

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma / Tietoverkkotekniikka

Joni Hämäläinen

INTERNETPALVELUNTARJOAJIEN RYHMÄLÄHETYS-
TEKNIIKAT

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikan koulutusohjelma

HÄMÄLÄINEN, JONI	Internet palveluntarjoajien ryhmälähetystekniikat
Opinnäytetyö	36 sivua + 18 liitesivua
Työn ohjaaja	Yliopettaja Martti Kettunen
Toimeksiantaja	Elisa Oyj
Maaliskuu 2014	
Avainsanat	IGMP, PIM, MLDP, Multicast

Verkkoliikenteen jatkuva kasvu on johtanut verkon resursseja säästävien tekniikoiden kehitykseen. Verkkolaitteiden kuorman keventämiseksi on kehitetty uusia tekniikoita, joita ovat esimerkiksi virtualisointi- ja ryhmälähetystekniikat. Ryhmälähetyksessä paketit lähetetään vain kerran, ja liikennettä jatketaan monistamalla paketit. Tieto kulkee tietylle ryhmälle, joka on halukas vastaanottamaan liikenteen. Ryhmälähetysmenetelmillä liikenne saadaan kohdistettua tehokkaasti verkon muille laitteille.

Internet-palveluntarjoajien tuotantoverkoissa on pitkään ollut käytössä PIM-protokollaan perustuva ratkaisu. Työn tarkoituksena oli tutkia ratkaisua, jossa palveluntarjoajan verkossa siirrytään käyttämään MPLS-pohjaisia ryhmälähetysmenetelmiä, kuten MLDP. Samalla perehdytään VRF-tekniikkaan ryhmälähetyksissä. Teoriaosuus antaa perustavanlaatuisia tietoja työssä käytettävistä protokollista ja tekniikoista. Työn toinen tavoite oli testata ryhmälähetystekniikkaa laboratorioympäristössä ja sen jälkeen implementoida se Simunet-tuotantoverkkoon.

Testausta varten ICT-laboratorioon rakennettiin palveluntarjoajan runkoverkkoa mallintava reititin- ja kytkinverkko. Verkkoa testattiin streamaamalla videokuvaa verkon läpi. Videostream kulki verkon läpi virtuaalireitittimen sisällä käyttäen multicast-tekniikkaa tiedon välitykseen.

ICT-laboratorion testauksen jälkeen työ siirrettiin Internet-palveluntarjoajan kaltaiseen Simunet-ympäristöön. Simunet-ympäristöön lisättiin uusi reititin, jonka avulla testaus saatiin suoritettua. Simunet-ympäristöön saatiin toimiva MLDP- eli Multicast Label Distribution Protocol -tekniikkaa hyödyntävä ryhmälähetysratkaisu, joka toimi virtuaalireitittimen sisällä.

Työssä käytetyt protokollat osoittautuivat toimiviksi testiverkoissa. Opinnäytetyössä läpi käyty protokollat ovat kuitenkin pieni määrä kaikista mahdollisista ryhmälähetys- ja virtualisointitekniikoista, joita on tällä hetkellä tarjolla. Jotta resurssien todellinen säästyminen voitaisiin todeta, pitäisi testaus suorittaa todella suuressa ja kuormiteussa verkossa. Työssä käytetyt tekniikat ja menetelmät antoivat kuitenkin lupaavia tuloksia siitä, miten tekniikat toimivat osana verkkoa.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Information technology

HÄMÄLÄINEN, JONI

Multicast Techniques Of Internet Service Providers

Bachelor's Thesis

36 pages + 18 pages of appendices

Supervisor

Martti Kettunen, Principal Lecturer

Commissioned by

Elisa Oyj

March 2014

Keywords

IGMP, PIM, MLDP, Multicast

The continuously growing network traffic has led to the usage of resource saving techniques. New virtualization and multicast techniques have been developed to lighten the workload of network devices. On multicast technique, packet is only sent once and the traffic is then forwarded by replicating the packets. The packets are then forwarded to a specific group that is willing to receive the packets. By using multicast technique the traffic is efficiently targeted in the network.

Internet service providers have been using PIM-protocol-based solution in production network for a long time. The purpose of this study was to experiment a solution where service providers' network moves to using MPLS-based multicast methods such as MLDP. At the same time VRF-techniques were studied. The theoretical framework consists of fundamental information about the protocols and techniques used in this work. Another objective for this study was to test multicast techniques under laboratory circumstances and implement it to the Simunet production network after testing.

The testing network was built in ICT-laboratory. It models service providers' core network and consists of routers and switches. The network was tested by streaming video through the network. The stream was forwarded using multicast technique inside virtual router.

The testing was transferred into Simunet environment after testing in ICT-laboratory. Simunet is similar to Internet service network providers'. A new router was implemented into Simunet environment so that the testing could be done. A working multicast technique utilizing Multicast Label Distribution Protocol was implemented into the Simunet network. The technique also worked inside virtual router.

Protocols used in this work turned out to be functioning in the testing networks. The protocols used in this The study were just a small part of the multicast and virtualization techniques available at the moment. Testing should be done in a massive and loaded network to actually notice the saving of the resources. The techniques and methods used in this work gave promising results on how the techniques work as a part of the network.

LYHENNELUETTELO

BGP	Border Gateway Protocol on protokolla, jonka tarkoitus on hoitaa reititys autonomisten alueiden välillä.
Broadcast	Viestien lähetystapa, jossa viestejä levitetään kaikille mahdollisille vastaanottajille.
CE	<i>Customer Edge</i> on asiakasverkon reunareititin.
Egress router	Liikenteen ulostulo reititin.
Ingress router	Liikenteen sisääntulo reititin.
EIGRP	<i>Enhanced Interior Gateway Protocol</i> on Ciscon kehittämä reititysprotokolla.
FRR	<i>Fast ReRoute</i> on uudelleenreititystekniikka mahdollisten laitehäiriöiden varalle.
IANA	<i>Internet Assigned Numbers Authority</i> vastaa erinäisistä internetin käytännöistä.
IGMP	<i>Internet Group Management Protocol</i> on kommunikaatio-protokolla loppukäyttäjien ja reitittimien välillä.
IGP	<i>Interior Gateway Protocol</i> on autonomisen alueella toimiva, reititystietojen vaihtoon tarkoitettu protokolla.
IP	<i>Internet Protocol</i> on verkkokerroksen yhteyskäytäntö, joka hoitaa pakettireitityksen.
Label	Lippu, jota käytetään pakettien tunnistamiseen MPLS-alueen sisällä.
LAN	<i>Local Area Network</i> on pienen alueen tietoverkko, jossa kaikki laitteet ovat samassa verkossa.

LDP	<i>Label Distribution Protocol</i> on protokolla, jonka avulla reitittimet vaihtavat lipputietoja keskenään.
LSA	<i>Link State Advertisement</i> on OSPF:n käyttämä kommunikointimenetelmä.
LSM	<i>Label Switched Multicast</i> on lipputietoihin perustuva ryhmälähetystekniikka.
MLDP	<i>Multicast Label Distribution Protocol</i> on ryhmälähetysprotokolla, joka mahdollistaa label mapping -tietojen vaihtamisen reitittimien välillä.
MP2MP	<i>Multipoint-to-multipoint</i> on monesta moneen - tiedonsiirtomenetelmä tietoverkoissa.
MPLS	<i>Multiprotocol Label Switching</i> on tekniikka, jota käytetään runkoverkoissa. Se mahdollistaa tiedonsiirron solmukohtien yli ilman erillistä reititystä.
Multicast	Ryhmälähetysmenetelmä, jonka avulla lähetetään liikennettä tietyille osalle verkon vastaanottajista.
Next-hop	Solmukohtien välinen hyppy.
OSPF	<i>Open Shortest Path First</i> on TCP/IP verkkojen reititysprotokolla, joka perustuu lyhimpään reittien.
P – laite	<i>Provider-laite</i> on verkon runkoreititin.
P2MP	<i>Point-to-multipoint</i> on yhdestä moneen - tiedonsiirtomenetelmä tietoverkoissa.
PE	<i>Provider Edge</i> on verkko-operaattorin reunareititin.
PIM	<i>Protocol Independent Multicast</i> on ryhmälähetysprotokollien perhe.

PVP	<i>Path Vector Protocol</i> on reititysprotokolla, joka ylläpitää reittitietoja.
Router	Verkkolaite, joka hoitaa pakettien käsittelyn verkkojen välillä.
RP	<i>Rendezvous Point</i> on jaetun juuren kohtaauspaikka.
RPF	<i>Reverse Path Forwarding</i> on tekniikka, joka takaa verkon toiminnan ilman reitityslenkkejä.
RSVP-TE	<i>Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering</i> on verkkoresurssien varaamiseen tarkoitettu tekniikka.
SPF	<i>Shortest Path First</i> on algoritmi, jolla lasketaan lyhin reitti.
SSM	<i>Source Specific Multicast</i> on viestipohjainen protokolla, jota käytetään kuljetuskerroksella.
TTL	<i>Time To Live</i> on menetelmä, joka määrää pakettien eliniän tietoverkoissa.
Unicast	Yhdestä yhteen tiedonsiirtomenetelmä.
VPN	<i>Virtual Private Network</i> on tekniikka, jolla voidaan yhdistää yksityiset verkot internetin välityksellä.
VRF	<i>Virtual Routing and Forwarding</i> on tekniikka, joka mahdollistaa useiden reititystaulujen olemassaolon reitittimessä samanaikaisesti.
WAN	<i>Wide Area Network</i> on maantieteellisesti hajallaan oleva tietoverkko.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	9
2	MULTICAST	10
	2.1 Tiedonvälitysmenetelmät	10
	2.2 Ryhmälähetysmenetelmät	10
	2.2.1 Point-to-multipoint	10
	2.2.2 Multipoint-to-multipoint	11
	2.3 Ryhmälähetysosoitealueet	12
	2.4 Label Switched Multicast	13
3	PERINTEISET RYHMÄLÄHETYSMENETELMÄT	14
	3.1 Internet Group Management Protocol (IGMP)	14
	3.1.1 Internet Group Management Protocol Version 1 (IGMPv1)	15
	3.1.2 Internet Group Management Protocol Version 2 (IGMPv2)	15
	3.1.3 Internet Group Management Protocol Version 3 (IGMPv3)	15
	3.2 Protocol Independent Multicast (PIM)	15
	3.2.1 Protocol-Independent Multicast Sparse-Mode (PIM-SM)	16
	3.2.2 Protocol independent Multicast Dense-Mode (PIM-DM)	17
	3.2.3 PIM Sparse-Dense Mode	17
	3.2.4 PIM Source Specific Multicast (PIM-SSM)	17
	3.2.5 Bi-Directional PIM (Bidir-PIM)	18
4	UUDET RYHMÄLÄHETYSMENETELMÄT	18
	4.1 Multicast Label Distribution Protocol	18
	4.1.1 FEC-elementti	19
	4.1.2 Multicast LDP -signalointi	19
	4.1.3 MLDP In-Band -signalointi	19
	4.1.4 Out-of-Band -signalointi	20

4.2	Multiprotocol Label Switching (MPLS)	20
4.3	Reititysmenetelmät	21
4.3.1	Open Shortest Path First (OSPF)	21
4.3.2	Border Gateway Protocol (BGP)	21
4.4	Layer 3 Multicast Virtual Private Network (L3MVPN)	21
5	KÄYTÄNNÖN TESTAUS	22
5.1	ICT-laboratorio testausjärjestelyt	22
5.1.1	Peruskonfiguraatiot	23
5.1.2	MPLS-tekniikan lisääminen verkon osaksi	24
5.1.3	Layer 3 MVPN:n lisääminen verkon osaksi	24
5.1.4	BGP:n lisääminen verkon osaksi	24
5.1.5	VPNv4-reittien jakelu asiakasverkkoon	24
5.1.6	PIM-SSM:n lisääminen verkon osaksi	25
5.1.7	Multicast-liikenteen varmistaminen	25
6	SIMUNET-TESTIYMPÄRISTÖ	25
6.1	Simunet	25
6.1.1	Uuden P-laitteen asennus	26
6.1.2	Uuden P11-laitteen konfigurointi	26
6.1.3	Layer 3 MVPN	27
6.1.4	BGP-konfigurointi	27
6.1.5	IGMPv3	28
6.1.6	MLDP-konfigurointi	28
6.1.7	PE3- ja PE4-laitteiden toiminnan varmistus	29
6.1.8	P11-laitteen toiminnan varmistus	32
7	YHTEENVETO	33
	LÄHTEET	35
	LIITTEET	
	Liite 1. ICT-laboratorion testikokoonpanon konfiguraatiot	
	Liite 2. Simunet-laboratorion testikokoonpanon konfiguraatiot	

1 JOHDANTO

Internetin käytön lisääntyminen ja verkkoliikenteen mittava kasvu on ollut jatkuvaa jo pitkään. Vuonna 2013 internetin käyttäjiä oli jo 2,8 miljardia ja internetin käyttäjien määrän on ennustettu kasvavan noin 3 miljardiin vuoden 2014 aikana. Verkkoliikenteen nopea kasvu on johtanut verkkolaitteiden resurssien käytön kasvuun ja täten uusien resursseja säästävien tekniikoiden kehitykseen. Verkkolaitteiden resurssien säästäminen on palveluntarjoajille erittäin tärkeää, koska se tarjoaa puitteet ongelmavapaille tietoverkoille.

Multicast-tekniikka, jota kutsutaan myös ryhmälähetystekniikaksi, on suunniteltu tarjoamaan verkkolaitteille kevennystä niiden suuren tietokuorman takia. Ryhmälähetys vähentää koko verkon liikennemäärää, sillä lähettävä laite lähettää tiedon vain kerran eteenpäin toisille verkon laitteille. Toiset laitteet replikoivat eli ikään kuin monistavat paketin reitin varrella oleville halukkaille vastaanottajille. Tämä johtaa pakettiliikenteen vähenemiseen verkossa ja täten verkon resurssien säästymiseen.

Verkkolaitteiden resurssien säästämiseksi on myös kehitetty erilaisia virtualisointitekniikoita. Työssä käytetään VRF-tekniikkaa eli Virtual Routing and Forwarding -tekniikkaa, jonka avulla myös säästetään verkon resursseja.

Tämän opinnäytetyön päämäärä on perehtyä erityisesti Internet palveluntarjoajien käyttämiin ryhmälähetystekniikoihin ja testata niiden toimintaa virtuaalireitittimen sisällä. Työssä käytettäviä ryhmälähetysprotokollia ovat IGMPv3 eli Internet Group Management Protocol versio 3, PIM eli Protocol Independent Multicast ja MLDP eli Multicast Label Distribution Protocol.

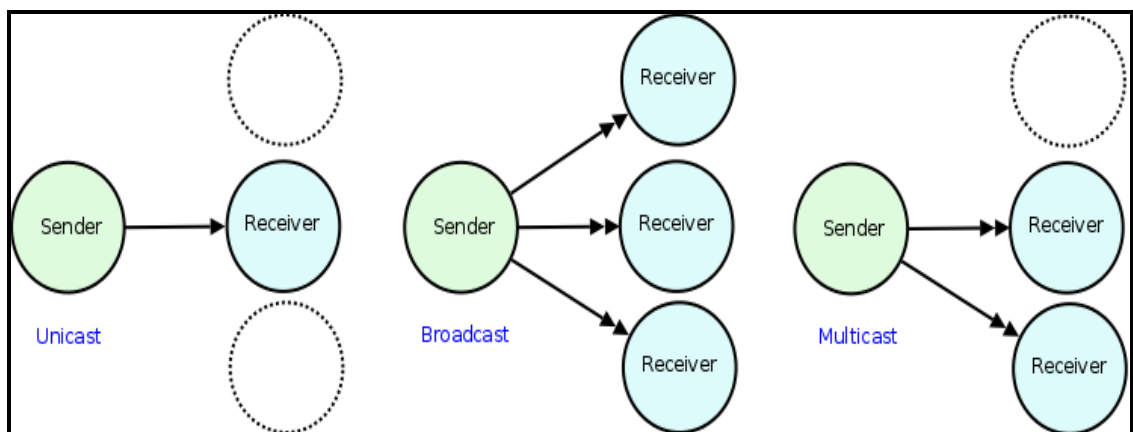
Työ rajattiin pitämään sisällään vanhempia ryhmälähetystekniikoita, kuten PIM ja uuden sukupolven ryhmälähetystekniikoita, kuten MLDP. MLDP protokollasta valittiin tarkempaan tutkintaan In-Band signaloitu malli. Työssä ei myöskään perehdytä IPv6-pohjaisiin ryhmälähetysratkaisuihin.

2 MULTICAST

2.1 Tiedonvälitysmenetelmät

Perinteinen Internet Protocol (IP) viestintä mahdollistaa pakettien lähetyksen yhdelle (unicast transmission) tai kaikille (broadcast transmission) vastaanottajille. IP Multicast tarjoaa kolmannen vaihtoehdon mahdollistamalla tiedon välityksen tietylle ryhmälle verkon vastaanottajista. IP Multicast on erityisesti suunniteltu tekniikka kaistanleveyden säästämiseksi. Se vähentää verkkoliikennettä lähettämällä samanaikaisesti yhden tietovirran mahdollisesti tuhansille vastaanottajille.

Ryhmälähetys minimoi lähteen ja vastaanottajan taakkaa sekä vähentää koko verkon liikennemäärää. Multicast verkossa reitittimet ovat vastuussa pakettien monistamisesta ja jakelusta kaikille vastaanottavan ryhmän jäsenille. Kuvassa 1 havainnollistetaan eri tiedonvälitysmenetelmiä.



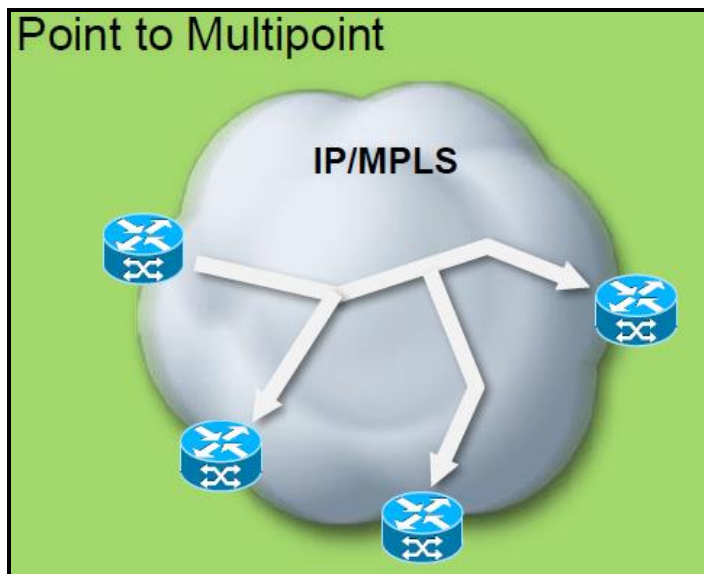
Kuva 1 Unicast, broadcast ja multicast tiedonsiirtomenetelmät. (Multicast and Point-to-Point Messages 2010.)

2.2 Ryhmälähetysmenetelmät

2.2.1 Point-to-multipoint

Point-to-multipoint (P2MP) ratkaisussa tiedolla on vain yksi lähde, josta kaikki tieto saa alkunsa. Muut verkkolaitteet vastaanottavat paketit ja monistavat ne verkon muille laitteille. Näitä laitteita ovat esimerkiksi reitittimet. Vastaanotettuaan paketin nämä laitteet lähettävät sen eteenpäin. Paketti lähetetään eteenpäin vain kerran. Kuvassa 2

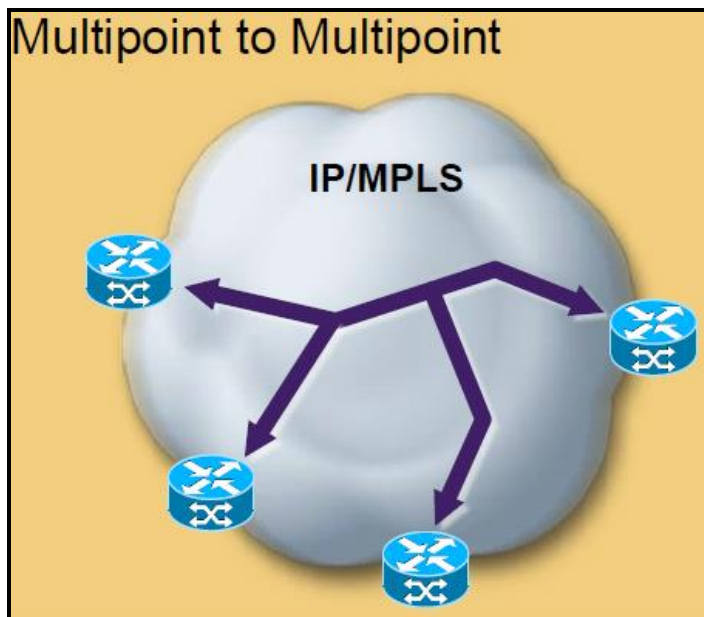
vasemmanpuoleinen reititin on tiedon lähde. Se lähettää paketteja muille reitittimille, jotka jatkavat paketit eteenpäin muihin verkkolaitteisiin.



Kuva 2 Point-to-multipoint operaatio. (Label Switched Multicast, BRKIPM-1467 2010.)

2.2.2 Multipoint-to-multipoint

Point-to-multipoint ratkaisussa tieto voi olla peräisin miltä verkkolaitteelta tahansa. Paketit lähetetään muille verkkolaitteille, jonka jälkeen laitteet monistavat paketit ja lähettävät ne kaikille kuunteleville laitteille verkossa. Kuvassa 3 tieto voi olla peräisin miltä tahansa reitittimeltä ja muut reitittimet jatkavat tiedon eteenpäin. (Overview of IP Multicast 2014.)



Kuva 3 Multipoint-to-multipoint operaatio. (Label Switched Multicast, BRKIPM-1467 2010.)

2.3 Ryhmälähetysosoitealueet

IP-multicast käyttää luokan D IP-osoitealuetta (224.0.0.0 - 239.255.255.255). Osoitealueella on kuitenkin rajoituksia, sillä Internet Assigned Numbers Authority (IANA) on varannut osan osoitealueesta. Varauksia on tehty tunnetuille ryhmälähetysprotokollille ja sovelluksille, kuten esimerkiksi reititysprotokollien hello-viesteille. (Vinod & Mulugu 2011, 4-10.)

Local Link Scope -osoitteet (224.0.0.0/24) ovat varattu IANA:n toimesta verkon protokollien käyttöön. Paketit, jotka käyttävät tätä osoitetta ovat paikallisia, ja niitä ei jatketa eteenpäin. Multicast reitittimet jättävät paketit käsittelemättä Time To Live -kentästä (TTL) huolimatta. (Vinod & Mulugu 2011, 4-10.)

The Global Scope osoitteet (224.0.1.0 - 238.255.255.255) ovat varattu koko verkon laajuisille protokollille ja kaupallisille verkossa toimiville ryhmälähetyssovelluksille. Nämä osoitteet ovat globaalisti ainoalaatuisia. Global Scope -osoitteille on lisäksi varattu osoitealueet 239.0.0.0/10, 239.64.0.0/10 ja 239.128.0.0/10 laajentumiseen. Näitä osoitealueita ei kuitenkaan tulisi ottaa käyttöön ennen kuin Organizational Local Scope osoitealueet ovat käytetty loppuun. (Vinod & Mulugu 2011, 4-10.)

Source Specific Multicast (SSM) käyttää IANA:n varaamaa osoitealuetta (232.0.0.0/8) ryhmälähetysliikenteelle. (IP Multicast Technology Overview 2002)

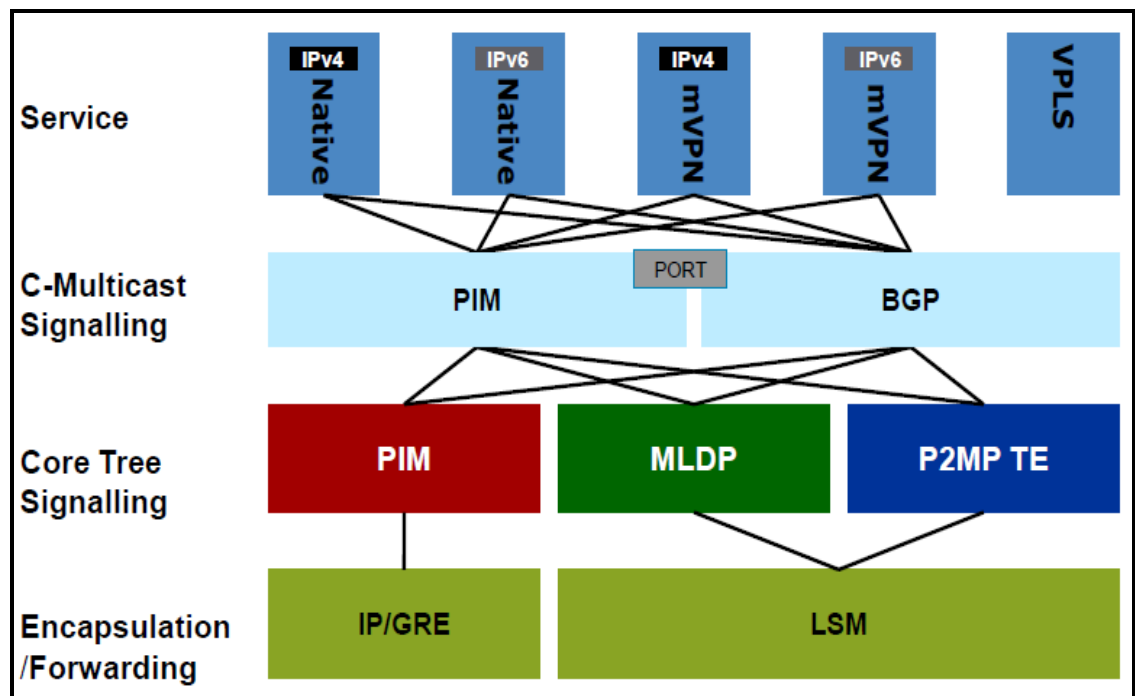
Taulukko 1 IANA:n suositukset ja rajoitukset ryhmälähetys osoitealueille.

Osoitealue	Käyttö
224.0.0.0/24	Local Link Scope
224.0.1.0 - 238.255.255.255	Global Scope
232.0.0.0/8	Source Specific Multicast (SSM)
239.0.0.0/10	Greater than Organizational Scope
239.64.0.0/10	
239.128.0.0/10	
239.192.0.0/14	Organizational Local Scope, used for MDTs
239.255.0.0/16	Site Local Scope, used for VPN traffic

2.4 Label Switched Multicast

Label Switched Multicast tarkoittaa pakettien kuljettamista käyttäen MPLS-kapselointia. Paketit kuljetetaan MPLS-alueen yli, ja pakettien ohjaukseen käytetään leimoja. Unicast- ja multicast-liikenne jakavat saman leima-alueen. MPLS-protokollat RSVP-TE ja LDP ovat muunneltu tukemaan P2MP- ja MP2MP LSP:tä. (Label Switched Multicast, BRKIPM-1467 2010.)

LSM auttaa vähentämään runkoverkossa pyöriäviä protokollia, kuten esimerkiksi PIM. Koska LSM jakaa leima-alueen unicastin kanssa, niin ainoaksi käytettäväksi kapselointimenetelmäksi jää MPLS-kapselointi. Lisäksi multicastille saadaan unicast ominaisuuksia käyttöön, kuten Fast ReRoute (FRR) ja Bandwidth reservation eli kaistanleveyden säästäminen. Kuvassa 4 näkyy erinäiset LSM-ratkaisut, joita voidaan käyttää tietoverkoissa. (Label Switched Multicast, BRKIPM-1467 2010.)



Kuva 4 Erilaiset LSM-ratkaisut. (Label Switched Multicast, BRKIPM-1467 2010.)

3 PERINTEISET RYHMÄLÄHETYSMENETELMÄT

3.1 Internet Group Management Protocol (IGMP)

Internet Group Management Protocol (IGMP) on reitittimien ja loppukäyttäjien käyttämä kommunikointi protokolla. Protokollaa käytetään IP-verkoissa multicast-ryhmien luomiseen. IGMP:n avulla voidaan liittyä tai poistua tietyistä ryhmälähetysryhmästä. Ryhmien tarkoitus on vastaanottaa tiettyä ryhmälähetys liikennettä, joka tulee tietyistä ryhmälähetys osoitteesta. (IPexpert-MPLS-Operation-and-Troubleshooting 2012, 23.)

IGMP:n avulla voidaan automaattisesti hallita ja rajoittaa verkon läpi kulkevaa multicast-liikennettä, käyttämällä erityisiä ryhmälähetys kyselijöitä ja päätelaitteita. Kyselijällä tarkoitetaan verkossa olevaa reititintä, joka lähettää kyselyjä saadakseen selville mitkä laitteet kuuluvat samaan multicast-ryhmään. Päätelaite toimii siten, että se vastaanottaa kyselyviestejä ja vastaa näihin viesteihin raportoimalla kuuluuko kyseinen päätelaite multicast-ryhmään. Päätelaite voi tällä tavoin liittyä tai poistua tietyistä multicast-ryhmästä. (IPexpert-MPLS-Operation-and-Troubleshooting 2012, 23.)

3.1.1 Internet Group Management Protocol Version 1 (IGMPv1)

IGMP versio 1 tarjoaa alkeellisen kyselyjen ja vastauksien välisen yhteyden. Tämän avulla reitittimet voivat saada selville, mitkä multicast-ryhmät ovat aktiivisia. Lisäksi versio 1 mahdollistaa päätelaitteiden ryhmään liittymisen ja ryhmästä poistumisen. (IPexpert-MPLS-Operation-and-Troubleshooting 2012, 24.)

3.1.2 Internet Group Management Protocol Version 2 (IGMPv2)

IGMP versio 2:ssa päivitettyä on IGMP poistumisprosessi, tiettyyn ryhmään kohdistuvat kyselyt ja maksimi vastausaika kenttä. Lisäksi IGMP versio 2 mahdollistaa kyselijän äänestyksen reitittimien toimesta. Aiemmin tämä on tapahtunut ryhmälähetysprotokollan toimesta. (IPexpert-MPLS-Operation-and-Troubleshooting 2012, 25.)

3.1.3 Internet Group Management Protocol Version 3 (IGMPv3)

IGMP versio 3 mahdollistaa lähteiden suodatuksen ja tukee link-local osoitetta 224.0.0.22, joka on pääte IP-osoite IGMP:n ryhmäänkuulumisviesteille. Lisäksi IGMPv3 pitää sisällään aikaisempien versioiden ominaisuudet. (IPexpert-MPLS-Operation-and-Troubleshooting 2012 26-27.)

3.2 Protocol Independent Multicast (PIM)

PIM on joukko ryhmälähetysprotokollia, jotka ovat tarkoitettu IP-verkkoihin. PIM tarjoaa point-to-multipoint- ja multipoint-to-multipoint tiedonsiirtomahdollisuudet. Näitä tiedonsiirtomahdollisuuksia voidaan käyttää LANissa, WANissa tai internetin yli. PIM-protokollia ovat PIM-Sparse Mode (PIM-SM), PIM-Dense Mode (PIM-DM),

Bidirectional-PIM (Bidir PIM), PIM-Source Specific Multicast sekä PIM-Sparse-Dense Mode. (IP Multicast Technology Overview 2002.)

Protocol Independent Multicast on reititysprotokollasta vapaa ryhmälähetys protokolla. PIM voi hyödyntää mitä tahansa unicast-reititysprotokollaa. Näihin protokolleihin kuuluvat muun muassa Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP), Open Shortest Path First (OSPF), Border Gateway Protocol (BGP) ja staattiset reitit. (IP Multicast Technology Overview 2002.)

PIM käyttää unicast-reititystietoja suorittaakseen ryhmälähetysten edelleenlähetykset. Vaikka PIM-protokollaa kutsutaan ryhmälähetysprotokollaksi, niin se kuitenkin käyttää unicast-reititystaulua suorittaakseen Reverse Path Forwarding (RPF) tarkastuksen. PIM ei siis rakenna täysin itsenäistä ryhmälähetys reititystaulua. Toisin kuin muut reititysprotokollat, PIM ei lähetä eikä vastaanota reititystietojen päivityksiä reitittimien välillä. (IP Multicast Technology Overview 2002.)

3.2.1 Protocol-Independent Multicast Sparse-Mode (PIM-SM)

PIM-SM käyttää veto mallia toimittaakseen ryhmälähetys liikennettä verkossa. Liikenne välitetään vain verkon osiin, joissa on aktiivisia vastaanottajia, jotka ovat erikseen pyytäneet tietoa. (IP Multicast Technology Overview 2002.)

PIM-SM jakaa tietoa aktiivisista lähteistä edelleen lähettämällä data-paketteja jaetussa puussa. Koska PIM-SM käyttää jaettua puuta, niin se vaatii toimiakseen rendezvous pointin (RP) eli yhdistymispisteen. Yhdistymispiste ei määräydy automaattisesti, vaan se täytyy konfiguroida verkkoon erikseen. (IP Multicast Technology Overview 2002.)

Lähteet ilmoittautuvat yhdistymispisteeseen, jonka jälkeen tietoa välitetään jaettua puuta pitkin vastaanottajille. Reunareitittimet oppivat tietyn lähteen, kun ne vastaanottavat paketteja lähteeltä yhdistymispisteen kautta. Reunareititin lähettää PIM-liittymisviestin lähdeksi kohti, ja jokainen lähteen ja reunareitittimen välissä oleva reititin vertaa unicast-reititystietoja lähteen tietoihin. Jos lähteen arvot ovat yhtä hyvät tai paremmat, niin reititin lähettää PIM-liittymissanoman lähteelle. Tämän jälkeen PIM rakentaa jokaiselle eri ryhmälle jakelupuun, ja näiden jakelupuiden alkupäät toimivat kohtauspakkoina. (IP Multicast Technology Overview 2002.)

3.2.2 Protocol independent Multicast Dense-Mode (PIM-DM)

PIM-DM käyttää työntö mallia levittääkseen multicast-liikennettä jokaiseen verkon osaan. Työntömenetelmä toimii tehokkaimmin verkossa, jossa on aktiivisia vastaanottajia jokaisessa aliverkossa. PIM-DM on pääasiassa tarkoitettu hyvin nopeisiin ja kais-tanleveydeltään suuriin verkkoihin. PIM-DM levittää alussa multicast-liikennettä koko verkon alueelle. Reitittimet karsivat ei toivotun liikenteen pois, ellei reititin voi jatkaa liikennettä toiselle reitittimelle. Tämä prosessi toistuu kolmen minuutin välein verkos-sa. (IP Multicast Technology Overview 2002.)

Reitittimet keräävät tilatietoja vastaanottamalla tietovirtoja ja käyttämällä hyväkseen levitys- ja karsimistietoja. Näissä tiedot pitävät sisällään lähde- ja ryhmätietoja, joiden avulla reitittimet voivat rakentaa ryhmälähetys taulunsa. PIM-SM tukee vain lähdepui-ta, ja ryhmätiedoilla ei voi rakentaa jaettua jakelupuuta. (IP Multicast Technology Overview 2002.)

3.2.3 PIM Sparse-Dense Mode

PIM Sparse-Dense Mode on yhdistelmä PIM-SM:sta sekä PIM-DM:sta. Protokolla voi käyttää kumpaa mallia tahansa, riippuen vastaanottajista ja ryhmistä. Jos ryhmällä on merkintä Group-to-RP -taulussa, niin protokolla toimii Sparse Mode:ssa. Jos osu-maa ei taulussa ole, niin protokolla toimii Dense Mode:ssa. (IP Multicast Technology Overview 2002.)

3.2.4 PIM Source Specific Multicast (PIM-SSM)

PIM source-specific multicast (SSM) käyttää osittain PIM Sparse Modea ja Internet Group Management Protocol -versiota 3. Nämä protokollat mahdollistavat suoran multicast liikenteen lähteeltä asiakkaalle. PIM-SSM käyttää PIM sparse-moden toi-minnallisuutta luodakseen lyhyimmän matkan puun (Shortest Path Tree) vastaanotta-jan ja lähteen välille. Toisin kuin PIM Sparse-Mode:ssa lyhyimmän matkan puu ra-kennetaan ilman yhdistymispisteen apua. PIM-SSM käyttää vakiona osoitealuetta 232.0.0.0 - 232.255.255.255. (Understanding PIM Source-Specific Mode 2012.)

PIM-SSM:ssa pakettien välitys perustuu (S, G) -kanaviin, jotka pitävät sisällään läh-teen unicast-osoitteen sekä multicast-ryhmän kohdeosoitteen. Jotta asiakas voisi vas-

taanottaa multicast-liikennettä, sen täytyy kuulua samaan multicast-kanavaan. (Understanding PIM Source-Specific Mode 2012.)

PIM-SSM on erittäin tehokas ja joustava tapa tiedon välittämiseen. Yksi ominaisuus on videon- ja äänen streamaus verkon läpi usealle vastaanottajalle. Jotta PIM-SSM voisi toimia, niin jokaisen verkon runkoreitittimen täytyy tukea protokollaa. (Understanding PIM Source-Specific Mode 2012.)

3.2.5 Bi-Directional PIM (Bidir-PIM)

Bi-Directional PIM on vaihtoehto muille PIM-protokollille. Se perustuu pitkälti PIM Sparse mode:en. Suurin ero verrattuna Sparse-mode:en on kohtauspaikan merkitys. Bidir-PIM käyttää kohtauspaikkaa tiedon lähteenä. Bidir-PIM:ssa tieto voi kulkea molempiin suuntiin jaetussa puussa. (Understanding Bidirectional PIM 6.3.2014.)

4 UUDET RYHMÄLÄHETYSMENETELMÄT

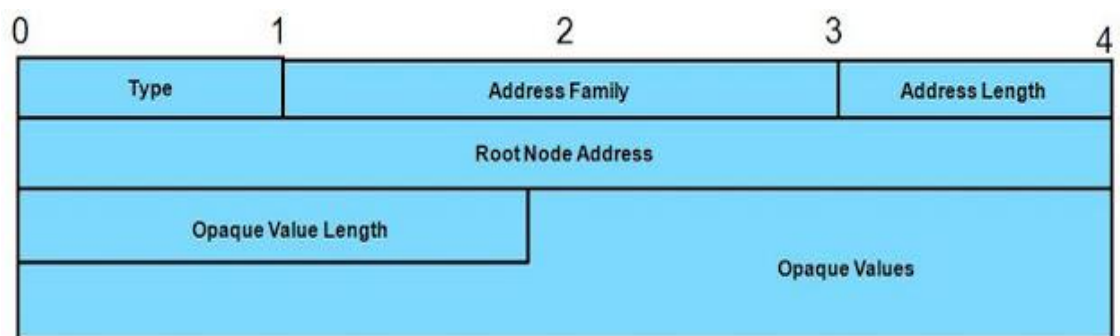
Internet-palveluntarjoajan runkoverkko koostuu useista eri protokollista ja tekniikoista, jotka toimivat samanaikaisesti verkossa. Näitä tekniikoita ja protokollia ovat reititysprotokollat OSPF ja BGP, virtualisointitekniikka VRF ja MPLS-tekniikka. OSPF hoitaa sisäisen reitityksen verkossa, kun taas BGP hoitaa ulkoisen reitityksen verkossa. MPLS käyttää lipputietoja pakettien välitykseen, jota MLDP hyödyntää ryhmälähetyksissään. VRF-tekniikalla saadaan tieto kulkemaan eri asiakaspäiden välillä erottamalla näiden välinen tietoliikenne muusta liikenteestä. Edellä mainitut protokollat ja tekniikat mahdollistavat MLDP-ryhmälähetyksiprotokollan toiminnan virtuaalireitittimen sisällä runkoverkossa.

4.1 Multicast Label Distribution Protocol

Multicast Label Distribution Protocol on Label Distribution Protocol (LDP) laajennus. Se auttaa rakentamaan P2MP- ja MP2MP -LSP ratkaisuja verkossa. MLDP on receiver driven -tyyppinen, eli LSP:t rakentuvat vain, jos egress -reititin huomaa liikenteestä kiinnostuneen vastaanottajan. Kun liikenteestä kiinnostunut vastaanottaja on löytynyt, niin MLDP luo LSP:n kohti juurta, josta liikenne saa alkunsa. Juuren osoite johdetaan lähteen BGP next hop -arvosta tai se saadaan staattisesta konfiguraatiosta. (Label Switched Multicast mLDP 2011.)

4.1.1 FEC-elementti

Multicast LDP:n FEC-elementti sisältää viisi pääkenttää. Kuvassa 5. nähdään eri kentät. Type -kenttä kertoo onko puu yksisuuntainen vai molemmansuuntainen. Address Family -kenttä antaa tietoa käytössä olevasta IP-protokollasta. Address Length -kenttä kertoo lähdeosoitteen oktettien määrän, eli IPv4 protokollalla kentän arvo on 4 ja IPv6 protokollalla 16. Root Node Address -kenttä kertoo juuren LSP:n osoitteen, joka on MPLS-pilven sisällä. Opaque value -kenttä sisältää informaatiota tietovirrasta ja yksilöllisesti tunnistaa puun sen juurelle. (Vinod & Mulugu 2011, 326-328.)



Kuva 5 Multicast LDP:n FEC-elementti. (Label Switched Multicast mLDP 2011)

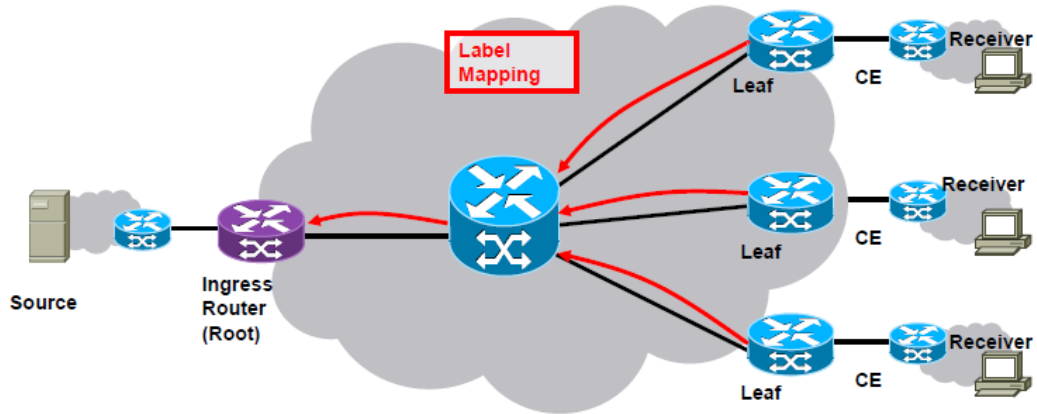
4.1.2 Multicast LDP -signalointi

MLDP-signalointi tarjoaa kaksi eri toimintoa. Sen avulla havaitaan FEC-elementti ja sen sisältämä Opaque value -kenttä ja osoitetaan multicast-tietovirta tietylle LSP:lle. MLDP-signaloinnissa voidaan käyttää kahta eri menetelmää, In-Band -signalointia tai Out-of-Band -signalointia. (Label Switched Multicast mLDP 2011.)

4.1.3 MLDP In-Band -signalointi

In-Band -signalointi käyttää FEC-elementin Opaque value -kenttää kartoittaakseen Multipoint LSP:n IP-multicast -tietovirralle. Opaque value -kentän tiedot johdetaan IP-multicast -tietovirrasta. (Label Switched Multicast mLDP 2011.)

Kuvassa 6. ingress reitittimet, eli lehdet (Leaf) vastaanottavat PIM-join -viestin ryhmään liittymiseksi. Tämän jälkeen lehdet lähettävät MLDP- label mapping -tiedon juurelle (Root). Ingress -reititin vastaanottaa päivitystiedon ja päivittää sen omaan tauluunsa. (Vinod & Mulugu 2011, 325-331.)



Kuva 6 In-band -signaloinnin toiminta. (Label Switched Multicast BRKIPM-1467 2010.)

4.1.4 Out-of-Band -signalointi

Out-of-Band -signalointi käyttää BGP:tä kartoittaakseen Multipoint LSP:n IP-multicast -tietovirrälle. Multipoint LSP luodaan pyynnöstä tai se voidaan konfiguroida erikseen. Out-of-Band -signaloinnissa voidaan yhdistää useita multicast-tietovirtoja samaan Multipoint LSP:n. (Label Switched Multicast mLDP 2011.)

4.2 Multiprotocol Label Switching (MPLS)

MPLS on pakettienvälitystekniikka, joka pystyy kuljettamaan minkä tahansa Layer 3 -tason protokollan paketteja. MPLS kykenee myös tunneleimaan Layer 3 -tason paketteja käyttämällä MPLS-leimoja. Reititin laittaa leiman paketin Layer 2 ja Layer 3 -headerin väliin, kun paketti tulee sisään MPLS-alueelle. Tätä reititintä kutsutaan ingress reitittimeksi. Kun kohde paketti saapuu MPLS-alueen reunalle uudestaan, niin egress reititin poistaa leiman ja paketti jatkaa matkaansa kohti alkuperäistä määränpäättään. Leiman avulla paketit kulkevat MPLS-alueen yli ja päätyvät määränpäähensä. (What is MPLS and GMPLS 2013.)

MPLS-leima on 4 bittiä pitkä tunnistin, joka lisätään pakettiin ingress reitittimessä. Leimojen ansiosta paketti päätyy päämääräänsä ilman reititustaulujen tarvetta. MPLS-tekniikkaa pidetään Layer 2,5 -tason tekniikkana, sillä se pitää sisällään Layer 2 ja Layer 3 -tason parhaita ominaisuuksia. (What is MPLS and GMPLS 2013.)

4.3 Reititysmenetelmät

4.3.1 Open Shortest Path First (OSPF)

Open Shortest Path First on link-state -reititysprotokolla, joka on suunniteltu IP-verkoille. Se perustuu Shortest Path First (SPF) -algoritmiin. OSPF on Interior Gateway Protocol (IGP). (Open Shortest Path First 11.3.2014.)

OSPF-verkossa saman alueen reitittimet pitävät yllä identtistä link-state -tietokantaa, joka kuvaa alueen topologiaa. Jokainen reititin luo kyseisen tietokannan, jota se päivittää omien ja muilta reitittimiltä vastaanotettujen link-state advertisement (LSA) -pakettien avulla. LSA on paketti, joka pitää sisällään tietoa verkon naapurilaitteista ja reittien arvoista. Link-state -tietokannan avulla reititin laskee lyhimmän reitin spanning-tree:n käyttämällä SPF-algoritmia. (Open Shortest Path First 11.3.2014.)

4.3.2 Border Gateway Protocol (BGP)

BGP on erittäin hyvin skaalautuva verkon reititysprotokolla. BGP on interautonomisen järjestelmän reititysprotokolla, jota käytetään internetin reititystietojen vaihtamiseen. Internetin palveluntarjoajat käyttävät BGP:tä reititystietojensa keskinäiseen vaihtamiseen. Kun BGP:tä käytetään eri autonomisten alueiden välillä, sitä kutsutaan external BGP:ksi eli ulkoiseksi BGP:ksi ja jos BGP:tä käytetään saman autonomisen alueen sisällä, sitä kutsutaan internal BGP:ksi eli sisäiseksi BGP:ksi. (Configuring BGP on Cisco Routers 2005.)

4.4 Layer 3 Multicast Virtual Private Network (L3MVPN)

Virtual Routing and Forwarding (VRF) on tekniikka, jota käytetään IP-verkon reitittimissä. Tekniikka sallii useiden reititystaulujen olemassaolon reitittimessä ja niiden yhdenaikaisen toiminnan. Tämä parantaa verkon toimintaa ja vähentää tarvittavien verkkolaitteiden määrää. Koska verkkoliikenne on jo valmiiksi erillistä, niin tekniikka myös parantaa verkon turvallisuutta ja voi eliminoida salauksen ja autentikoinnin tarpeen verkossa. Internet-palveluntarjoajat käyttävät usein hyödyksi VRF-tekniikkaa luodakseen erillisiä Virtual Private Network (VPN) -ratkaisuja asiakkaille. Tätä teknologiaa kutsutaan myös nimellä VPN routing and forwarding. (VRF: Virtual Routing and Forwarding 2011.)

VRF-reititin toimii miltei kuten looginen reititin. Looginen reititin voi käyttää useita reititystauluja, mutta VRF-reititin käyttää vain yhtä reititystaulua liikenteen välittämiseen. Reititystaulun lisäksi VRF-reititin tarvitsee lähetystaulun, joka määrittelee jokaisen paketin seuraavan hypyn, listan laitteista joita voidaan tarvita paketin välityksessä ja joukon sääntöjä ja reititysprotokollia, jotka hallitsevat paketin edelleen lähetystä. Taulut estävät liikenteen välityksen tietyn VRF-alueen ulkopuolelle ja pitävät myös erillään liikenteen, joka on VRF-alueen ulkopuolella. (VRF: Virtual Routing and Forwarding 2011.)

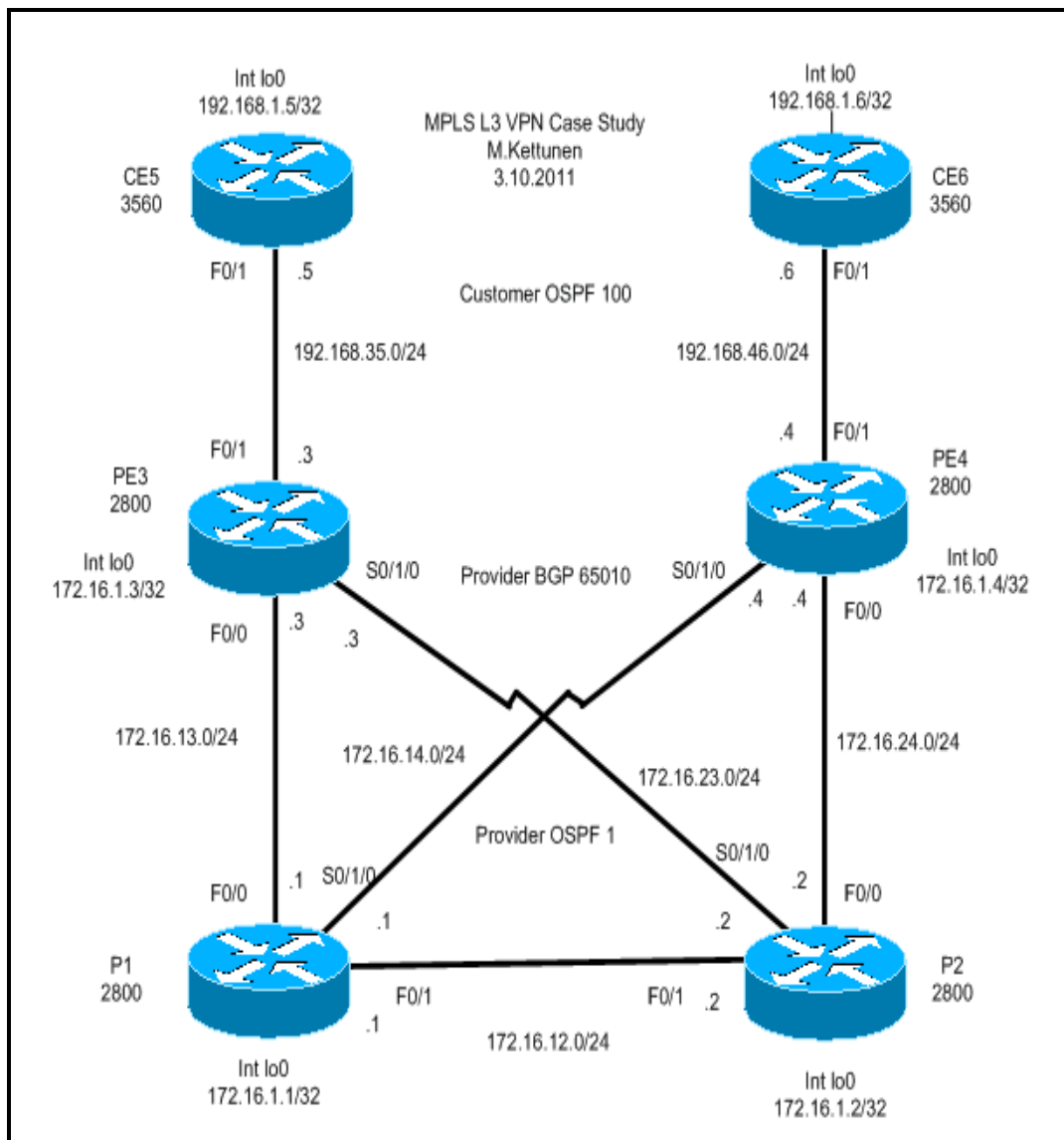
VRF-tekniikan käyttötarkoituksia ovat esimerkiksi datakeskukset, joissa saadaan vähennettyä tarvittavia laitteita. Jokainen VRF-reititin toimii erillisenä reitittimenä ja omistaa omat rajapinnat ja reititystaulut. VRF-reitittimien reitit eivät näy globaalissa reititystaulussa, eivätkä ne myöskään näy muille VRF-reitittimille. Jokaiseen reititystaulun sisältämään reittiin lisätään tag eli lappu, jota kutsutaan nimellä Route Distinguisher. RD on jokaisen reitin liitteenä ja tekee siitä ainutlaatuisen, ja täten mahdollistaa saman IP-osoitealueen käytön useissa VRF-reitittimissä. (VRF: Virtual Routing and Forwarding 2011.)

5 KÄYTÄNNÖN TESTAUS

Käytännön testaus suoritetaan kahdessa eri osiossa. Ensimmäinen testaus suoritetaan ICT-laboratoriossa, jonka jälkeen testaus siirretään Simunet-verkkoympäristöön.

5.1 ICT-laboratorio testausjärjestelyt

Testikokoonpano koostuu neljästä Ciscon 2800-sarjan reitittimestä, kahdesta Ciscon 3560-sarjan kytkimestä, yhdestä päätekoneesta sekä yhdestä serveristä. Testiympäristön pohjana toimi yliopettaja Martti Kettusen MPLS VPN Case Study. Kuvassa 5 näkyy Ict-laboration testiympäristö. Kuvan 5 ylempi osio kuvastaa verkon asiakkaita ja kuvan alempi osio kuvastaa Internet-palveluntarjoajan runkoverkkoa. (Verkkooperaattorin MPLS VPN L3 -yritysassiakas Case Study 2011.)



Kuva 7. ICT-laboratorion testiympäristö. (Verkko-operaattorin MPLS VPN L3 -yrittäsasiakas Case Study 2011.)

5.1.1 Peruskonfiguraatiot

Testausympäristö rakennettiin Ict-laboratorioon. Testiympäristön rakentaminen aloitettiin asentamalla kaapelit kuvan 5 mukaisesti. Tämän jälkeen annettiin jokaiselle loopback:lle sekä portille IP-osoitteet.

Reititysprotokollaksi valittiin OSPF, joka konfiguroitiin laitteisiin käyttäen kahta eri OSPF-aluetta. Kuvan 5 ylempi osa konfiguroitiin nimellä Customer OSPF 100 ja alempi osa konfiguroitiin nimellä Provider OSPF 1. Konfiguroinnin jälkeen tarkistettiin, että kaikki reitit löytyvät reitittimien reititystauluista.

5.1.2 MPLS-tekniikan lisääminen verkon osaksi

MPLS-pilven konfigurointi aloitettiin konfiguroimalla MPLS palveluntarjoajan verkkoon. Tämän jälkeen konfiguroitiin Maximum Transmission Unit (MTU) -arvo. MTU:n avulla voitiin varmistaa tarvittava nopeus MPLS-pilvessä. MTU-arvoksi annettiin 1600. Varmistaakseen LDP:n synkronisoitumisen annettiin komento “mpls ldp sync”. Tämän jälkeen tarkistettiin, että LDP-naapuruussuhteet ovat varmasti syntyneet.

5.1.3 Layer 3 MVPN:n lisääminen verkon osaksi

L3MVPN konfigurointi aloitettiin konfiguroimalla virtuaalireitittimet Providers Edge (PE) -reitittimiin asiakasverkoja varten. PE-laitteisiin konfiguroitiin virtuaalireitittimet nimeltä Testi1 asiakasverkoille. Tämän jälkeen virtuaalireitittimille annettiin route distinguisher, route target export ja route target import -arvot. Lisäksi yritysasiakkaille varatut PE-laitteiden liityntäportit FastEthernet0/1 liitettiin luodun virtuaalireitittimen käyttöön.

Lisäksi virtuaalireitittimille täytyi konfiguroida OSPF-reititys, jolla varmistettiin reitityksen toimivuus loppukäyttäjien välillä.

5.1.4 BGP:n lisääminen verkon osaksi

Internal Border Gateway konfiguroitiin verkkoon P-laitteiden välille. Autonomisen alueen tunnisteksi konfiguroitiin 65010. Next hop -attribuutiksi konfiguroitiin loopback-osoitteet. Konfiguroinnin jälkeen varmistettiin, että BGP-viestejä oli vaihdettu P-laitteiden välillä.

5.1.5 VPNv4-reittien jakelu asiakasverkkoon

VPNv4-reitit konfiguroitiin palveluntarjoajan runkoreitittimien välille. Tämän jälkeen palveluntarjoajan OSPF-reitit jaeltiin BGP:lle. Konfiguroinnin jälkeen tarkistettiin, että kaikki reitit olivat jaeltu. Tämän jälkeen konfiguroitiin VPNv4-reittien jakelu asiakkaille. Reitit konfiguroitiin asiakkaan OSPF:n ja yhteys loppulaitteiden välillä oli syntynyt. Yhteyden varmistamiseksi pingattiin CE-laitteesta toisen CE-laitteen loopback-osoitetta. Ping toimi, jolloin voitiin varmasti todeta yhteyden muodostuminen.

Lisäksi tarkistettiin virtuaalireitittimien reititystauluista, että kaikki tarvittavat asiakasverkot olivat opittu BGP:n VPNv4-vaihdon kautta.

5.1.6 PIM-SSM:n lisääminen verkon osaksi

PIM-SSM tarvitsee jokaisen reitittimen tuen multicast-liikenteelle toimiakseen. Jokaiseen reitittimeen otettiin käyttöön multicast-reititys komennolla ”ip multicast routing”. Reitittimien jokaiseen liityntäporttiin täytyi konfiguroida PIM-protokolla, jotta multicast toimisi verkossa. Liityntäportteihin konfiguroitiin PIM-SM, sillä se sopeutuisi paremmin pieniin verkkoihin. Source Specific Multicastille konfiguroitiin IGMPv3 CE5-laitteeseen. IGMP:n avulla saavutettiin loppukäyttäjän liittyminen ryhmään.

5.1.7 Multicast-liikenteen varmistaminen

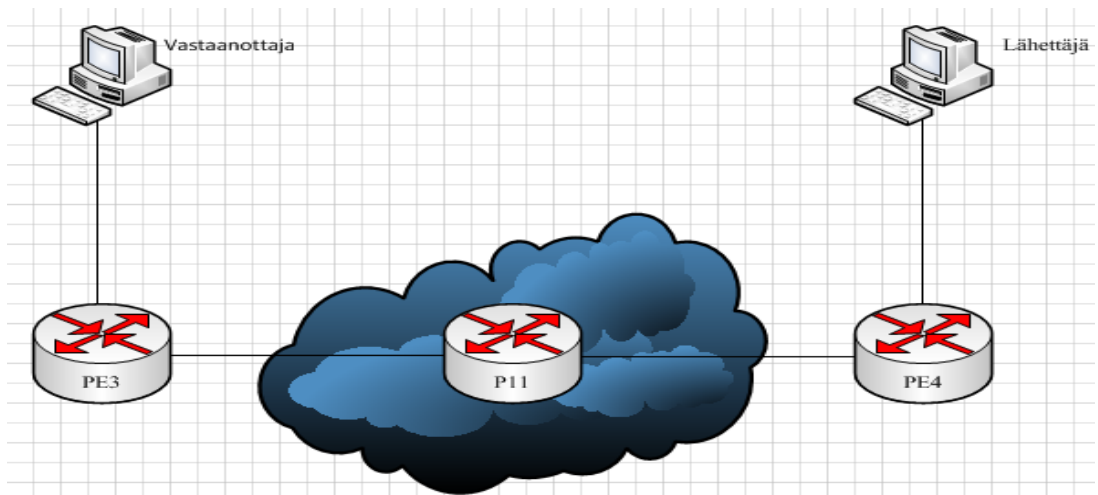
Multicast-liikenteen kulkeminen varmistettiin streamaamalla videokuvaa verkon läpi. Kuvan 5 CE-laitteeseen liitettiin virtuaalikone, joka toimi multicast-liikenteen lähteenä. Kuvan 5 CE-laitteeseen liitettiin myös virtuaalikone, joka toimisi liikenteen vastaanottajana. Multicast-tietovirta kulki verkon läpi ja videokuva vastaanotettiin virtuaalikoneelta. Täten voitiin todeta multicast-liikenteen toimivuus.

6 SIMUNET-TESTIYMPÄRISTÖ

Simunet-testiympäristössä tarkoituksena oli testata MLDP:n toimivuutta Internet-palveluntarjoajan verkon kaltaisessa testiympäristössä. Tavoitteena oli saada multicast-liikenne kulkemaan verkon läpi ilman PIM-protokollan käyttöä.

6.1 Simunet

Simunet on palveluntarjoajan tuotantoverkon kaltainen testiverkko. Simunet koostuu useista eri verkkolaitteista. Tämän työn testaukseen käytetään PE3-, PE4- ja opinnäytetyötä varten asennettua P11-laitetta. PE3-, PE4- ja P11-laitteet ovat Ciscon 7604-mallin reitittimiä. Simunet-testiverkossa laitteisiin on valmiiksi konfiguroitu OSPF- ja BGP-reititys, MPLS ja useita muita protokollia. Kuvassa 6 näkyy Simunet-testiympäristön käytössä olevat laitteet ja MPLS-pilvi, joka sijaitsee verkkolaitteiden välillä.



Kuva 8 Simunet-testiympäristön käytössä olevat laitteet.

6.1.1 Uuden P-laitteen asennus

Uuden P11-laitteen asennus tuli ajankohtaiseksi, sillä Simunet-testiympäristössä oli vain kaksi opinnäytetyössä käytettävää MLDP-protokollaa tukevaa verkkolaitetta. Palveluntarjoajan reunareitittimet PE3 ja PE4 tukivat protokollaa, mutta myös näiden väliseltä P-laitteelta täytyi löytyä tuki protokollalle.

Uusi P11-laite asennettiin Simunet-ympäristössä sijaitsevaan laitekaappiin. Laitteessa oli käyttöönottohetkellä vanhat konfiguraatiot käytössä, joten ne poistettiin ja varmistettiin, että laitteesta ei löydy vanhoja konfiguraatioita.

P11-laite täytyi saada tukemaan MLDP-protokollaa, joten sen sisäinen käyttöjärjestelmä päivitettiin uuteen 15.3(3)S -versioon. Tuki MLDP-protokollalle oli tarkistettu ennen käyttöjärjestelmän päivittämistä.

Kun laitteen sisäinen käyttöjärjestelmä oli päivitetty, kytkettiin kaapelit P- ja PE-laitteiden välille. Alkuperäinen tavoite oli kytkeä kaapelit käyttäen valokuitua, mutta tarvittavien kuitumoduulien määrän vuoksi toinen linkki kytkettiin käyttäen kupari-kaapelia.

6.1.2 Uuden P11-laitteen konfigurointi

Koska Simunet-testiverkossa oli valmiiksi konfiguroitu reititys ja MPLS, niin P11-laitteelle täytyi konfiguroida vain liityntäporttien IP-osoitteet, OSPF-reititys ja MPLS. OSPF-reititys konfiguroitiin PE-laitteiden alueen mukaisesti, mainostaen vain omia

verkkoja ja loopback-osoitetta. MPLS konfiguroitiin P11-laitteen GigabitEthernet1/1 ja GigabitEthernet1/2 liityntäportteihin. Toinen liityntäportti osoitti PE3-laitetta kohti ja toinen PE4-laitetta kohti. Lisäksi liityntäporttien MTU-arvoksi asetettiin 1600.

Uuden P11-laitteen yhteydet testattiin pingaamalla P11-laitteelta PE3- ja PE4 -laitteen loopback-osoitteita. Ping sai vastauksen, jonka jälkeen voitiin todeta yhteyden laitteiden välille syntyneen. MPLS-pilven toiminta tarkistettiin käyttäen show -komentoa ”Show mpls forwarding” ja tuloksen perusteella voitiin todeta MPLS:n toimivuus. Lisäksi reititystaulut tarkistettiin, ja niiden perusteella voitiin todeta OSPF-verkkojen jakelu laitteiden välillä.

6.1.3 Layer 3 MVPN

PE3-laitteesta varattiin liityntäportti GigabitEthernet3/1/3 virtuaalireititintä varten. Liityntäportille konfiguroitiin kuvaus, IP-osoite ja IGMPv3 otettiin käyttöön. PE4-laitteen liityntäporttiin GigabitEthernet3/1/4 konfiguroitiin samat asiat, kuin PE3-laitteelle.

L3MVPN konfiguroitiin PE-laitteiden välille. PE-laitteisiin konfiguroitiin virtuaalireitittimet nimeltä testi1. Virtuaalireitittimille annettiin route distinguisher -arvoksi 100:1, route target export -arvoksi 100:1, route target import -arvoksi 100:1 ja vpn id -arvoksi 100:1. Lisäksi PE3-laitteen liityntäportti GigabitEthernet3/1/3 ja PE4-laitteen liityntäportti GigabitEthernet3/1/4 liitettiin juuri luotuun virtuaalireitittimeen. Virtuaalireitittimille konfiguroitiin myös OSPF-reititys, jotta varmistettiin reitityksen toimivuus loppukäyttäjien välillä.

Virtuaalireitittimen toimivuus testattiin ping-komennolla ”ping vrf testi1 IP-osoite”, jossa IP-osoite on toisen reitittimen virtuaalireitittimen portti. Ping sai vastauksen ja siten voitiin todeta virtuaalireitittimen toimivuus.

6.1.4 BGP-konfigurointi

Koska laitteissa oli jo valmiina BGP-reititys käytössä, niin BGP:n lisättiin tarvittavat lisämääritykset virtuaalireititintä varten. Virtuaalireitittimelle konfiguroitiin Address-family -määritykset.

VPNv4-reitit löytyivät laitteista valmiiksi konfiguroituina, joten näiden toimivuus tuli vain testata. PE-laitteisiin lisättiin kuvan 6 mukaisesti päätelaitteet. Yhteys laitteiden välillä testattiin pingaamalla päätelaitteita keskenään. Ping toimi, joten voitiin todeta yhteyden syntyminen päätelaitteiden välille. Lisäksi tarkistettiin virtuaalireitittimien reititystauluista, että asiakasverkot olivat opittuina.

6.1.5 IGMPv3

IGMPv3 konfiguroitiin asiakkaiden ryhmäänliittymistä varten. IGMPv3 konfiguroitiin asiakkaiden liityntäportteihin, ja sen avulla asiakkaat pystyvät liittymään tiettyyn ryhmään. Lisäksi määritettiin IGMP liittymään multicast-ryhmään 232.2.2.2, joka toimii ryhmälähetysosoitteena testauksessa.

6.1.6 MLDP-konfigurointi

MLDP konfiguroitiin molempiin PE-laitteisiin identtisesti. MLDP:n konfigurointi aloitettiin ottamalla MPLS MLDP käyttöön. Seuraavaksi otettiin käyttöön multicast-liikenteelle mpls mldp. Samat määrytykset tehtiin myös virtuaalireitittimiä varten. Lisäksi määritettiin asiakkaiden liityntäportteihin PIM-määrytykset virtuaalireitittintä varten. Käytettyjä komentoja olivat:

- PE3(config)#mpls mldp
- PE3(config)#ip multicast mpls mldp
- PE3(config)#ip multicast-routing vrf testi1
- PE3(config)#ip multicast vrf testi1 mpls mldp
- PE3(config)#ip pim vrf testi1 mpls source loopback0
- PE3(config)#ip pim vrf testi1 ssm default

6.1.7 PE3- ja PE4-laitteiden toiminnan varmistus

MLDP:n konfiguroinnin jälkeen testattiin sen toiminta osana verkkoa. Aluksi tarkistettiin ryhmälähetysreittien syntyminen PE-laitteista. Kuvassa 7 näkyy PE3-laitteen virtuaalireitittimen multicast-reitit ja kuvassa 8 näkyy PE4-laitteen virtuaalireitittimen multicast-reitit. Kuvista voidaan todeta, että multicast-reitit ovat syntyneet ryhmälähetysosoitteelle 232.2.2.2 ja johtavat päätekoneen IP-osoitteeseen.

```
PE3#show ip mroute vrf test1 232.2.2.2
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry, E - Extranet,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group,
       G - Received BGP C-Mroute, g - Sent BGP C-Mroute,
       Q - Received BGP S-A Route, q - Sent BGP S-A Route,
       V - RD & Vector, v - Vector
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(192.168.162.10, 232.2.2.2), 00:23:33/00:02:31, flags: sLTI
  Incoming interface: Lspvif1, RPF nbr 172.30.0.4
  Outgoing interface list:
    GigabitEthernet3/1/3, Forward/Sparse, 00:23:33/00:02:31
PE3#
```

Kuva 9 PE3-virtuaalireitittimen multicast-reitit

```

PE4#show ip mroute vrf testi1 232.2.2.2
IP Multicast Routing Table
Flags: D - Dense, S - Sparse, B - Bidir Group, s - SSM Group, C - Connected,
       L - Local, P - Pruned, R - RP-bit set, F - Register flag,
       T - SPT-bit set, J - Join SPT, M - MSDP created entry, E - Extranet,
       X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Advertisement,
       U - URD, I - Received Source Specific Host Report,
       Z - Multicast Tunnel, z - MDT-data group sender,
       Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group,
       G - Received BGP C-Mroute, g - Sent BGP C-Mroute,
       Q - Received BGP S-A Route, q - Sent BGP S-A Route,
       V - RD & Vector, v - Vector
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(192.168.161.10, 232.2.2.2), 00:25:27/stoppped, flags: sLTI
Incoming interface: Lspvif2, RPF nbr 172.30.0.3
Outgoing interface list:
  GigabitEthernet3/1/4, Forward/Sparse, 00:25:27/00:02:22

```

Kuva 10 PE4-virtuaalireitittimen multicast-reitit

Kuvien 9 ja 10 MPLS MLDP -tietokannassa näkyy P2MP LSM rakentuminen. FEC-juurena toimii PE4 loopback0:n IP-osoite, ja kuvassa 10 näkyy myös PE4-laitteen ilmoitus juurena toimimisesta. PE-laitteiden seuraavana hyppynä näkyy P11-laitteen loopback0-osoite, jota se hyödyntää liikenteen välittämisessä. Kuvissa 9 ja 10 näkyy myös reitin alkupisteen IP-osoite ja multicast-ryhmäosoite.

```

PE3#show mpls mldp database
 * Indicates MLDP recursive forwarding is enabled

LSM ID : 10   Type: P2MP   Uptime : 00:19:44
FEC Root      : 172.30.0.4
Opaque decoded : [vpn4 192.168.162.10 232.2.2.2 100:1]
Opaque length  : 16 bytes
Opaque value   : FA 0010 C0A8A20AE80202020000006400000001
Upstream client(s) :
  172.30.0.11:0   [Active]
    Expires       : Never           Path Set ID   : 11
    Out Label (U) : None           Interface    : GigabitEthernet3/0/3*
    Local Label (D): 70           Next Hop     : 192.168.113.11
Replication client(s):
  MRIBv4(4) (VRF testi1)
    Uptime       : 00:19:44       Path Set ID   : None
    Interface    : Lspvif1

```

Kuva 11 PE3 MPLS MLDP -tietokanta

```

LSM ID : 13   Type: P2MP   Uptime : 00:30:12
  FEC Root      : 172.30.0.4 (we are the root)
  Opaque decoded : [vpngv4 192.168.162.10 232.2.2.2 100:1]
  Opaque length  : 16 bytes
  Opaque value   : FA 0010 C0A8A20AE80202020000006400000001
  Upstream client(s) :
    None
    Expires      : N/A           Path Set ID   : 15
  Replication client(s):
    172.30.0.11:0
    Uptime       : 00:30:12     Path Set ID   : None
    Out label (D) : 53           Interface     : GigabitEthernet3/0/3*
    Local label (U) : None       Next Hop      : 192.168.114.11

```

Kuva 12 PE4 MPLS MLDP -tietokanta

Pakettien kulkeminen testattiin myös pingaamalla lähteeltä työssä käytettyä ryhmälähetysosoitetta 232.2.2.2, jotta saataisiin multicast-liikennettä aikaiseksi. Kuvissa 11 ja 12 näkyy pingin aiheuttamaa pakettien vaihtoa reitittimien välillä. Kuvista voidaan todeta, että liikenteen lähteen IP-osoite on 192.168.162.10 ja liikennettä välitetään vastaanottajalle, jonka IP-osoite on 192.168.161.10. Paketteja on välitetty, eli MLDP-protokollan toiminta osana verkkoa on varmistettu.

```

PE3#show ip mroute vrf test1 count
Use "show ip mfib count" to get better response time for a large number of mroutes.

IP Multicast Statistics
2 routes using 1470 bytes of memory
2 groups, 0.50 average sources per group
Forwarding Counts: Pkt Count/Pkts per second/Avg Pkt Size/Kilobits per second
Other counts: Total/RPF failed/Other drops(OIF-null, rate-limit etc)

Group: 232.2.2.2, Source count: 1, Packets forwarded: 8, Packets received: 8
  Source: 192.168.162.10/32, Forwarding: 8/0/60/0, Other: 8/0/0

Group: 224.0.1.40, Source count: 0, Packets forwarded: 0, Packets received: 0

```

Kuva 13 PE3-laitteen multicast-liikenne statistiikka.

```

PE4#show ip mroute vrf test1 count
Use "show ip mfib count" to get better response time for a large number of mroute
es.

IP Multicast Statistics
3 routes using 1894 bytes of memory
2 groups, 1.00 average sources per group
Forwarding Counts: Pkt Count/Pkts per second/Avg Pkt Size/Kilobits per second
Other counts: Total/RPF failed/Other drops(OIF-null, rate-limit etc)

Group: 232.2.2.2, Source count: 2, Packets forwarded: 8, Packets received: 8
  Source: 192.168.161.10/32, Forwarding: 0/0/0/0, Other: 0/0/0
  Source: 192.168.162.10/32, Forwarding: 8/0/60/0, Other: 8/0/0

Group: 224.0.1.40, Source count: 0, Packets forwarded: 0, Packets received: 0

```

Kuva 14 PE4-laitteen multicast-liikenne statistiikka

6.1.8 P11-laitteen toiminnan varmistus

Lisävarmistuksena protokollan toiminnalle tarkastellaan lisäksi P11-laitetta. Kuvassa 13 näkyy MPLS LDP -naapuruussuhteet P11- ja PE-laitteiden välillä. Kuvasta voidaan havaita, että yhteys käyttää PE-laitteiden loopback-osoitteita hyödykseen pakettien välityksessä. Kuvassa 14 voidaan todeta liikenteen välitys P-laitteen ja PE-laitteiden välillä. Kuvasta 14 voi myös havaita liikenteen suunnan lähettäjältä vastaanottajalle.

```

P11#show mpls ldp neighbor
Peer LDP Ident: 172.30.0.3:0; Local LDP Ident 172.30.0.11:0
TCP connection: 172.30.0.3.646 - 172.30.0.11.56492
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 8199/8215; Downstream
Up time: 4d22h
LDP discovery sources:
  GigabitEthernet1/1, Src IP addr: 192.168.113.3
Addresses bound to peer LDP Ident:
  172.30.0.3      172.30.1.3      172.31.1.3      172.30.81.1
  172.16.10.5    172.16.91.5    172.16.120.3    172.16.50.1
  172.16.120.1   172.30.1.5     172.20.99.1     172.30.101.3
  192.168.222.1  192.168.23.3   172.50.43.3     172.50.43.1
  192.168.113.3

Peer LDP Ident: 172.30.0.4:0; Local LDP Ident 172.30.0.11:0
TCP connection: 172.30.0.4.646 - 172.30.0.11.18896
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 8198/8198; Downstream
Up time: 4d22h
LDP discovery sources:
  GigabitEthernet1/2, Src IP addr: 192.168.114.4
Addresses bound to peer LDP Ident:
  172.30.0.4      172.30.1.4      172.31.1.4      172.30.81.2
  172.16.10.4    172.16.91.4    172.16.120.4    172.16.10.3
  172.16.91.3    172.31.1.5     172.21.99.1     172.30.101.4
  192.168.14.4   192.168.24.4   192.168.30.1    172.30.101.254
  172.50.43.4    192.168.114.4

```

Kuva 15 P11-laitteen MPLS LDP -naapuruussuhteet


```

P11#show mpls mldp database
* Indicates MLDP recursive forwarding is enabled

LSM ID : A    Type: P2MP    Uptime : 00:51:09
FEC Root      : 172.30.0.4
Opaque decoded : [vpn4 192.168.162.10 232.2.2.2 100:1]
Opaque length  : 16 bytes
Opaque value   : FA 0010 C0A8A20AE80202020000006400000001
Upstream client(s) :
  172.30.0.4:0    [Active]
    Expires       : Never          Path Set ID   : 12
    Out Label (U) : None           Interface    : GigabitEthernet1/2*
    Local Label (D) : 53           Next Hop     : 192.168.114.4
Replication client(s) :
  172.30.0.3:0
    Uptime        : 00:51:09      Path Set ID   : None
    Out label (D) : 70            Interface    : GigabitEthernet1/1*
    Local label (U) : None         Next Hop     : 192.168.113.3

```

Kuva 16 P11-laitteen MPLS MLDP -tietokanta

7 YHTEENVETO

Työssä käytetyt tekniikat ja protokollat tarjoavat useita mahdollisuuksia verkkojen kehittämiseen. Työn rajaus oli hetkittäin vaikeaa, sillä protokollien määrä oli suuri. Työssä keskityttiin tarkoin valittujen protokollien toimintaan tarkemmin, kuten MLDP. Työssä käsitellyt protokollat ja tekniikat tulivat työssä hyvin teoriassa selville ja ne saatiin toimimaan moitteettomasti osana ICT-laboratorion ja Simunet-laboratorion verkkoja.

IGMP ja PIM osoittautuivat helppokäyttöisiksi protokolliksi. IGMP oli helppo ottaa käyttöön muutamalla komennolla ja PIM saatiin myös toimimaan suhteellisen helposti. IGMP:tä hyödynnettiin ryhmäänliittymisessä ja se hoiti tarkoituksenmukaisen tehtävänsä moitteetta. PIM-protokollan avulla saatiin ICT-laboratorion testikokoupanossa videostream kulkemaan verkon läpi multicast-liikenteenä moitteettomasti.

MLDP-protokolla oli hieman hankala implementoida ja se saatiin toimimaan vasta työn loppupuolelle, sillä aluksi Simunet-laboratoriosta ei löytynyt kuin kaksi laitetta, jotka kykenivät MLDP:n käsittelyyn. Työn aikana Simunet-laboratorioon lisättiin uusi P-laite, jonka avulla saatiin toimiva MLDP-ratkaisu aikaiseksi. MLDP:n käytännön konfigurointi tuotti myös pieniä ongelmia, sillä tietoa MLDP-protokollasta oli erittäin hankala löytää.

Jatkokehityksenä työlle olisi MLDP:n implementointi moniin eri laitteisiin ja suu-
remman verkon rakentaminen. Lisäksi voisi testata useaa samanaikaista videostreamia
verkon läpi, jolloin voitaisiin todeta verkon todellinen suorituskyky ja verkkoresurssi-
en käyttö. Laitteiden sisäisten käyttöjärjestelmien parantuessa tuki MLDP-
protokollille voi olla mahdollinen muillekin Simunet-laboratorion laitteille. Jos tuki
laitteille mahdollistuu, niin koko Simunet-ympäristön multicast-liikenne voitaisiin
saada toimimaan käyttämällä vain MLDP-protokollaa. Kyseisestä tilanteesta voisi
saada aikaan erittäin kattavan opinnäytetyön.

LÄHTEET

Cisco Systems 2005. Configuring BGP on Cisco Routers.

Cisco Systems 2010. Label Switched Multicast, BRKIPM-1467.

IP Multicast Technology Overview. CISCO 4/2002. Saatavissa:

http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions_docs/ip_multicast/White_papers/mcst_ovr.html#wp1008680 [Viitattu 1.3.2014]

Kumar N. 2011. Label Switched Multicast mLDP. Saatavissa: <http://nagendrakumar-nagendra.blogspot.fi/2011/09/label-switched-multicast-mldp.html> [Viitattu 15.4.2014]

Multicast and Point-to-Point Messages. OPENPGP 2010. Saatavissa:

<https://code.google.com/p/openpgm/wiki/OpenPgmConceptsFundamentals> [Viitattu 11.3.2014]

Open Shortest Path First. IBM. Saatavissa:

<http://pic.dhe.ibm.com/infocenter/iserics/v6r1m0/index.jsp?topic=/rzajw/rzajwospf.htm> [Viitattu 11.3.2014]

Overview of IP multicast. CISCO SYSTEMS. Saatavissa:

http://www.cisco.com/en/US/tech/tk828/technologies_white_paper09186a0080092942.shtml [Viitattu 1.3.2014]

PIM SSM and SSM Mapping. AITASELLER 11/2012. Saatavissa:

<http://aitaseller.wordpress.com/2012/11/28/basic-multicast-part-5-pim-ssm-and-ssm-mapping/> [Viitattu 10.3.2014]

Sequeira A. & Vinson T. 2012. IPexpert-MPLS-Operation-and-Troubleshooting.

Understanding Bidirectional PIM. JUNIPER NETWORKS 11/2012. Saatavissa:

http://www.juniper.net/techpubs/en_US/junos12.3/topics/concept/pim-bidir-overview.html [Viitattu 6.3.2014]

Understanding PIM Source-Specific Mode. JUNIPER NETWORKS 1/2014. Saatavissa: https://www.juniper.net/techpubs/en_US/junos13.3/topics/topic-map/mcast-ssm.html [Viitattu 6.3.2014]

Verkko-operaattorin MPLS VPN L3-yritysassiakas Case Study 2011. Saatavissa: <http://ictlab.kyamk.fi/index.php/fi/tietoverkkotekniikka/teknologiat/operaattoriverkot/31-case-study-verkko-operaattorin-mpls-vpn-l3-yritysassiakas> [Viitattu 28.4.2014]

What is MPLS and GMPLS. METASWITCH NETWORKS 11/2013. Saatavissa: <http://www.metaswitch.com/wiki/what-mpls-and-gmpls> [Viitattu 11.3.2014]

Vinod J. & Mulugu S. 2011. Deploying Next Generation Multicast-Enabled Applications.

VRF: Virtual Routing and Forwarding. CISCO ASPIRANTS 10/2011. Saatavissa: <http://ciscoaspirants.com/2011/10/30/vrf-virtual-routing-forwarding/> [Viitattu 14.3.2014]

P1-laitteen running config:

Building configuration...

Current configuration : 1254 bytes

```

!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname P1
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
logging message-counter syslog
!
no aaa new-model
dot11 syslog
ip source-route
!
ip cef
ip multicast-routing
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
voice-card 0
!
vtp mode transparent
archive
 log config
  hidekeys
!
interface Loopback0
 ip address 172.16.1.1 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
 mtu 1600
 ip address 172.16.13.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-mode
 duplex auto
 speed auto
 mpls ip
!
interface FastEthernet0/1
 mtu 1600
 ip address 172.16.12.1 255.255.255.0
 shutdown
 duplex auto
 speed auto
 mpls ip
!
interface Serial0/1/0
 ip address 172.16.14.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-mode
 mpls ip
 no fair-queue
!
interface Serial0/1/1
 no ip address
 shutdown
 clock rate 2000000
!
router ospf 1
 mpls ldp sync
 log-adjacency-changes
 network 172.16.0.0 0.0.255.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
no ip http server
no ip http secure-server
!
control-plane

```

```

!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
 login
!
scheduler allocate 20000 1000
end

```

PE3 laitteen running config:

Building configuration...

Current configuration : 2231 bytes

```

!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname PE3
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
logging message-counter syslog
!
no aaa new-model
memory-size iomem 10
!
dot11 syslog
ip source-route
!
ip cef
ip vrf yritys1
rd 100:1
route-target export 100:1
route-target import 100:1
!
ip multicast-routing
ip multicast-routing vrf yritys1
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
voice-card 0
!
vtp mode transparent
archive
log config
hidekeys
!
interface Loopback0
ip address 172.16.1.3 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
mtu 1600
ip address 172.16.13.3 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
duplex auto
speed auto
mpls ip
!
interface FastEthernet0/1
ip vrf forwarding yritys1
ip address 192.168.35.3 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
duplex auto
speed auto
!
interface Serial0/1/0
ip address 172.16.23.3 255.255.255.0
shutdown
mpls ip
no fair-queue
clock rate 64000
!
interface Serial0/1/1
no ip address
shutdown
clock rate 2000000
!
interface ATM0/3/0
no ip address

```

```

shutdown
no atm ilmi-keepalive
!
interface wlan-controller1/0
no ip address
shutdown
!
router ospf 100 vrf yritys1
log-adjacency-changes
redistribute bgp 65010 metric 10 subnets
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
!
router ospf 1
mpls ldp sync
log-adjacency-changes
network 172.16.0.0 0.0.255.255 area 0
!
router bgp 65010
no synchronization
bgp log-neighbor-changes
neighbor 172.16.1.4 remote-as 65010
neighbor 172.16.1.4 update-source Loopback0
no auto-summary
!
address-family vpnv4
neighbor 172.16.1.4 activate
neighbor 172.16.1.4 send-community both
exit-address-family
!
address-family ipv4 vrf yritys1
redistribute ospf 100 vrf yritys1
no synchronization
exit-address-family
!
ip forward-protocol nd
no ip http server
no ip http secure-server
!
control-plane
!
line con 0
line aux 0
line 66
no activation-character
no exec
transport preferred none
transport input all
transport output pad telnet rlogin lapb-ta mop udptn v120 ssh
line vty 0 4
login
!
scheduler allocate 20000 1000
end

```

PE4-laitteen running config:

Building configuration...

Current configuration : 1910 bytes

```

!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname PE4
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
logging message-counter syslog
!
no aaa new-model
dot11 syslog
ip source-route
!
ip vrf yritys1
 rd 100:1
  route-target export 100:1
  route-target import 100:1
!
ip cef
ip multicast-routing
ip multicast-routing vrf yritys1
no ipv6 cef
!
multilink bundle-name authenticated
!
voice-card 0
!
archive
 log config
  hidekeys
!
interface Loopback0
 ip address 172.16.1.4 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/0
 mtu 1600
 ip address 172.16.24.4 255.255.255.0
 shutdown
 duplex auto
 speed auto
 mpls ip
!
interface FastEthernet0/1
 ip vrf forwarding yritys1
 ip address 192.168.46.4 255.255.255.0
 ip pim sparse-mode
 duplex auto
 speed auto
!
interface Serial0/1/0
 ip address 172.16.14.4 255.255.255.0
 ip pim sparse-mode
 mpls ip
 no fair-queue
 clock rate 8000000
!
interface Serial0/1/1
 no ip address
 shutdown
 clock rate 2000000
!
router ospf 100 vrf yritys1
 log-adjacency-changes
 redistribute bgp 65010 metric 10 subnets
 network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
!

```

```

router ospf 1
 mpls ldp sync
 log-adjacency-changes
 network 172.16.0.0 0.0.255.255 area 0
!
router bgp 65010
 no synchronization
 bgp log-neighbor-changes
 neighbor 172.16.1.3 remote-as 65010
 neighbor 172.16.1.3 update-source Loopback0
 no auto-summary
!
 address-family vpnv4
  neighbor 172.16.1.3 activate
  neighbor 172.16.1.3 send-community both
 exit-address-family
!
 address-family ipv4 vrf yritys1
  redistribute ospf 100 vrf yritys1
  no synchronization
 exit-address-family
!
ip forward-protocol nd
no ip http server
no ip http secure-server
!
control-plane
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
 login
!
scheduler allocate 20000 1000
end

```

CE5-laitteen running config:

Building configuration...

Current configuration : 3293 bytes

```

!
version 12.2
no service pad
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname CE5
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
no aaa new-model
system mtu routing 1500
ip routing
!
ip multicast-routing distributed
!
crypto pki trustpoint TP-self-signed-1161961600
enrollment selfsigned
subject-name cn=IOS-Self-Signed-Certificate-1161961600
revocation-check none
rsa-keypair TP-self-signed-1161961600
!
crypto pki certificate chain TP-self-signed-1161961600
certificate self-signed 01
 3082023C 308201A5 A0030201 02020101 300D0609 2A864886
F70D0101 04050030
 31312F30 2D060355 04031326 494F532D 53656C66 2D536967
6E65642D 43657274
 69666963 6174652D 31313631 39363136 3030301E 170D3933
30333031 30303032
 35325A17 0D323030 31303130 30303030 305A3031 312F302D
06035504 03132649
 4F532D53 656C662D 5369676E 65642D43 65727469 66696361
74652D31 31363139
 36313630 3030819F 300D0609 2A864886 F70D0101 01050003
818D0030 81890281
 81009FAD 4067CDBF 4BC33625 38B668D2 3A6CC7C0
322FC3CB 056B5C8E B4F9A3D8
 6514793C FF6F8A00 25B8CF1F 4E1C09D2 9C33C653
A18AE313 C3C50F2D 7C66C9DC
 D1CB105D 79010C59 2DF1C90D DC87D437 E7CFAA51
A43E9C84 F9AD2AF6 BE64CDBC
 0800A9EC C3BA8F7E 836AE17D 49D161A9 002EB5CB
8453C45F 5C0CFC73 4684D1B0
 EBCB0203 010001A3 64306230 0F060355 1D130101 FF040530
030101FF 300F0603
 551D1104 08300682 04434535 2E301F06 03551D23 04183016
801492C2 E9757B55
 5521752F A4A43C78 4FFDDF1A BCC6301D 0603551D
0E041604 1492C2E9 757B5555
 21752FA4 A43C784F FDDF1ABC C6300D06 092A8648
86F70D01 01040500 03818100
 655FD970 9D476C72 01A9DB0A 7D4155CB D3F51EEE
80E8ACFC 3B41EE70 8913AF5D
 2AEFFEF5 A3743FE5 BA10D961 14F63C72 F74F5A0C
EB865B9D 1D74D5E5 85BCC645
 B8A46796 E209CA8E BB0D5C3D 38FB79F3 69AF2966
47AFB0D5 060F9B87 B617336C
 DA8B6320 259E957B 8F287948 58A90401 3FC25679 0B034301
B037F7CA 8287A24F
quit
!
spanning-tree mode pvst
spanning-tree extend system-id
!
vlan internal allocation policy ascending
!
interface Loopback0
ip address 192.168.1.5 255.255.255.255

```

```

!
interface FastEthernet0/1
no switchport
ip address 192.168.35.5 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
!
interface FastEthernet0/2
!
interface FastEthernet0/3
no switchport
ip address 192.168.10.1 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
ip igmp version 3
!
interface FastEthernet0/4
!
interface FastEthernet0/5
!
interface FastEthernet0/6
!
interface FastEthernet0/7
!
interface FastEthernet0/8
!
interface FastEthernet0/9
!
interface FastEthernet0/10
!
interface FastEthernet0/11
!
interface FastEthernet0/12
!
interface FastEthernet0/13
!
interface FastEthernet0/14
!
interface FastEthernet0/15
!
interface FastEthernet0/16
!
interface FastEthernet0/17
!
interface FastEthernet0/18
!
interface FastEthernet0/19
!
interface FastEthernet0/20
!
interface FastEthernet0/21
!
interface FastEthernet0/22
!
interface FastEthernet0/23
!
interface FastEthernet0/24
!
interface GigabitEthernet0/1
!
interface GigabitEthernet0/2
!
interface Vlan1
no ip address
!
router ospf 100
log-adjacency-changes
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
!
ip classless
ip http server
ip http secure-server
!
ip pim ssm default
!
ip sla enable reaction-alerts
!
line con 0

```



```
line vty 0 4
 login
line vty 5 15
 login
!
end
```

CE6-laitteen running config:

```

CE6#show run
Building configuration...
Current configuration : 3217 bytes
!
version 12.2
no service pad
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname CE6
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
no aaa new-model
system mtu routing 1500
ip routing
!
ip multicast-routing distributed
!
crypto pki trustpoint TP-self-signed-960604928
enrollment selfsigned
subject-name cn=IOS-Self-Signed-Certificate-960604928
revocation-check none
rsa-keypair TP-self-signed-960604928
!
crypto pki certificate chain TP-self-signed-960604928
certificate self-signed 01
 3082023A 308201A3 A0030201 02020101 300D0609 2A864886
F70D0101 04050030
 30312E30 2C060355 04031325 494F532D 53656C66 2D536967
6E65642D 43657274
 69666963 6174652D 39363036 30343932 38301E17 0D393330
33303130 30303531
 335A170D 32303031 30313030 30303030 5A303031 2E302C06
03550403 1325494F
 532D5365 6C662D53 69676E65 642D4365 72746966 69636174
652D3936 30363034
 39323830 819F300D 06092A86 4886F70D 01010105 0003818D
00308189 02818100
 D6C7511C F03B267C F9CAE953 A96C4C44 826F7398
BAE95411 10CF824D 91284041
 88D2F0EA 093005F5 5E9AE1A0 EAC0A9BF 47C58126
CC1D713B 595F9007 B7687DBD
 3FAED67D DA108C57 F4760AE3 EFEB68BE 3D846605
D778C43B 8014DA44 C0F2985F
 595D2E55 85714A1B B3593454 6658D13D C606AB0B
BF721F21 39E1F680 6793A57B
 02030100 01A36430 62300F06 03551D13 0101FF04 05300301
01FF300F 0603551D
 11040830 06820443 45362E30 1F060355 1D230418 30168014
FBE46DD3 EB674AC3
 828839A5 35890ECD 8B0052E9 301D0603 551D0E04 160414FB
E46DD3EB 674AC382
 8839A535 890ECD8B 0052E930 0D06092A 864886F7 0D010104
05000381 8100206F
 8A50DBF8 7A6E28A2 FE90D7CD A3134989 282D3C5E
36210DEC A88E5BCD 1FEE584C
 4AE82FBA B3E95107 D57158A1 7477E8C7 1138CBBD
80E7CB02 2976D76E 793F673D
 AC9263A1 87C98796 812C17EC A880248B CF50B3ED
1BE9E3D0 CA387437 688B8B68
 72A66777 E95CE7EF 2C66A144 A2AE0B91 1C2A2B41
0A74EEA0 354A5E7E 137F
quit
!
spanning-tree mode pvst
spanning-tree extend system-id
!
vlan internal allocation policy ascending
!
interface Loopback0
ip address 192.168.1.6 255.255.255.255
!
interface FastEthernet0/1
no switchport
ip address 192.168.46.6 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
!
interface FastEthernet0/2
!
interface FastEthernet0/3
no switchport
ip address 192.168.11.1 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
!
interface FastEthernet0/4
!
interface FastEthernet0/5
!
interface FastEthernet0/6
!
interface FastEthernet0/7
!
interface FastEthernet0/8
!
interface FastEthernet0/9
!
interface FastEthernet0/10
!
interface FastEthernet0/11
!
interface FastEthernet0/12
!
interface FastEthernet0/13
!
interface FastEthernet0/14
!
interface FastEthernet0/15
!
interface FastEthernet0/16
!
interface FastEthernet0/17
!
interface FastEthernet0/18
!
interface FastEthernet0/19
!
interface FastEthernet0/20
!
interface FastEthernet0/21
!
interface FastEthernet0/22
!
interface FastEthernet0/23
!
interface FastEthernet0/24
!
interface GigabitEthernet0/1
!
interface GigabitEthernet0/2
!
interface Vlan1
no ip address
!
router ospf 100
log-adjacency-changes
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
!
ip classless
ip http server
ip http secure-server
!
line con 0
line vty 0 4
login
line vty 5 15
login
end

```

PE3-laitteen running config:

```
PE3#show run
Building configuration...

Current configuration : 17376 bytes
!
! Last configuration change at 09:15:49 UTC Tue Apr 15 2014
!
version 15.3
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
service counters max age 10
service unsupported-transceiver
!
hostname PE3
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
vrf definition CUSTOMER_C1
!
no aaa new-model
!
ip vrf LU
rd 65501:10
!
ip vrf teemukim
!
ip vrf testi1
rd 100:1
vpn id 100:1
mtd default mpls mldp 172.30.0.11
route-target export 100:1
route-target import 100:1
!
ip flow-cache timeout active 5
ip name-server 172.16.91.92
ip name-server 2A00:1DD0:401:C1::100
ip name-server 2A00:1DD0:0:1::132
ip multicast-routing
ip multicast-routing vrf testi1
ip multicast hardware-switching replication-mode egress
ip multicast mpls mldp
ip multicast vrf testi1 mpls mldp
ip dhcp excluded-address 172.20.99.1 172.20.99.100
ip dhcp excluded-address 172.20.99.254
!
ip dhcp pool HALLINTA
network 172.20.99.0 255.255.255.0
default-router 172.20.99.1
!
ip dhcp pool VLAN2001
network 10.10.11.0 255.255.255.0
default-router 10.10.11.1
!
ip dhcp pool VLAN2000
network 10.10.10.0 255.255.255.0
default-router 10.10.10.1
!
no ipv6 source-route
ipv6 unicast-routing
ipv6 dhcp pool vlan2000
prefix-delegation pool VLAN2000ipv6
dns-server 2A00:1DD0:0:1::32
dns-server 2A00:1DD0:0:1::132
domain-name kymp.net
!
vtp mode transparent
mpls label protocol ldp
clsns routing
mls flow ip interface-full
no mls flow ipv6
mls cef error action reset
multilink bundle-name authenticated
!
```

```
spanning-tree mode pvst
spanning-tree extend system-id
system flowcontrol bus auto
diagnostic bootup level minimal
no errdisable detect cause gbic-invalid
username HALLINTA secret 4
tnhtc92DXBhelxjYk8LWJrPV36S2i4ntXrpb4RFmfqY
username simunet secret 4
tnhtc92DXBhelxjYk8LWJrPV36S2i4ntXrpb4RFmfqY
!
redundancy
main-cpu
auto-sync running-config
mode sso
!
vlan internal allocation policy ascending
vlan dot1q tag native
vlan access-log ratelimit 2000
!
vlan 7
!
vlan 10
name Area1FWout
!
vlan 12
name Posti_Taka
!
vlan 20
name Area2FWout
!
vlan 34
name LehtinenUusitalo
!
vlan 43
name LU-Outside
!
vlan 69
name DSLAMHALLINTA
!
vlan 80
name INTERNET
!
vlan 81
name INTERNET_C1
!
vlan 90
name WLC&APs
!
vlan 91
name WLC_C1
!
vlan 99
name Hallinta
!
vlan 100
name Servers1
!
vlan 101
name Palomuurin_ohitus
!
vlan 102
name Hamalainen
!
vlan 110
name teemukim
!
vlan 120
name Nagios
!
vlan 130
name mpls_te
!
vlan 200
name Servers2
!
vlan 300
```

```

name Failover
!
vlan 400
name iSCSI&ClusterVLAN
!
vlan 2000
name g4
!
l2 vfi FW_OUT_10 manual
vpn id 10
neighbor 172.30.0.4 encapsulation mpls
!
l2 vfi FW_OUT_20 manual
vpn id 20
neighbor 172.30.0.4 encapsulation mpls
!
l2 vfi INTERNET_C1 manual
vpn id 81
neighbor 172.30.0.4 encapsulation mpls
!
l2 vfi NAGIOS manual
vpn id 120
neighbor 172.30.0.4 encapsulation mpls
neighbor 172.30.0.7 encapsulation mpls no-split-horizon
!
l2 vfi WLCAPS manual
vpn id 100090
neighbor 172.30.0.7 encapsulation mpls
neighbor 172.30.0.4 encapsulation mpls no-split-horizon
!
l2 vfi WLC_C1 manual
vpn id 100091
neighbor 172.30.0.4 encapsulation mpls
!
interface Loopback0
ip address 172.30.0.3 255.255.255.255
!
interface Loopback5
no ip address
ip pim sparse-mode
ip igmp version 3
!
interface Loopback6
no ip address
ipv6 address 2A00:1DD0:401::3/128
!
interface Loopback30
description LehtinenUusitalo-bgp
ip vrf forwarding LU
ip address 172.50.0.3 255.255.255.255
!
interface Loopback140
no ip address
ipv6 address ictrlab ::5001:0:0:0:1/64
ipv6 enable
!
interface Tunnel158
ip unnumbered Loopback0
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel destination 172.30.0.4
tunnel mpls traffic-eng priority 1 1
tunnel mpls traffic-eng bandwidth 3500
tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name mainpath
tunnel mpls traffic-eng fast-reroute
!
interface Tunnel159
ip unnumbered Loopback0
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel destination 172.30.0.4
tunnel mpls traffic-eng priority 2 2
tunnel mpls traffic-eng bandwidth 3500
tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name secpath
!
interface GigabitEthernet1/1
description simunet-srv
switchport
switchport access vlan 400
switchport mode access
!
interface GigabitEthernet1/2
description simunet-srv
switchport
switchport access vlan 400
switchport mode access
!
interface GigabitEthernet1/3
description PostiTaka
no ip address
ipv6 address 2A00:1DD0:401:6000::2/64
ipv6 enable
!
interface GigabitEthernet1/4
no ip address
!
interface GigabitEthernet1/5
description simunet-srv
switchport
switchport trunk encapsulation dot1q
switchport trunk allowed vlan 90,91,99-102,110,120,150,200
switchport mode trunk
!
interface GigabitEthernet1/6
switchport
switchport trunk encapsulation dot1q
switchport trunk allowed vlan 99
switchport mode trunk
!
interface GigabitEthernet1/7
ip address 172.16.50.1 255.255.255.252
ip pim sparse-mode
ip igmp version 3
!
interface GigabitEthernet1/8
description Firewall failover
no ip address
no keepalive
xconnect 172.30.0.4 300 encapsulation mpls
!
interface GigabitEthernet1/9
description KYMP-SIMUNET IPV6 CONNECTION
no ip address
ip flow ingress
speed 100
duplex full
ipv6 address 2A00:1DD0:400:102::2/64
!
interface GigabitEthernet3/0/0
description P2-PE3 fiber
dampening
mtu 1600
ip address 192.168.23.3 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
ip igmp version 3
ip ospf cost 1
carrier-delay msec 0
negotiation auto
mpls ip
mpls traffic-eng tunnels
bfd interval 100 min_rx 100 multiplier 3
ip rsvp bandwidth 3900
!
interface GigabitEthernet3/0/1
description P1-PE3 copper
dampening
mtu 1600
ip address 192.168.13.3 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
ip igmp version 3
carrier-delay msec 0
speed 1000
no negotiation auto
mpls ip

```

```

no mpls ldp igp sync
mpls traffic-eng tunnels
mpls traffic-eng backup-path Tunnel159
bfd interval 100 min_rx 100 multiplier 3
ip rsvp bandwidth 4000
!
interface GigabitEthernet3/0/2
no ip address
speed 1000
no negotiation auto
!
interface GigabitEthernet3/0/3
description PE3_to_P11
mtu 1600
ip address 192.168.113.3 255.255.255.0
speed 1000
no negotiation auto
mpls ip
mpls label protocol ldp
!
interface GigabitEthernet3/0/4
description WLC EVC
no ip address
speed 100
no negotiation auto
service instance 1 ethernet
encapsulation dot1q 90
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 90
!
service instance 2 ethernet
encapsulation dot1q 91
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 91
!
interface GigabitEthernet3/1/0
description Firewall EVC
mtu 1600
no ip address
speed 1000
no negotiation auto
service instance 1 ethernet
encapsulation dot1q 10
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 10
!
service instance 2 ethernet
encapsulation dot1q 20
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 20
!
service instance 5 ethernet
encapsulation dot1q 100
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 100
!
service instance 6 ethernet
encapsulation dot1q 200
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 200
!
service instance 30 ethernet
encapsulation dot1q 30
xconnect 172.30.0.4 30 encapsulation mpls
!
service instance 34 ethernet
encapsulation dot1q 34
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 34
!
service instance 40 ethernet
encapsulation dot1q 40
xconnect 172.30.0.4 40 encapsulation mpls
!
service instance 43 ethernet
encapsulation dot1q 43

rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 43
!
interface GigabitEthernet3/1/1
description Dufva
mtu 1600
no ip address
speed 100
no negotiation auto
service instance 210 ethernet
encapsulation dot1q 210
xconnect 172.30.0.4 210 encapsulation mpls
!
service instance 220 ethernet
encapsulation default
xconnect 172.30.0.4 220 encapsulation mpls
!
service instance 230 ethernet
encapsulation dot1q 230
xconnect 172.30.0.4 230 encapsulation mpls
!
interface GigabitEthernet3/1/2
no ip address
speed 1000
no negotiation auto
!
interface GigabitEthernet3/1/3
description Hamalainen
ip vrf forwarding testi1
ip address 192.168.161.3 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
ip igmp join-group 232.2.2.2 source 192.168.162.10
ip igmp version 3
speed 100
no negotiation auto
!
interface GigabitEthernet3/1/4
description Posti_MPLS (SimuNet - ICTLAB)
mtu 1600
no ip address
speed 100
no negotiation auto
!
interface GigabitEthernet3/1/4.12
encapsulation dot1q 12
ip address 10.0.10.32 255.255.255.0
mpls bgp forwarding
!
interface GigabitEthernet3/1/4.69
encapsulation dot1q 69
ip address 172.16.69.69 255.255.255.0
!
interface GigabitEthernet3/1/4.2000
encapsulation dot1q 2000
ip address 172.17.0.1 255.255.255.0
ipv6 address 2A00:1DD0:401:4100::1/64
ipv6 enable
ipv6 nd prefix 2A00:1DD0:401:4100::/64 1200 900
ipv6 nd managed-config-flag
ipv6 dhcp server vlan2000
!
interface GigabitEthernet3/1/4.2001
encapsulation dot1q 2001
ip address 10.10.11.1 255.255.255.0
!
interface Vlan1
no ip address
shutdown
!
interface Vlan10
description Firewall context 1 outside
mtu 1600
ip address 172.30.1.3 255.255.255.248
no ip redirects
standby version 2
standby 10 ip 172.30.1.5

```

```

standby 10 priority 150
standby 10 preempt
standby 110 ipv6 FE80::1
standby 110 priority 150
standby 110 preempt
ipv6 address FE80:A1::3 link-local
ipv6 address 2A00:1DD0:401:A1::3/64
ipv6 nd prefix 2A00:1DD0:401:A1::/64 1200 900
ipv6 dhcp relay destination 2A00:1DD0:100:6000::1
xconnect vfi FW_OUT_10
!
interface Vlan20
description Firewall context 2 outside
mtu 1600
ip address 172.31.1.3 255.255.255.248
no ip redirects
standby version 2
standby 20 ip 172.31.1.5
standby 20 preempt
standby 120 ipv6 FE80::2
standby 120 preempt
ipv6 address FE80:A2::3 link-local
ipv6 address 2A00:1DD0:401:A2::3/64
ipv6 nd prefix 2A00:1DD0:401:A2::/64 1200 900
xconnect vfi FW_OUT_20
!
interface Vlan34
description LehtinenUusitalo Firewall context 1 inside
mtu 1600
ip vrf forwarding LU
ip address 172.50.34.3 255.255.255.248
standby 34 ip 172.50.34.1
standby 34 preempt
xconnect 172.30.0.4 34 encapsulation mpls
!
interface Vlan43
ip address 172.50.43.3 255.255.255.248
standby 43 ip 172.50.43.1
standby 43 preempt
xconnect 172.30.0.4 43 encapsulation mpls
!
interface Vlan80
mtu 1600
no ip address
!
interface Vlan81
mtu 1600
ip address 172.30.81.1 255.255.255.0
xconnect vfi INTERNET_C1
!
interface Vlan90
mtu 1600
ip address 172.16.10.5 255.255.255.0
ip helper-address 172.16.91.91
standby version 2
standby 90 ip 172.16.10.3
standby 90 preempt
standby 90 name WLC1
xconnect vfi WLCAPS
!
interface Vlan91
mtu 1600
ip dhcp relay information trusted
ip address 172.16.91.5 255.255.255.0
ip helper-address 172.16.91.91
standby version 2
standby 91 ip 172.16.91.3
standby 91 preempt
standby 91 name WLC
xconnect vfi WLC_C1
!
interface Vlan99
ip address 172.20.99.1 255.255.255.0
!
interface Vlan100
description Firewall context 1 inside
mtu 1600
no ip address
xconnect 172.30.0.4 100 encapsulation mpls
!
interface Vlan101
description Palomuurin_ohitus
ip address 172.30.101.3 255.255.255.0
standby version 2
standby 1 ip 172.30.101.254
standby 1 preempt
standby 101 ipv6 FE80:C1::1
standby 101 priority 150
standby 101 preempt
ipv6 address FE80:101::3 link-local
ipv6 address 2A00:1DD0:401:C1::3/64
ipv6 nd prefix 2A00:1DD0:401:C1::/64 1200 900
xconnect 172.30.0.4 101 encapsulation mpls
!
interface Vlan102
ip address 192.168.222.1 255.255.255.0
!
interface Vlan111
ip vrf forwarding teemukim
ip address 10.111.0.251 255.255.255.0
shutdown
!
interface Vlan120
mtu 1600
ip address 172.16.120.3 255.255.255.0
standby 1 ip 172.16.120.1
standby 1 priority 150
standby 1 preempt
xconnect vfi NAGIOS
!
interface Vlan130
description mpls_te
ip address 172.16.130.3 255.255.255.0
shutdown
!
interface Vlan140
no ip address
!
interface Vlan200
description Firewall context 2 inside
mtu 1600
no ip address
xconnect 172.30.0.4 200 encapsulation mpls
!
interface Vlan213
ip vrf forwarding LU
no ip address
!
interface Vlan400
description ISCSI/Cluster-VLAN
mtu 1600
no ip address
no ip redirects
xconnect 172.30.0.4 400 encapsulation mpls
!
interface Vlan609
no ip address
ipv6 enable
!
interface Vlan1100
mtu 1600
no ip address
!
router ospf 1
auto-cost reference-bandwidth 10000
redistribute static
passive-interface default
no passive-interface GigabitEthernet3/0/0
no passive-interface GigabitEthernet3/0/1
no passive-interface GigabitEthernet3/0/3
network 172.16.50.0 0.0.0.3 area 0
network 172.20.99.0 0.0.0.255 area 0

```

```

network 172.30.0.0 0.0.0.255 area 0
network 172.30.101.0 0.0.0.255 area 0
network 172.30.0.0 0.1.255.255 area 0
network 172.50.43.0 0.0.0.7 area 0
network 172.50.0.0 0.0.255.255 area 0
network 192.168.102.0 0.0.0.255 area 0
network 192.168.161.0 0.0.0.255 area 0
network 192.168.222.0 0.0.0.255 area 0
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
mpls traffic-eng router-id Loopback0
mpls traffic-eng area 0
!
router bgp 65001
  bgp log-neighbor-changes
  no bgp default ipv4-unicast
  no bgp default route-target filter
  neighbor RRSISAVERRKKO peer-group
  neighbor RRSISAVERRKKO remote-as 65001
  neighbor RRSISAVERRKKO update-source Loopback0
  neighbor RRSISAVERRKKO version 4
  neighbor 10.0.10.31 remote-as 65010
  neighbor 2A00:1DD0:400:102::1 remote-as 65000
  neighbor 172.30.0.4 peer-group RRSISAVERRKKO
  neighbor 172.30.0.5 peer-group RRSISAVERRKKO
  neighbor 172.30.0.6 peer-group RRSISAVERRKKO
  neighbor 172.30.0.7 peer-group RRSISAVERRKKO
  neighbor 172.30.0.8 peer-group RRSISAVERRKKO
!
address-family ipv4
  network 172.30.0.0 mask 255.254.0.0
  neighbor RRSISAVERRKKO route-reflector-client
  neighbor 172.30.0.4 activate
  neighbor 172.30.0.5 activate
  neighbor 172.30.0.6 activate
  neighbor 172.30.0.7 activate
  neighbor 172.30.0.8 activate
  exit-address-family
!
address-family vpnv4
  neighbor RRSISAVERRKKO send-community both
  neighbor RRSISAVERRKKO route-reflector-client
  neighbor RRSISAVERRKKO next-hop-self
  neighbor 10.0.10.31 activate
  neighbor 10.0.10.31 send-community extended
  neighbor 172.30.0.4 activate
  neighbor 172.30.0.7 activate
  neighbor 172.30.0.8 activate
  exit-address-family
!
address-family ipv6
  redistribute connected
  network 2A00:1DD0:401::/48
  network 2A00:1DD0:401:B1::/64
  network 2A00:1DD0:401:B2::/64
  network 2A00:1DD0:401:6000::/64
  neighbor 2A00:1DD0:400:102::1 activate
  neighbor 2A00:1DD0:400:102::1 prefix-list SIMUNET6 out
  exit-address-family
!
address-family ipv4 vrf LU
  neighbor 192.168.3.1 remote-as 65501
  neighbor 192.168.3.1 ebgp-multihop 2
  neighbor 192.168.3.1 update-source Loopback30
  neighbor 192.168.3.1 activate
  neighbor 192.168.3.1 prefix-list LU-REITTI out
  exit-address-family
!
address-family ipv4 vrf testi1
  redistribute connected
  exit-address-family
!
ip forward-protocol nd
!
ip flow-export source GigabitEthernet1/9
ip flow-export version 9
ip flow-export destination 172.21.99.101 2055

no ip http server
no ip http secure-server
ip pim ssm default
ip pim vrf testi1 ssm default
ip pim vrf testi1 mpls source Loopback0
ip route 10.0.0.0 255.255.0.0 Null0
ip route 10.0.0.0 255.255.0.0 172.17.213.11
ip route 172.30.0.0 255.255.255.0 Null0
ip route 172.30.2.0 255.255.255.0 172.30.1.1
ip route 172.31.2.0 255.255.255.0 172.31.1.1
ip route 172.50.0.0 255.255.0.0 172.50.43.2
ip route 192.168.0.0 255.255.255.0 172.17.0.104
ip route 192.168.1.0 255.255.255.0 172.17.0.104
ip route 192.168.124.0 255.255.255.0 Tunnel158
ip route 192.168.124.0 255.255.255.0 Tunnel159
ip route vrf LU 0.0.0.0 0.0.0.0 172.50.34.2
ip route vrf LU 192.168.3.1 255.255.255.255 172.20.30.2
!
ip explicit-path name mainpath enable
  next-address 192.168.13.3
  next-address 192.168.13.1
  next-address 192.168.14.1
  next-address 192.168.14.4
  next-address 172.30.0.4
!
ip explicit-path name secpath enable
  next-address 192.168.23.3
  next-address 192.168.24.2
  next-address 192.168.23.2
  next-address 192.168.24.4
  next-address 172.30.0.4
!
ip explicit-path name dikki enable
!
ip prefix-list LU-REITTI seq 5 permit 0.0.0.0/0
!
ip prefix-list OLETUSREITTI seq 5 permit 0.0.0.0/0
access-list 1 permit 172.31.1.2
ipv6 route 2A00:1DD0:401:B1::/64 Vlan10 FE80:A1::1
ipv6 route 2A00:1DD0:401:B2::/64 Vlan20 FE80:A2::1
ipv6 route 2A00:1DD0:401:4101::/64 GigabitEthernet3/1/4.2000
2A00:1DD0:100:4100::104
ipv6 route 2A00:1DD0:401:4101::/64 2A00:1DD0:100:4100::104
ipv6 route 2A00:1DD0:401:4102::/64 GigabitEthernet3/1/4.2000
2A00:1DD0:100:4100:21E:ABFF:FE50:5050
ipv6 route 2A00:1DD0:401::/48 Null0
ipv6 local pool VLAN2000ipv6 2A00:1DD0:401:4000::/56 64
!
ipv6 prefix-list SIMUNET6 seq 10 permit 2A00:1DD0:401::/48
mpls ldp router-id Loopback0 force
snmp-server community public RO
snmp-server host 172.16.120.10 version 2c public
!
ipv6 access-list BLOCKRH0
  remark Access list for blocking Routing Header Type 0
  deny ipv6 any any routing-type 0
  permit ipv6 any any
!
ipv6 access-list testi
  permit ipv6 FE80::/64 any
!
ipv6 access-list testilista
  permit udp any any eq domain
  permit udp any eq domain any
!
control-plane
!
line con 0
  password cisco
  logging synchronous
  login
line vty 0 4
  session-timeout 60
  logging synchronous
  login local
  transport input ssh

```

```
line vty 5 15
session-timeout 60
logging synchronous
login local
transport input ssh
!
end
```


PE4-laitteen running config:

PE4#show run

Building configuration...

Current configuration : 14922 bytes

!
! Last configuration change at 09:04:19 UTC Tue Apr 15 2014

!
version 15.3

service timestamps debug datetime msec

service timestamps log datetime msec

service counters max age 10

service unsupported-transceiver

!
hostname PE4

!
boot-start-marker

boot-end-marker

!
mls ipv6 vrf

!
vrf definition CUSTOMER_C1

rd 6:6

!
address-family ipv6

route-target export 6:6

route-target import 6:6

exit-address-family

!
no aaa new-model

!
ip vrf INTERNET

rd 65001:80

route-target export 65001:80

route-target import 65001:80

!
ip vrf LU

rd 65501:10

!
ip vrf teemukim

!
ip vrf testi1

rd 100:1

vpn id 100:1

mdt default mpls mldp 172.30.0.11

route-target export 100:1

route-target import 100:1

!
no ip domain lookup

ip domain name ictlab.kyamk.fi

ip multicast-routing

ip multicast-routing vrf testi1

ip multicast hardware-switching replication-mode egress

ip multicast mpls mldp

ip multicast vrf testi1 mpls mldp

ip dhcp excluded-address 172.21.99.1 172.21.99.100

ip dhcp excluded-address 172.21.99.254

!
ip dhcp pool HALLINTA

network 172.21.99.0 255.255.255.0

default-router 172.21.99.1

!
no ipv6 source-route

ipv6 unicast-routing

!
vtp mode transparent

clns routing

mls flow ip interface-full

no mls flow ipv6

mls cef error action reset

multilink bundle-name authenticated

!
spanning-tree mode pvst

spanning-tree extend system-id

system flowcontrol bus auto

diagnostic bootup level minimal

no errdisable detect cause gbic-invalid

username simunet secret 4

tnhte92DXBhelxjYk8LWJrPV36S2i4ntXrpb4RFmfqY

!
redundancy

main-cpu

auto-sync running-config

mode sso

!
vlan internal allocation policy ascending

vlan dot1q tag native

vlan access-log ratelimit 2000

!
vlan 7

!
vlan 10

name Area1FWout

!
vlan 11

name Taka_Posti

!
vlan 20

name Area2FWout

!
vlan 34

name LehtinenUusitalo

!
vlan 40

name LU-HSRP

!
vlan 43

name LU-Outside

!
vlan 81

name INTERNET_C1

!
vlan 90

name WLC&APs

!
vlan 91

name WLC_C1

!
vlan 99

name HALLINTA

!
vlan 100

name Servers1

!
vlan 101

name Palomuurin_ohitus

!
vlan 102

name Hamalainen

!
vlan 110

name teemukim

!
vlan 120

name Nagios

!
vlan 130

name mpls_te

!
vlan 200

name Servers2

!
vlan 300

name Failover

!
vlan 400

name iSCSI&ClusterVLAN

!
I2 vfi FW_OUT_10 manual

```

vpn id 10
neighbor 172.30.0.3 encapsulation mpls
!
I2 vfi FW_OUT_20 manual
vpn id 20
neighbor 172.30.0.3 encapsulation mpls
!
I2 vfi INTERNET_C1 manual
vpn id 81
neighbor 172.30.0.3 encapsulation mpls
!
I2 vfi NAGIOS manual
vpn id 120
neighbor 172.30.0.7 encapsulation mpls no-split-horizon
neighbor 172.30.0.3 encapsulation mpls
!
I2 vfi WLCAPS manual
vpn id 100090
neighbor 172.30.0.3 encapsulation mpls
neighbor 172.30.0.7 encapsulation mpls no-split-horizon
!
I2 vfi WLC_C1 manual
vpn id 100091
neighbor 172.30.0.3 encapsulation mpls
!
interface Loopback0
ip address 172.30.0.4 255.255.255.255
!
interface Loopback6
no ip address
ipv6 address ictlab ::4/64
!
interface Loopback40
ip vrf forwarding LU
ip address 172.50.0.4 255.255.255.255
!
interface Loopback609
no ip address
ipv6 enable
!
interface Tunnel158
ip unnumbered Loopback0
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel destination 172.30.0.3
tunnel mpls traffic-eng priority 1 1
tunnel mpls traffic-eng bandwidth 3500
tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name mainpath
tunnel mpls traffic-eng fast-reroute
!
interface Tunnel159
ip unnumbered Loopback0
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel destination 172.30.0.3
tunnel mpls traffic-eng priority 2 2
tunnel mpls traffic-eng bandwidth 3500
tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name secpath
!
interface GigabitEthernet1/1
description simunet-srv
switchport
switchport access vlan 400
switchport mode access
!
interface GigabitEthernet1/2
description simunet-srv
switchport
switchport access vlan 400
switchport mode access
!
interface GigabitEthernet1/3
description iSCSI
switchport
switchport access vlan 400
switchport mode access
!
interface GigabitEthernet1/4
description iSCSI
switchport
switchport access vlan 400
switchport mode access
!
interface GigabitEthernet1/5
description simunet-srv
switchport
switchport trunk encapsulation dot1q
switchport trunk allowed vlan 90,91,99-102,110,120,150,200
switchport mode trunk
no keepalive
!
interface GigabitEthernet1/6
no ip address
!
interface GigabitEthernet1/7
description IPTV-palvelin
ip address 172.16.50.1 255.255.255.252
ip pim sparse-mode
ip igmp version 3
!
interface GigabitEthernet1/8
description Firewall failover
no ip address
no keepalive
xconnect 172.30.0.3 300 encapsulation mpls
!
interface GigabitEthernet1/9
ip address 10.0.0.1 255.255.255.0
!
interface GigabitEthernet3/0/0
description P1-PE4 fiber
dampening
mtu 1600
ip address 192.168.14.4 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
ip igmp version 3
negotiation auto
mpls ip
no mpls ldp igp sync
mpls traffic-eng tunnels
mpls traffic-eng backup-path Tunnel159
bfd interval 100 min_rx 100 multiplier 3
ip rsvp bandwidth 4000
!
interface GigabitEthernet3/0/1
description P2-PE4 copper
dampening
mtu 1600
ip address 192.168.24.4 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
ip igmp version 3
speed 1000
no negotiation auto
mpls ip
no mpls ldp igp sync
mpls traffic-eng tunnels
bfd interval 100 min_rx 100 multiplier 3
ip rsvp bandwidth 3900
!
interface GigabitEthernet3/0/2
description ASA5510 Kalaverkkoon
ip address 192.168.30.1 255.255.255.0
speed 1000
no negotiation auto
ipv6 address 2A00:1DD0:401:F001::1/64
ipv6 enable
ipv6 nd prefix 2A00:1DD0:401:F001::/64 1200 900
!
interface GigabitEthernet3/0/3
description PE4_to_P11
mtu 1600
ip address 192.168.114.4 255.255.255.0
negotiation auto
mpls ip

```

```

mpls label protocol ldp
!
interface GigabitEthernet3/0/4
description WLC EVC
no ip address
speed 100
no negotiation auto
service instance 1 ethernet
encapsulation dot1q 90
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 90
!
service instance 2 ethernet
encapsulation dot1q 91
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 91
!
!
interface GigabitEthernet3/1/0
description Firewall EVC
mtu 1600
no ip address
speed 1000
no negotiation auto
service instance 1 ethernet
encapsulation dot1q 10
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 10
!
service instance 2 ethernet
encapsulation dot1q 20
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 20
!
service instance 5 ethernet
encapsulation dot1q 100
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 100
!
service instance 6 ethernet
encapsulation dot1q 200
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 200
!
service instance 34 ethernet
encapsulation dot1q 34
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 34
!
service instance 43 ethernet
encapsulation dot1q 43
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 43
!
!
interface GigabitEthernet3/1/1
description Dufva
mtu 1600
no ip address
speed 100
no negotiation auto
service instance 210 ethernet
encapsulation dot1q 210
xconnect 172.30.0.3 210 encapsulation mpls
!
service instance 220 ethernet
encapsulation default
xconnect 172.30.0.3 220 encapsulation mpls
!
service instance 230 ethernet
encapsulation dot1q 230
xconnect 172.30.0.3 230 encapsulation mpls
!
!
interface GigabitEthernet3/1/2
description LehtinenUusitalo
ip vrf forwarding LU
ip address 172.50.40.1 255.255.255.252
speed 100
no negotiation auto
!
interface GigabitEthernet3/1/3
description Taka_MPLS (Simunet - ICTLAB)
mtu 1600
no ip address
speed 100
no negotiation auto
!
interface GigabitEthernet3/1/3.11
encapsulation dot1q 11
ip address 10.0.10.42 255.255.255.0
mpls bgp forwarding
!
interface GigabitEthernet3/1/4
description Hamalainen
ip vrf forwarding testi1
ip address 192.168.162.4 255.255.255.0
ip pim sparse-mode
ip igmp join-group 232.2.2.2 source 192.168.161.10
ip igmp version 3
speed 100
no negotiation auto
!
interface Vlan1
no ip address
shutdown
!
interface Vlan10
description Firewall context 1 outside
mtu 1600
ip address 172.30.1.4 255.255.255.248
no ip redirects
standby version 2
standby 10 ip 172.30.1.5
standby 10 preempt
standby 110 ipv6 FE80::1
standby 110 preempt
ipv6 address FE80:A1::4 link-local
ipv6 address 2A00:1DD0:401:A1::4/64
ipv6 nd prefix 2A00:1DD0:401:A1::/64 1200 900
ipv6 dhcp client pd ictlab
xconnect vfi FW_OUT_10
!
interface Vlan20
description Firewall context 2 outside
mtu 1600
ip address 172.31.1.4 255.255.255.248
no ip redirects
standby version 2
standby 20 ip 172.31.1.5
standby 20 priority 150
standby 20 preempt
standby 120 ipv6 FE80::2
standby 120 priority 150
standby 120 preempt
ipv6 address FE80:A2::4 link-local
ipv6 address 2A00:1DD0:401:A2::4/64
ipv6 nd prefix 2A00:1DD0:401:A2::/64 1200 900
xconnect vfi FW_OUT_20
!
interface Vlan34
mtu 1600
ip vrf forwarding LU
ip address 172.50.34.4 255.255.255.248
standby 34 ip 172.50.34.1
standby 34 preempt
xconnect 172.30.0.3 34 encapsulation mpls
!
interface Vlan43
ip address 172.50.43.4 255.255.255.248
standby 43 ip 172.50.43.1
standby 43 preempt

```

```

xconnect 172.30.0.3 43 encapsulation mpls
!
interface Vlan81
mtu 1600
ip address 172.30.81.2 255.255.255.0
xconnect vfi INTERNET_C1
!
interface Vlan90
mtu 1600
ip address 172.16.10.4 255.255.255.0
ip helper-address 172.16.91.91
standby version 2
standby 90 ip 172.16.10.3
standby 90 priority 150
standby 90 preempt
standby 90 name WLC1
xconnect vfi WLCAPS
!
interface Vlan91
mtu 1600
ip dhcp relay information trusted
ip address 172.16.91.4 255.255.255.0
ip helper-address 172.16.91.91
standby version 2
standby 91 ip 172.16.91.3
standby 91 priority 150
standby 91 preempt
standby 91 name WLC
xconnect vfi WLC_C1
!
interface Vlan99
ip address 172.21.99.1 255.255.255.0
!
interface Vlan100
description Firewall context 1 inside
mtu 1600
no ip address
xconnect 172.30.0.3 100 encapsulation mpls
!
interface Vlan101
description Palomuurin_ohitus
ip address 172.30.101.4 255.255.255.0
standby version 2
standby 1 ip 172.30.101.254
standby 1 priority 150
standby 1 preempt
standby 101 ipv6 FE80:C1::1
standby 101 preempt
ipv6 address FE80:101::4 link-local
ipv6 address 2A00:1DD0:401:C1::4/64
ipv6 nd prefix 2A00:1DD0:401:C1::/64 1200 900
xconnect 172.30.0.3 101 encapsulation mpls
!
interface Vlan102
ip address 192.168.222.1 255.255.255.0
!
interface Vlan120
mtu 1600
ip address 172.16.120.4 255.255.255.0
standby 1 ip 172.16.120.1
standby 1 preempt
xconnect vfi NAGIOS
!
interface Vlan130
ip address 172.16.130.4 255.255.255.0
shutdown
!
interface Vlan200
description Firewall context 2 inside
mtu 1600
no ip address
xconnect 172.30.0.3 200 encapsulation mpls
!
interface Vlan213
no ip address
!

interface Vlan400
description iSCSI&ClusterVLAN
mtu 1600
no ip address
no ip redirects
xconnect 172.30.0.3 400 encapsulation mpls
!
router ospf 1
auto-cost reference-bandwidth 10000
redistribute static
passive-interface default
no passive-interface GigabitEthernet3/0/0
no passive-interface GigabitEthernet3/0/1
no passive-interface GigabitEthernet3/0/3
no passive-interface GigabitEthernet3/0/4
network 172.16.50.0 0.0.0.3 area 0
network 172.21.99.0 0.0.0.255 area 0
network 172.30.0.0 0.0.0.255 area 0
network 172.30.101.0 0.0.0.255 area 0
network 172.30.0.0 0.1.255.255 area 0
network 172.50.43.0 0.0.0.7 area 0
network 192.168.102.0 0.0.0.255 area 0
network 192.168.161.0 0.0.0.255 area 0
network 192.168.222.0 0.0.0.255 area 0
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
bfd all-interfaces
mpls traffic-eng router-id Loopback0
mpls traffic-eng area 0
!
router bgp 65001
bgp log-neighbor-changes
no bgp default ipv4-unicast
no bgp default route-target filter
neighbor RRSISAVERRKKO peer-group
neighbor RRSISAVERRKKO remote-as 65001
neighbor RRSISAVERRKKO update-source Loopback0
neighbor RRSISAVERRKKO version 4
neighbor 10.0.10.41 remote-as 65010
neighbor 172.30.0.3 peer-group RRSISAVERRKKO
neighbor 172.30.0.5 peer-group RRSISAVERRKKO
neighbor 172.30.0.6 peer-group RRSISAVERRKKO
neighbor 172.30.0.7 peer-group RRSISAVERRKKO
neighbor 172.30.0.8 peer-group RRSISAVERRKKO
!
address-family ipv4
network 172.30.0.0 mask 255.254.0.0
neighbor RRSISAVERRKKO route-reflector-client
neighbor 172.30.0.3 activate
neighbor 172.30.0.5 activate
neighbor 172.30.0.6 activate
neighbor 172.30.0.7 activate
neighbor 172.30.0.8 activate
exit-address-family
!
address-family vpnv4
neighbor RRSISAVERRKKO send-community both
neighbor RRSISAVERRKKO route-reflector-client
neighbor RRSISAVERRKKO next-hop-self
neighbor 10.0.10.41 activate
neighbor 10.0.10.41 send-community extended
neighbor 172.30.0.3 activate
neighbor 172.30.0.7 activate
neighbor 172.30.0.8 activate
exit-address-family
!
address-family ipv6
redistribute connected
network 2A00:1DD0:401:B1::/64
network 2A00:1DD0:401:B2::/64
network 2A00:1DD0:401:100::/56
network 2A00:1DD0:401:F000::/56
neighbor RRSISAVERRKKO send-label
exit-address-family
!
address-family vpnv6
exit-address-family

```

```

!
address-family ipv6 vrf CUSTOMER_C1
 redistribute connected
 redistribute static
 exit-address-family
!
address-family ipv4 vrf LU
 neighbor 192.168.4.1 remote-as 65501
 neighbor 192.168.4.1 ebgp-multihop 2
 neighbor 192.168.4.1 update-source Loopback40
 neighbor 192.168.4.1 activate
 neighbor 192.168.4.1 prefix-list LU-REITTI out
 exit-address-family
!
address-family ipv4 vrf testi1
 redistribute connected
 exit-address-family
!
ip forward-protocol nd
!
no ip http server
no ip http secure-server
ip pim ssm default
ip pim vrf testi1 ssm default
ip pim vrf testi1 mpls source Loopback0
ip route profile
ip route 10.0.0.0 255.255.0.0 Null0
ip route 172.30.0.0 255.255.255.0 Null0
ip route 172.30.2.0 255.255.255.0 172.30.1.1
ip route 172.31.2.0 255.255.255.0 172.31.1.1
ip route 192.168.123.0 255.255.255.0 Tunnel158
ip route 192.168.123.0 255.255.255.0 Tunnel159
ip route vrf LU 192.168.4.1 255.255.255.255 172.20.40.2
!
ip explicit-path name mainpath enable
 next-address 192.168.14.4
 next-address 192.168.14.1
 next-address 192.168.13.1
 next-address 192.168.13.3
 next-address 172.30.0.3
!
ip explicit-path name secpath enable
 next-address 192.168.24.4
 next-address 192.168.23.2
 next-address 192.168.24.2
 next-address 192.168.23.3
 next-address 172.30.0.3
!
!
ip prefix-list LU-REITTI seq 5 permit 0.0.0.0/0
!
ip prefix-list OLETUSREITTI seq 5 permit 0.0.0.0/0
ipv6 route 2A00:1DD0:401:B1::/64 Vlan10 FE80:A1::1
ipv6 route 2A00:1DD0:401:B2::/64 Vlan20 FE80:A2::1
ipv6 route 2A00:1DD0:401:100::/56 GigabitEthernet3/0/2
2A00:1DD0:401:F001::2
ipv6 router ospf 6
!
mpls ldp router-id Loopback0 force
!
control-plane
!
line con 0
 password cisco
 logging synchronous
 login
line vty 0 4
 session-timeout 60
 login local
 transport input ssh
line vty 5 15
 session-timeout 60
 login local
 transport input ssh
!
end

```

P11-laitteen running config:

P11#show run
Building configuration...

Current configuration : 1962 bytes

!

! Last configuration change at 06:54:18 UTC Tue Apr 15 2014

```

!
version 15.3
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
service counters max age 10
service unsupported-transceiver
!
hostname P11
!
boot-start-marker
boot system disk0:
boot system disk0:/s3223-advipservicesk9-mz.153-3.S.bin
boot-end-marker
!
no aaa new-model
!
no ip domain lookup
ip multicast-routing
ip multicast hardware-switching replication-mode egress
ip multicast mpls mldp
!
mls flow ip interface-full
no mls flow ipv6
mls cef error action reset
multilink bundle-name authenticated
!
spanning-tree mode pvst
spanning-tree extend system-id
system flowcontrol bus auto
diagnostic bootup level minimal
!
redundancy
main-cpu
  auto-sync running-config
mode sso
!
vlan internal allocation policy ascending
vlan access-log ratelimit 2000
!
interface Loopback0
ip address 172.30.0.11 255.255.255.255
!
interface GigabitEthernet1/1
description P11_to_PE3
mtu 1600
ip address 192.168.113.11 255.255.255.0
mpls ip
mpls label protocol ldp
!
interface GigabitEthernet1/2
description P11_to_PE4
mtu 1600
ip address 192.168.114.11 255.255.255.0
mpls ip
mpls label protocol ldp
!
interface GigabitEthernet1/3
no ip address
shutdown
!
interface GigabitEthernet1/4
no ip address
shutdown
!
interface GigabitEthernet1/5
no ip address
shutdown
!
interface GigabitEthernet1/6
no ip address
shutdown
!
interface GigabitEthernet1/7
no ip address
shutdown
!
interface GigabitEthernet1/8
no ip address
shutdown
!
interface GigabitEthernet1/9
no ip address
shutdown
!
interface Vlan1
no ip address
shutdown
!
router ospf 1
network 172.30.0.0 0.0.255.255 area 0
network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
!
no ip http server
no ip http secure-server
!
control-plane
!
line con 0
line vty 0 4
  login
  transport input lat pad udptn telnet rlogin ssh acercon
!
end

```