkaistuun autonomiseen järjestelmänumeroon. (van Beijnum 2015.)

2.3 Reititysprotokollat yleisesti

Reititysprotokollien tarkoitus on oppia saatavilla olevat reitit, koostaa reititystauluja ja tehdä reitityspäätöksiä. Reititysprotokollat voivat olla linkkipohjaisia tai etäisyysvektoripohjaisia. Etäisyysvektoripohjaiset protokollat mainostavat reititystaulunsa kaikille suoraan yhdistetyille naapureille säännöllisin väliajoin käyttäen paljon kais-
taa, sekä aikaa reititystaulujen päivittämisessä. Kun yksikin reitti lakkaa toimimasta, kaikki reititystaulut on päivitettävä. Ongelmaksi kaikkien reititystaulujen päivittä-
misessä syntyy hitaus, sillä jokaisen reitittimen on mainostettava naapureilleen uudet reititystiedot, tällöin syntyy tilanne, jossa osalla reitittimistä saattaa olla päivityksen ajan vanhaa tietoa. Etäisyysvektoreita hyödyntäviä protokollia ovat esimerkiksi EGP, BGP ja RIP. (Gredler & Goralski 2005, 160; ciscodesignbooks.com 2013.)

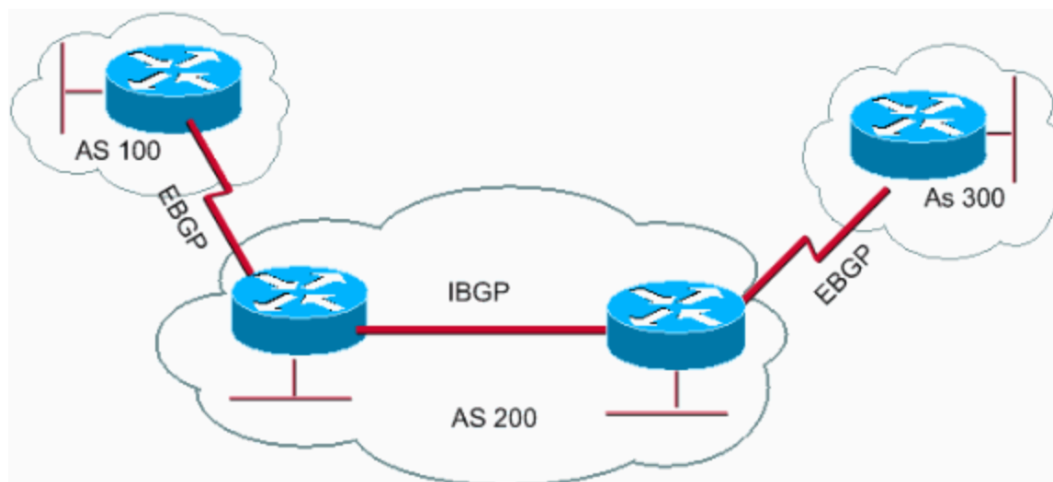
Linkkipohjaiset protokollat mainostavat ainoastaan muuttuneen reititystiedon, kun reititysmuutos tapahtuu. Inkrementaalinen reititystietojen jakaminen on vikasietoi-
sempää, ja nopeampaa. Esimerkiksi BGP:n iBGP -naapuruussuhteiden muodostami-
seen tarvitaan linkkipohjaista protokollaa. Linkkipohjaisia protokollia ovat esimer-
kiksi OSPF ja IS-IS. (Gredler & Goralski 2005, 160; ciscodesignbooks.com 2013.)

3 BGP

BGP on autonomisten järjestelmänumeroiden polkujen pituuksiin pohjautuva reititysprotokolla. BGP suunniteltiin reitittämään pääasiallisesti autonomisten järjestelmien välillä, eikä niiden sisällä. BGP ylläpitää reititystaulua perustuen lyhyimpään autonomisten järjestelmänumeroiden polkuun ja lukuisiin muihin attribuutteihin. Jokaisella BGP:n autonomisella järjestelmällä on oma numeronsa. Numero voi olla joko 16- tai 32-bittinen. 16-bittisyys tarkoittaa, että AS-numeron on oltava väliltä 0-65535. AS-numerot 65512 - 65535 ovat varattu yksityiseen käyttöön. 32-bittisen AS-numeron on oltava väliltä 65535 - 4294967295 (Balchunas 2007; Vohra ym. 2007.)

3.1 BGP:n naapurit

Toimiakseen BGP-reitittimien on luotava naapuruussuhteita. Naapuruussuhteita on olemassa kahdenlaisia. iBGP-naapurit (Internal Border Gateway Protocol) ovat saman autonomisen järjestelmän sisällä solmittuja naapuruussuhteita, joiden avulla kaikki saman autonomisen järjestelmän reitittimet mainostavat kaikki ulkoisilta autonomisilta järjestelmiltä opitut reitit keskenään. Näin voidaan optimoida paras mahdollinen polku ulos autonomisesta järjestelmästä. Kaikkien saman autonomisen järjestelmän BGP -reitittimien on oltava naapuruussuhteessa toistensa kanssa, ellei käytössä ole reittiheijastimia. eBGP-naapurit (External Border Gateway Protocol) ovat naapuruussuhteita muihin kuin omaan autonomiseen järjestelmään. (Balchunas 2007.)



Kuva 2. Esimerkki eBGP ja iBGP naapuruussuhteista. (Cisco Systems 2008).

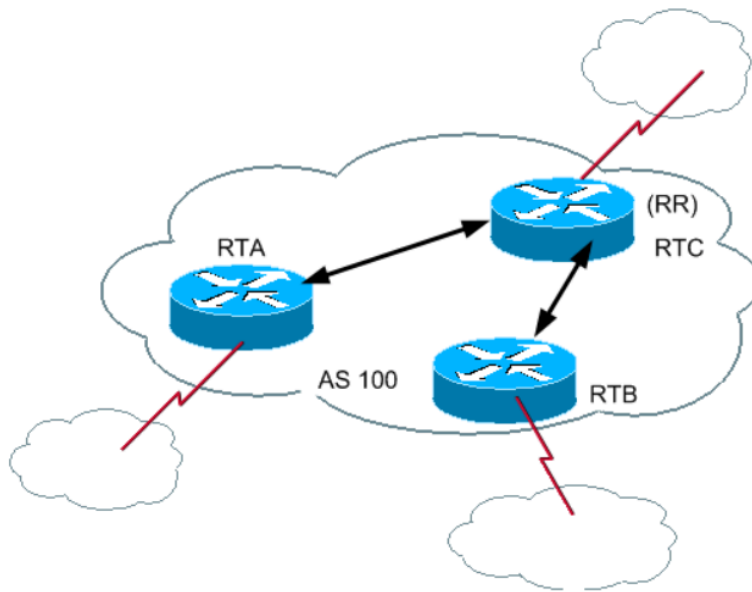
3.2 Parhaan polun algoritmi

BGP saattaa vastaanottaa saman verkon mainoksen usealta autonomiselta järjestelmältä, mutta BGP valitsee näistä vain yhden käyttöönsä vertailemalla reittien AS Path -attribuuttia, sekä muita attribuutteja. Kun paras reitti on selvitetty, BGP lisää reitin reititystauluunsa ja mainostaa reittiä omille naapureilleen.

(Cisco Systems 2016.)

3.3 Reittiheijastimet

Reittiheijastimet mahdollistavat vaihtoehdoisen tavan luoda iBGP -naapuruussuhteita saman autonomisen järjestelmän BGP -reitittimien kanssa. Kuten luvussa 3.1 todetaan, on jokaisen BGP-reitittimen oltava naapuruussuhteessa jokaisen saman autonomisen järjestelmän BGP-reitittimen kanssa. Reittiheijastimen tarkoitus on poistaa tarve BGP-reitittimien välisiltä naapuruussuhteilta, ja helpottaa naapuruussuhteiden hallintaa. Reittiheijastimien avulla BGP-reitittimien tarvitsee muodostaa iBGP-naapuruussuhde vain reittiheijastimien kanssa. Reittiheijastimilla täytyy olla naapuruussuhde kaikkien reittiheijastimien kanssa. (Cisco Systems 2008.)



Kuva 3. RTA ja RTB BGP -reitittimet muodostavat iBGP -yhteyden RTC - reittiheijastimeen saman autonomisen järjestelmän sisällä. (Cisco Systems 2008).

3.4 Attribuutit

BGP:llä mainostettuun verkkoon voidaan lisätä reititykseen vaikuttavia tietoja attribuuttien avulla. Attribuuttien avulla voidaan vaikuttaa parhaan polun valintaan. (Russ, McPherson & Sangli 2004.)

3.4.1 Attribuuttien tyypit

Well-known mandatory

Well-known mandatory -attribuuttien täytyy olla tuettuina jokaisessa BGP-pohjaisessa toteutuksessa ja niiden täytyy sisältyä jokaiseen UPDATE-viestiin. (Russ, McPherson & Sangli 2004.)

Well-known discretionary

Well-known discretionary -attribuuttien täytyy olla tuettuina jokaisessa BGP-pohjaisessa toteutuksessa, mutta niiden ei täydy sisältyä jokaiseen UPDATE-viestiin. (Russ, McPherson & Sangli 2004.)

Optional transitive

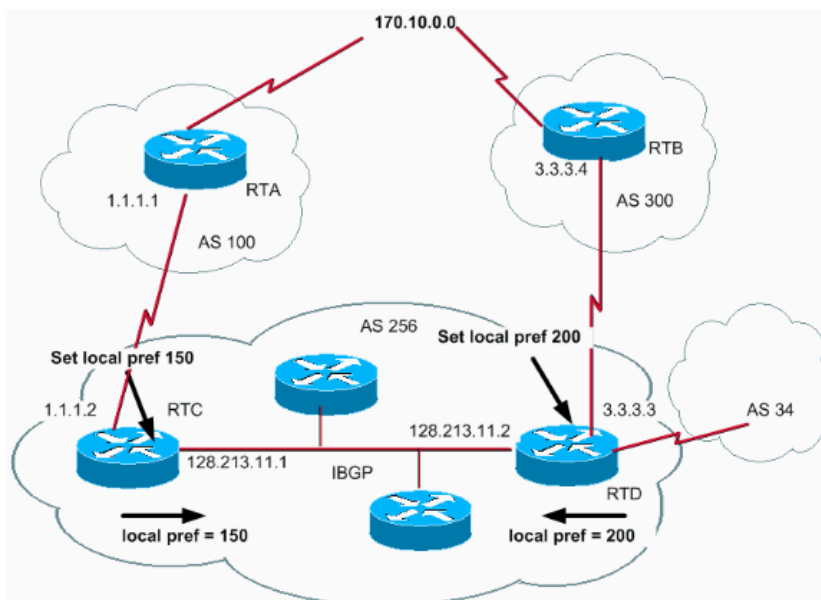
Optional Transitive -attribuuttien asettaminen on vapaaehtoista. Optional transitive attribuutit leviävät mainoksissa autonomisten järjestelmien välillä. (Russ, McPherson & Sangli 2004.)

Optional non-transitive

Optional non-transitive -attribuuttien asettaminen on vapaaehtoista. Optional non-transitive attribuutit mainostuvat vain seuraavalle autonomiselle järjestelmälle. (Russ, McPherson & Sangli 2004.)

3.4.2 Local Preference

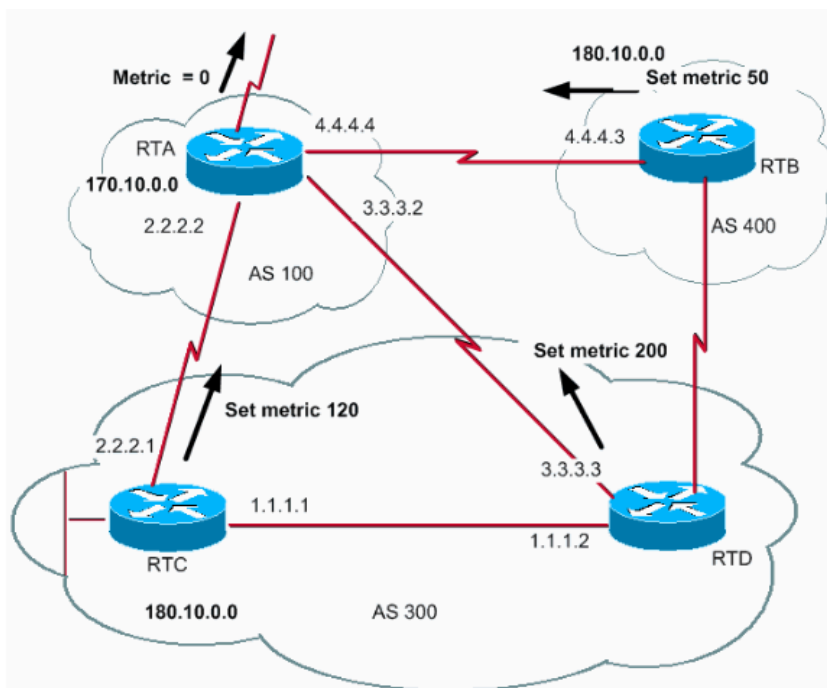
Local Preference on well-known discretionary -attribuutti, jolla määritellään mitä polkua pitkin liikenne poistuu autonomisesta järjestelmästä. Korkeampi Local Preference arvo tarkoittaa korkeampaa prioriteettia. Local Preferencen oletusarvo on 100. Local Preference -attribuutti mainostuu vain saman autonomisen järjestelmän sisällä. (Cisco Systems 2008.)



Kuva 4. Local Preference -attribuutin arvoksi asetetaan AS100:lta mainostuville verkoille 150, ja AS300 mainostuville verkoille 200 (Cisco Systems 2008).

3.4.3 Multi Exit Discriminator

MED -attribuutti (Multi Exit Discriminator) on tyypiltään optional non-transitive ja sillä määritellään mitä polkua pitkin liikenne tulee sisään autonomiseen järjestelmään. Toisin kuin Local Preference, MED mainostuu kahden eri autonomisen järjestelmän välillä, mutta siitä eteenpäin arvo muuttuu nolllaksi. Matalampi MED-arvo tarkoittaa korkeampaa prioriteettia. MED:n oletusarvo on 0. (Cisco Systems 2008.)



Kuva 5. RTC asettaa MED -arvoksi 120, RTD 200 ja RTB 50. AS100 käyttää RTC:n mainostamaa reittiä, sillä vaikka RTB:n kautta mainostuvassa reitissä on pienin MED-arvo, RTA vertaa MED-arvoa keskenään vain saman autonomisen järjestelmän mainostamilta reiteiltä ja valitsee pienimmän MED-arvon omaavan reitin eli RTC:n (Cisco Systems 2008).

3.4.4 Community

Community on optional transitive -attribuutti jonka arvo voi olla väliltä 0-4294967200. Community -attribuutti on keino kasata yhteen reittejä, jotka tarvitsevat samat asetukset ja reitityspäätökset reitin vastaanottavalta autonomiselta järjestelmältä. (Cisco Systems 2008).

```

remarks: =====
remarks: Community support for transit customers
remarks: =====
remarks:
remarks: 1759:1050 Set local pref 50 (lower than upstream LP)
remarks: 1759:1110 Set local pref 110 (lower than CIX LP)
remarks: 1759:1150 Set local pref 150 (lower than primary customer LP)
remarks: 1759:666 Black hole routing
remarks:
remarks: Prepend x times (x=1,2,3) or do NOT announce (x=0)
remarks:
remarks: 1759:100X All direct peers
remarks: 1759:200X Upstream Provider
remarks: 1759:300X Cix and private peers
remarks: 1759:400X CIX
remarks: 1759:500X Private peers
remarks: =====
remarks:

```

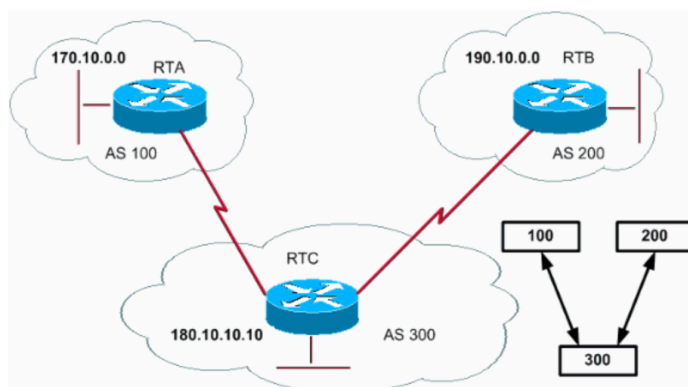
Kuva 6. TeliaSonera Finland Oyj:n autonomisen järjestelmänumeron 1759 käytössä olevat community (Ripe Database 2017).

3.4.5 Next Hop

Next Hop -attribuutin tyyppi on well-known mandatory, ja se määrittelee osoitteen, josta mainostettava verkko on saavutettavissa. eBGP:ssä next hop on oletuksena naapurin osoite. iBGP:ssä next hop -attribuutti ei vaihdu, vaikka reitti mainostuisikin iBGP naapurien kesken. (Cisco Systems 2008.)

3.4.6 AS Path

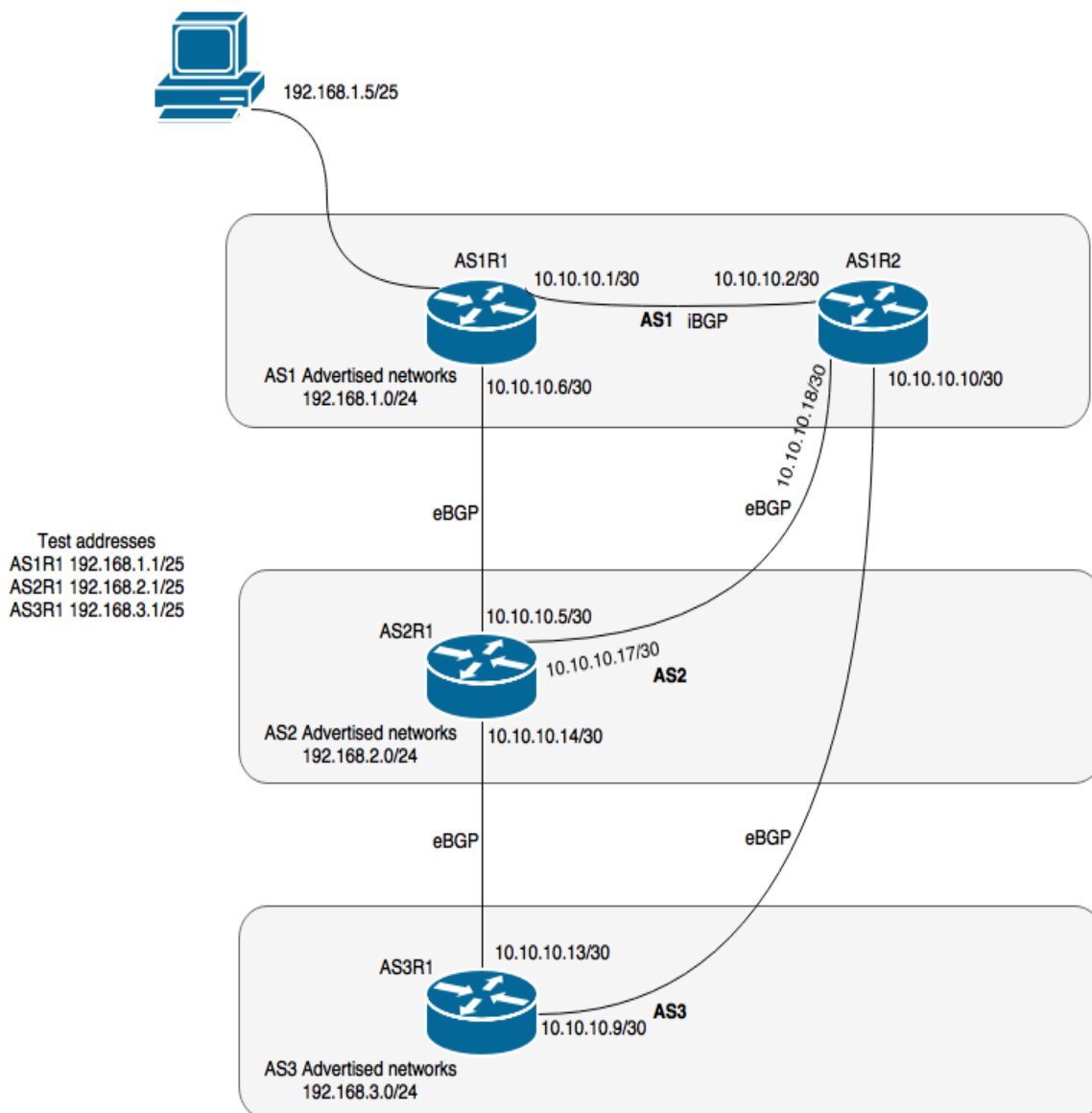
AS Path -attribuuttin tyyppi on well-known mandatory, ja siihen merkkautuu polku autonomisista järjestelmistä, joiden kautta mainostettava verkko on kulkenut ennen päätymistä vastaanottajalle. Lyhyemmän AS Path -attribuutin sisältävän reitti on korkeammalla prioriteetillä. (Cisco Systems 2008.)



Kuva 7. Esimerkki AS-polusta yksinkertaisessa topologiassa (Cisco Systems 2008).

3.5 Attribuutit vEOS -ympäristössä

3.5.1 Esimerkkiverkon topologia



Kuva 8. Esimerkkiverkon topologia ja autonomisten järjestelmien verkot.

3.5.2 Esimerkkiverkon reitittimien reititystaulut

BGP on asentanut parhaan polun algoritmin mukaan optimaaliset reitit reitittimien reititystauluun perustuen attribuutteihin ja niiden oletusarvoihin kuvien 8-12 mukaisesti.

```

AS1R1#show ip route bgp

VRF: default
Codes: C - connected, S - static, K - kernel,
       O - OSPF, IA - OSPF inter area, E1 - OSPF external type 1,
       E2 - OSPF external type 2, N1 - OSPF NSSA external type 1,
       N2 - OSPF NSSA external type2, B I - iBGP, B E - eBGP,
       R - RIP, I L1 - IS-IS level 1, I L2 - IS-IS level 2,
       O3 - OSPFv3, A B - BGP Aggregate, A O - OSPF Summary,
       NG - Nexthop Group Static Route, V - VXLAN Control Service,
       DH - Dhcp client installed default route

B E   192.168.2.0/24 [200/0] via 10.10.10.5, Ethernet2
B I   192.168.3.0/24 [200/0] via 10.10.10.2, Ethernet1

AS1R1#

```

Kuva 9. AS1R1-reitittimen BGP:n asentamat reitit.

```

AS1R2#show ip route bgp

VRF: default
Codes: C - connected, S - static, K - kernel,
       O - OSPF, IA - OSPF inter area, E1 - OSPF external type 1,
       E2 - OSPF external type 2, N1 - OSPF NSSA external type 1,
       N2 - OSPF NSSA external type2, B I - iBGP, B E - eBGP,
       R - RIP, I L1 - IS-IS level 1, I L2 - IS-IS level 2,
       O3 - OSPFv3, A B - BGP Aggregate, A O - OSPF Summary,
       NG - Nexthop Group Static Route, V - VXLAN Control Service,
       DH - Dhcp client installed default route

B I   192.168.1.0/25 [200/0] via 10.10.10.1, Ethernet1
B E   192.168.2.0/24 [200/0] via 10.10.10.17, Ethernet3
B E   192.168.3.0/24 [200/0] via 10.10.10.9, Ethernet2

AS1R2#

```

Kuva 10. AS1R2-reitittimen BGP:n asentamat reitit.


```

AS2R1#show ip route bgp

VRF: default
Codes: C - connected, S - static, K - kernel,
       O - OSPF, IA - OSPF inter area, E1 - OSPF external type 1,
       E2 - OSPF external type 2, N1 - OSPF NSSA external type 1,
       N2 - OSPF NSSA external type2, B I - iBGP, B E - eBGP,
       R - RIP, I L1 - IS-IS level 1, I L2 - IS-IS level 2,
       O3 - OSPFv3, A B - BGP Aggregate, A O - OSPF Summary,
       NG - Nexthop Group Static Route, V - VXLAN Control Service,
       DH - Dhcp client installed default route

B E   10.10.10.0/30 [200/0] via 10.10.10.6, Ethernet1
B E   192.168.1.0/24 [200/0] via 10.10.10.6, Ethernet1
B E   192.168.3.0/24 [200/0] via 10.10.10.13, Ethernet2

AS2R1#

```

Kuva 11. AS2R1-reitittimen BGP:n asentamat reitit.

```

AS3R1(config)#show ip route bgp

VRF: default
Codes: C - connected, S - static, K - kernel,
       O - OSPF, IA - OSPF inter area, E1 - OSPF external type 1,
       E2 - OSPF external type 2, N1 - OSPF NSSA external type 1,
       N2 - OSPF NSSA external type2, B I - iBGP, B E - eBGP,
       R - RIP, I L1 - IS-IS level 1, I L2 - IS-IS level 2,
       O3 - OSPFv3, A B - BGP Aggregate, A O - OSPF Summary,
       NG - Nexthop Group Static Route, V - VXLAN Control Service,
       DH - Dhcp client installed default route

B E   10.10.10.0/30 [200/0] via 10.10.10.10, Ethernet2
B E   192.168.1.0/24 [200/0] via 10.10.10.10, Ethernet2
B E   192.168.2.0/24 [200/0] via 10.10.10.14, Ethernet1

AS3R1(config)#

```

Kuva 12. AS3R1-reitittimen BGP:n asentamat reitit.

3.5.3 Local Preference

Kuvan 9. reititystaulun mukaan liikenne esimerkiverkon työasemalta AS3R1-reitittimelle reitittyy saman autonomisen järjestelmän AS1R1 ja AS1R2 -reitittimien kautta lyhyemmän AS-polun mukaan seuraavasti:

```
[root@wks ~]# traceroute -I 192.168.3.1 -n
traceroute to 192.168.3.1 (192.168.3.1), 30 hops max, 60 byte packets
 1 192.168.1.1  86.122 ms  87.926 ms  89.901 ms
 2 10.10.10.2  172.160 ms 174.100 ms 175.925 ms
 3 192.168.3.1 334.242 ms 336.102 ms 337.522 ms
```

Local Preferencen avulla voidaan muokata 192.168.3.0/24 -verkko reitittymään pidempää AS-polkua AS2R1-reitittimen kautta. Local Preferencen arvoksi asetettiin 150 kuten kuvassa 13.

```
AS1R1(config)#ip prefix-list set-150-localpref permit 192.168.3.0/24
AS1R1(config)#route-map local-pref-150 permit 10
AS1R1(config-route-map-local-pref-150)#match ip address prefix-list set-150-localpref
AS1R1(config-route-map-local-pref-150)#set local-preference 150
AS1R1(config-route-map-local-pref-150)#router bgp 1
AS1R1(config-router-bgp)#neighbor AS2 route-map local-pref-150 in
AS1R1(config-router-bgp)#
```

Kuva 13. Asetettiin AS1R1-reitittimelle local preference -attribuutin arvon asettava asetus.

```

AS1R1#show ip route bgp

VRF: default
Codes: C - connected, S - static, K - kernel,
       O - OSPF, IA - OSPF inter area, E1 - OSPF external type 1,
       E2 - OSPF external type 2, N1 - OSPF NSSA external type 1,
       N2 - OSPF NSSA external type2, B I - iBGP, B E - eBGP,
       R - RIP, I L1 - IS-IS level 1, I L2 - IS-IS level 2,
       O3 - OSPFv3, A B - BGP Aggregate, A O - OSPF Summary,
       NG - Nexthop Group Static Route, V - VXLAN Control Service,
       DH - Dhcp client installed default route

B I   192.168.2.0/24 [200/0] via 10.10.10.2, Ethernet1
B E   192.168.3.0/24 [200/0] via 10.10.10.5, Ethernet2

AS1R1#

```

Kuva 14. AS1R1-reitittimen BGP:n asentamat reitit 192.168.3.0/24 -verkon local-preference attribuutin muokkaamisen jälkeen.

Reititys tapahtuu konfiguraation mukaisesti pidempää AS-polkua pitkin AS2:n kautta:

```

[root@wks ~]# traceroute -I 192.168.3.1 -n
traceroute to 192.168.3.1 (192.168.3.1), 30 hops max, 60 byte packets
 1 192.168.1.1 122.128 ms 125.583 ms 129.383 ms
 2 10.10.10.5 194.898 ms 199.204 ms 204.606 ms
 3 192.168.3.1 409.562 ms 413.012 ms 417.660 ms

```

3.5.4 Multi Exit Discriminator

AS2R1-reitittimen mainostama verkko 192.168.2.0/24 on saavutettavissa esimerkki-verkon työaseman näkökulmasta sekä AS1R1 että AS1R2 -reitittimien kautta. Multi Exit Discriminator antaa mahdollisuuden AS2:sta ylläpitävälle taholle vaikuttaa AS1:n sisäiseen parhaan polun valintaan.

Oletusarvoisesti liikenne esimerkkiverkon työasemalta AS2R1-reitittimeen reitittyy AS1R1-reitittimen kautta parhaan polun algoritmin mukaisesti:

```
[root@wks ~]# traceroute -I 192.168.2.1 -n
traceroute to 192.168.2.1 (192.168.2.1), 30 hops max, 60 byte packets
 1 192.168.1.1 108.460 ms 112.079 ms 115.824 ms
 2 192.168.2.1 218.523 ms 221.252 ms 224.406 ms
```

Kuvassa 15. AS2R1-reitittimen AS1R1:lle mainostamien reittejen MED-arvoksi asetettiin 200, jolloin samanaikaisesti AS1R2:lle mainostuvien reittejen MED-arvo on pienempi.

```
AS2R1(config-router-bgp)#neighbor 10.10.10.6 metric-out 200
AS2R1(config-router-bgp)#
```

Kuva 15. Asetettiin AS2R1-reitittimen AS1R1-naapurin MED-arvoksi 200

Reititys tapahtuu konfiguraation mukaisesti pienemmän MED-arvon omaavien reittejen kautta:

```
[root@wks ~]# traceroute -I 192.168.2.1 -n
traceroute to 192.168.2.1 (192.168.2.1), 30 hops max, 60 byte packets
 1 192.168.1.1 106.761 ms 110.781 ms 114.716 ms
 2 10.10.10.2 191.638 ms 195.279 ms 199.835 ms
 3 192.168.2.1 302.907 ms 305.766 ms 309.068 ms
```

```

AS1R1#show ip route bgp
VRF: default
Codes: C - connected, S - static, K - kernel,
       O - OSPF, IA - OSPF inter area, E1 - OSPF external type 1,
       E2 - OSPF external type 2, N1 - OSPF NSSA external type 1,
       N2 - OSPF NSSA external type2, B I - iBGP, B E - eBGP,
       R - RIP, I L1 - IS-IS level 1, I L2 - IS-IS level 2,
       O3 - OSPFv3, A B - BGP Aggregate, A O - OSPF Summary,
       NG - Nexthop Group Static Route, V - VXLAN Control Service,
       DH - Dhcp client installed default route

B I    192.168.2.0/24 [200/0] via 10.10.10.2, Ethernet1
B I    192.168.3.0/24 [200/0] via 10.10.10.2, Ethernet1

AS1R1#

```

Kuva 16. AS1R1-reitittimen BGP:n asentamat reitit AS2R1:n MED -attribuutin asettamisen jälkeen.

3.5.5 Community

Esimerkkiverkon topologiassa AS1R1-reitittimelle on konfiguroitu 1:42 -community, joka asettaa community -attribuutin arvolla 1:42 vastaanotettujen reittejen local preference -attribuutin arvoksi 150. Kuvassa 17. AS1R1-reitittimen konfiguraatio community -attribuutin käyttöönottoon.

```

AS1R1(config)#route-map community-150-localpref permit 10
AS1R1(config-route-map-community-150-localpref)#match community 150-localpref
AS1R1(config-route-map-community-150-localpref)#set local-preference 150
AS1R1(config-route-map-community-150-localpref)#ip community-list standard 150-localpref permit 1:42
AS1R1(config)#conf t
AS1R1(config)#router bgp 1
AS1R1(config-router-bgp)#neighbor AS2 route-map community-150-localpref in
AS1R1(config-router-bgp)#

```

Kuva 17. AS1R1-reitittimen konfiguraatio community -attribuutin käyttöönottoon.

Kuvan 9. reititystaulun mukaan liikenne esimerkkiverkon työasemalta AS3R1-reitittimelle reitittyy AS1 -autonomisen järjestelmän AS1R1 ja AS1R2 -reitittimien kautta lyhyemmän AS-polun mukaan seuraavasti:

```
[root@wks ~]# traceroute -I 192.168.3.1 -n
traceroute to 192.168.3.1 (192.168.3.1), 30 hops max, 60 byte packets
 1 192.168.1.1 86.122 ms 87.926 ms 87.901 ms
 2 10.10.10.2 172.160 ms 174.100 ms 175.925 ms
 3 192.168.3.1 334.242 ms 336.102 ms 337.522 ms
```

Asetetaan AS2R1:n kautta mainostuvien verkkojen community -attribuutin arvoksi 1:42, jolloin AS2R1:n kautta AS1R1:lle mainostuvien verkkojen local preferencen arvoksi AS1:n sisällä asettuu 150.

```
AS2R1#conf t
AS2R1(config)#route-map as1-comm-42-lpref permit 10
AS2R1(config-route-map-as1-comm-42-lpref)#set community 1:42
AS2R1(config-route-map-as1-comm-42-lpref)#router bgp 2
AS2R1(config-router-bgp)#neighbor 10.10.10.6 route-map as1-comm-42-lpref out
AS2R1(config-router-bgp)#
```

Kuva 18. Asetettiin AS2R1:n kautta mainostuvien verkkojen community -attribuutin arvoksi 1:42.

Reititys tapahtuu konfiguraation mukaisesti AS2R1:n kautta:

```
[root@wks ~]# traceroute -I 192.168.3.1 -n
traceroute to 192.168.3.1 (192.168.3.1), 30 hops max, 60 byte packets
 1 192.168.1.1 106.120 ms 109.966 ms 113.525 ms
 2 10.10.10.5 188.396 ms 192.355 ms 195.847 ms
 3 192.168.3.1 342.275 ms 345.311 ms 348.156 ms
```

```
AS1R1#show ip route bgp
VRF: default
Codes: C - connected, S - static, K - kernel,
       0 - OSPF, IA - OSPF inter area, E1 - OSPF external type 1,
       E2 - OSPF external type 2, N1 - OSPF NSSA external type 1,
       N2 - OSPF NSSA external type2, B I - iBGP, B E - eBGP,
       R - RIP, I L1 - IS-IS level 1, I L2 - IS-IS level 2,
       O3 - OSPFv3, A B - BGP Aggregate, A 0 - OSPF Summary,
       NG - Nexthop Group Static Route, V - VXLAN Control Service,
       DH - Dhcp client installed default route

B E   192.168.2.0/24 [200/0] via 10.10.10.5, Ethernet2
B E   192.168.3.0/24 [200/0] via 10.10.10.5, Ethernet2
AS1R1#
```

Kuva 19. AS1R1-reitittimen BGP:n asentamat reitit 1:42 -communityllä mainostamisen jälkeen.

3.5.6 Next Hop

Liikenne esimerkkiverkon työasemalta verkkoon 192.168.3.0/24 reitittyy parhaan polun algoritmin mukaan AS1R1:n ja AS1R2:n kautta AS3R1:lle:

```
[root@wks ~]# traceroute -I 192.168.3.1 -n
traceroute to 192.168.3.1 (192.168.3.1), 30 hops max, 60 byte packets
 1 192.168.1.1 112.708 ms 116.203 ms 119.909 ms
 2 10.10.10.2 205.010 ms 208.302 ms 211.538 ms
 3 192.168.3.1 335.276 ms 339.793 ms 343.457 ms
```

Asetetaan AS3R1:ltä AS1R2:lle mainostuvien verkkojen next hop -attribuutin arvoksi 10.10.10.17 jolloin liikenne esimerkkiverkon työasemalta reitittyy AS1R1, AS1R2 ja AS2R1 kautta AS3R1:lle.

```
AS3R1(config-router-bgp)#route-map set-nexthop-to-as2r1
AS3R1(config-route-map-set-nexthop-to-as2r1)#set ip next-hop 10.10.10.17
AS3R1(config-route-map-set-nexthop-to-as2r1)#router bgp 3
AS3R1(config-router-bgp)#neighbor AS1 route-map set-nexthop-to-as2r1 out
AS3R1(config-router-bgp)#
```

Kuva 20. Asetetaan AS3R1:ltä AS1R2:lle mainostuvien verkkojen next hop -attribuutin arvoksi 10.10.10.17.

```
[root@wks ~]# traceroute -I 192.168.3.1 -n
traceroute to 192.168.3.1 (192.168.3.1), 30 hops max, 60 byte packets
 1 192.168.1.1 103.199 ms 107.155 ms 111.053 ms
 2 10.10.10.2 190.267 ms 193.913 ms 197.557 ms
 3 10.10.10.17 253.332 ms 257.698 ms 263.217 ms
 4 192.168.3.1 387.174 ms 390.371 ms 393.762 ms
```

3.5.7 AS Path

Oletusarvoisesti liikenne AS3R1-reitittimeltä esimerkkiverkon työasemalle reitittyy AS1R2 ja AS1R1-reitittimien kautta parhaan polun algoritmin mukaisesti:

```
AS3R1(config-router-bgp)#traceroute 192.168.1.5
traceroute to 192.168.1.5 (192.168.1.5), 30 hops max, 60 byte packets
 1 10.10.10.10 (10.10.10.10) 80.412 ms 86.066 ms 97.353 ms
 2 10.10.10.1 (10.10.10.1) 180.675 ms 186.591 ms 190.877 ms
 3 192.168.1.5 (192.168.1.5) 288.227 ms 293.093 ms 297.538 ms
```

AS Path -attribuuttia muokkaamalla voidaan vaikuttaa parhaan polun algoritmiin. Kuvassa 21. lisätään AS1R2:n AS3R1:lle mainostamien verkkojen AS Path -attribuuttiin kolme kertaa AS1:n autonomisen järjestelmän numero.

```
AS1R2(config-route-map-prepend-3times)#route-map prepend-3times
AS1R2(config-route-map-prepend-3times)#set as-path prepend 1 1 1
AS1R2(config-route-map-prepend-3times)#router bgp 1
AS1R2(config-router-bgp)#neighbor 10.10.10.9 route-map prepend-3times out
AS1R2(config-router-bgp)#
```

Kuva 21. Asetetaan AS1R2:lta AS3R1:lle mainostuvien verkkojen AS Path -attribuuttiin kolmesti AS1:n AS-numero.

Kuvassa 22. alleviivattuna AS3R1:n AS1R2:lta vastaanottamat reitit joiden AS Path -attribuutissa näkyy pidemmäksi muokattu AS-polku.

```
AS3R1#sh ip bgp
BGP routing table information for VRF default
Router identifier 10.10.10.9, local AS number 3
Route status codes: s - suppressed, * - valid, > - active, # - not installed, E - ECMP head, e - ECMP
                    S - Stale, c - Contributing to ECMP, b - backup, L - labeled-unicast
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
AS Path Attributes: Or-ID - Originator ID, C-LST - Cluster List, LL Nexthop - Link Local Nexthop
```

	Network	Next Hop	Metric	LocPref	Weight	Path
* >	10.10.10.0/30	10.10.10.14	0	100	0	2 1 i
*	10.10.10.0/30	10.10.10.10	0	100	0	1 1 1 1 i
* >	192.168.1.0/24	10.10.10.14	0	100	0	2 1 ?
*	192.168.1.0/24	10.10.10.10	0	100	0	1 1 1 1 ?
* >	192.168.2.0/24	10.10.10.14	0	100	0	2 ?
* >	192.168.3.0/24	-	0	0	-	?

```
AS3R1#
```

Kuva 22. AS3R1:n AS1R2:lta vastaanottamat reitit.


```

AS3R1#sh ip route bgp

VRF: default
Codes: C - connected, S - static, K - kernel,
       O - OSPF, IA - OSPF inter area, E1 - OSPF external type 1,
       E2 - OSPF external type 2, N1 - OSPF NSSA external type 1,
       N2 - OSPF NSSA external type2, B I - iBGP, B E - eBGP,
       R - RIP, I L1 - IS-IS level 1, I L2 - IS-IS level 2,
       O3 - OSPFv3, A B - BGP Aggregate, A O - OSPF Summary,
       NG - Nexthop Group Static Route, V - VXLAN Control Service,
       DH - Dhcp client installed default route

B E    10.10.10.0/30 [200/0] via 10.10.10.14, Ethernet1
B E    192.168.1.0/24 [200/0] via 10.10.10.14, Ethernet1
B E    192.168.2.0/24 [200/0] via 10.10.10.14, Ethernet1

AS3R1#

```

Kuva 23. AS3R1 BGP:n asentamat reitit AS1R2:n mainostamien verkkojen AS Path - attribuutin muokkaamisen jälkeen.

Reititys tapahtuu konfiguraation mukaisesti, lyhyemmän AS-polun mukaan.

```
AS3R1#traceroute 192.168.1.5
```

```
traceroute to 192.168.1.5 (192.168.1.5), 30 hops max, 60 byte packets
```

```

1 10.10.10.14 (10.10.10.14) 78.611 ms 85.229 ms 91.720 ms
2 10.10.10.6 (10.10.10.6) 142.981 ms 187.986 ms 192.561 ms
3 192.168.1.5 (192.168.1.5) 292.254 ms 296.710 ms 300.553 ms

```

4 LOPUKSI

BGP:n käytölle Internetin reititysprotokollana ei näy loppua. Nykyisiä historiallisista syistä johtuvia ongelmia korjaavia ratkaisuja esitellään jatkuvasti, uusimpana merkittävänä RFC 8092, joka lisää uuden 96-bittisen community-attribuutin jolloin communityjä voidaan käyttää myös 32-bittisillä autonomisen järjestelmän numeroilla.

Työssä esiteltiin lyhyesti Internetin historia, BGP:n edeltäjinä toimineiden reititysprotokollien historia, reititysprotokollien toiminta, BGP ja sen tärkeimmät attributit. Koitin rajata työtä siten, että se helpottaisi BGP:hen tutustumista henkilöillä, joilla on kokemusta muista reititysprotokollista ja jotka todennäköisesti tulevat käyttämään työssään BGP:tä.

Pidin erityisesti mahdollisuudesta tutustua opinnäytetyön parissa Aristan EOS -käyttöjärjestelmään, jonka käyttäminen ja syntaksi tekivät vaikutuksen.

LÄHTEET

Aaron Balchunas. 2007. Border Gateway Protocol Viitattu 27.3.2017.

<http://www.routeralley.com/guides/bgp.pdf>

Cisco Systems. Border Gateway Protocol Viitattu 27.3.2017.

http://docwiki.cisco.com/wiki/Border_Gateway_Protocol

Cisco Systems. 2016. BGP Best Path Selection Algorithm Viitattu 28.3.2017.

<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/border-gateway-protocol-bgp/13753-25.html>

Cisco Systems. 2008. Routersreflectors Viitattu 28.3.2017.

<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/border-gateway-protocol-bgp/26634-bgp-toc.html>

Cisco Systems. 2008. Local Preference Viitattu 29.3.2017.

<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/border-gateway-protocol-bgp/26634-bgp-toc.html>

Cisco Systems. 2008. Metric Viitattu 29.3.2017.

<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/border-gateway-protocol-bgp/26634-bgp-toc.html>

Cisco Systems. 2011 Viitattu 29.3.2017, http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/iproute_bgp/configuration/12-4t/irg-12-4t-book/irg-overview.html

Ciscodesignbooks.com. 2013. Overview Viitattu 30.3.2017.

<https://learningnetwork.cisco.com/docs/DOC-17431>

Cisco Systems. 2008. Community Viitattu 30.3.2017.

<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/border-gateway-protocol-bgp/26634-bgp-toc.html>

Cidr-report.org. 2017 Viitattu 27.3.2017. <http://www.cidr-report.org/cgi-bin/plota?file=%2fvar%2fdata%2fbgp%2fas2.0%2fbgp-active.txt&descr=Active BGP entries %28FIB%29&ylabel=Active BGP entries %28FIB%29&with=step>

Cisco Systems. 2008. Next Hop Viitattu 29.3.2017 .

<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/border-gateway-protocol-bgp/26634-bgp-toc.html>

Gredler, H, Goralski, W. 2005 Viitattu 30.3.2017. The Complete IS-IS Routing Protocol

Iljitsch van Beijnum. 2015. GGP, EGP and 25 years of BGP: a brief history of Internet routing Viitattu 27.3.2017. <http://www.routerfreak.com/ggp-egp-and-25-years-of-bgp-a-brief-history-of-Internet-routing/>

Ripe Database. 2017 Viitattu 1.4.2017.

<https://apps.db.ripe.net/search/lookup.html?source=RIPE&type=aut-num&key=AS1759>

Russ, W, McPherson D, Sangli, S. 2004 Viitattu 14.12.2017

<http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=331613&seqNum=5>

University System of Georgia. Viitattu 27.3.2017.

http://www.usg.edu/galileo/skills/unit07/Internet07_02.phtml

Vohra, Q, Chen, E. 2007. BGP Support for Four-octet AS Number Space Viitattu 28.3.2017. <https://www.ietf.org/rfc/rfc4893.txt>