



Satakunnan ammattikorkeakoulu

Noppi Teemu

IP-RYHMÄLÄHETYS

Tietotekniikan koulutusohjelma

2008

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty Satakunnan ammattikorkeakoulun Porin tekniikan yksikön tietoliikennelaboratorion käyttöön, tarkoituksena tukea omalta osaltaan tietoliikenneverkkoihin liittyvää opetusta.

Työn ohjaajana on toiminut yliopettaja Arto Mustonen, jolle esitän parhaat kiitokseni rakentavasta palautteesta ja saaduista neuvoista. Lisäksi haluan kiittää tyttöystävääni mahtavasta henkisestä tuesta ja avusta opinnäytetyöni viimeistelyvaiheessa.

Porissa 4.4.2008

Teemu Noppari
Kiertokatu 7 B 17
28130 PORI

IP-RYHMÄLÄHETYS

Noppiari, Teemu
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2008
Mustonen, Arto
UDK: 004.738, 621.39
Sivumäärä: 61

Asiasanat: multicast, multicast-reititys, multicast-reititysprotokollat, ryhmälähetys, IP-TV

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin ryhmälähetyksen tekniikkaa ja sen toteutusta IP-verkoissa. Työn teoriaosuuden tarkoituksena oli antaa kokonaisvaltainen kuva ryhmälähetyksen käyttömahdollisuuksista, toiminnasta ja sen tuomista eduista. Teoriaosuuden lisäksi suunniteltiin ja toteutettiin Satakunnan ammattikorkeakoulun CCNP-koulutuksen BSI-jaksoon Internetiä mallintava reititin- ja kytkinverkko. Testiverkossa toteutettiin ryhmälähetysoitoja.

IP-verkoissa siirrettävän datan määrä kasvaa päivittäin, ja erityisesti liikkuvan kuvan siirto kuluttaa suuria määriä tietoliikennekapasiteettia. Perinteisellä yksittäislähetystekniikalla lähettävä laite osoittaa siirrettävän paketin vastaanottajaksi yhden laitteen. Ryhmälähetyksellä lähettävä laite osoittaa paketin kohteeksi vastaanottajajoukon, joka määräytyy erillisen ryhmälähetysoitoon perusteella.

Ryhmälähetys on vähitellen saamassa jalansijaa Internetissä. Lähiverkoissa toteutettavalle ryhmälähetykselle ei ole nykyään juuri esteitä. Ryhmälähetyksen avulla voidaan tehostaa usealle vastaanottajalle suuntautuvaa datajakelua, kuten ohjelmistojen ja tietoturvapäivitysten siirtämistä, IP-TV:ta, etäopetusta ja videokonferenssien sekä muiden multimediasessioiden lähetystä tietoliikennekaistaa tehokkaasti hyödyntäen.

IP MULTICAST

Noppiari, Teemu
Satakunta University of Applied Sciences
Department of Information Technology
April 2008
Mustonen, Arto
UDK: 004.738, 621.39
Number of pages: 61

Key words: multicast, multicast routing, multicast routing protocols, IP-TV

In this Bachelor's Thesis multicast techniques and their implementations in IP networks were studied. The purpose of the theoretical part was to give a general view about usage possibilities, operations and benefits of multicast. Besides the theory part, an Internet-modelled switch and router network was designed and implemented for Satakunta University of Applied Sciences CCNP training program. Multicast services were implemented in this network.

The amount of transferred data increases daily and especially transferring video consumes lots of bandwidth. With traditional unicast transfer, the sender points a data packet straight to one receiver. With the multicast transfer, the sender points the data packet to a group of recipients.

Multicast is gradually becoming more and more common on the Internet. In local area networks there are no obstacles for multicasting. With multicast it is possible to make efficient data delivery to a group of recipients. This delivery can consist of, for example, software and security updates, IP-TV, distance learning, video conferences and other multimedia sessions without wasting bandwidth.

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	7
2	MULTICAST	9
2.1	Ryhmälähetyksen edut	9
2.2	Ryhmälähetyksen heikkoudet	10
2.3	Multicast IPv4-osoituksessa.....	11
2.4	Ryhmälähetys tasolla 2	13
2.5	Multicast backbone	14
2.6	Reverse Path Forwarding	15
2.7	Lähetyksistä tiedottaminen.....	17
2.8	Multicast jakelupuut.....	19
3	IP MULTICAST-REITITYS	21
3.1	Protocol Independent Multicast	22
3.2	IGMP ja CGMP	30
3.3	DVMRP	34
3.4	MBGP	34
3.5	MSDP.....	34
3.6	Multicast ja IPV6	35
4	TESTIYMPÄRISTÖ.....	38
4.1	Verkon konfigurointi.....	40
4.2	Tulokset sekä toiminnan tarkastelu.....	44
5	YHTEENVETO	58
	LÄHTEET.....	60
	LIITTEET	

LYHENNELUETTELO

ASM	Any Source Multicast
BSI	Building Scalable Internetworks
BSR	Bootstrap Router
CCNP	Cisco Certified Network Professional
DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	The Internet Engineering Task Force
IGMP	Internet Group Management Protocol
IP	Internet Protocol
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
Kbps	Kilobit per second
LAN	Local Area Network
MAC	Media Access Control
MBGP	Multiprotocol BGP
Mbone	Multicast backbone
MSDP	Multicast Source Discovery Protocol
PIM	Protocol Independent Multicast
PIM-DM	Protocol Independent Multicast - Dense-Mode
PIM-SM	Protocol Independent Multicast - Sparse-Mode
RPF	Reverse Path Forwarding
SAP	Session Announcement Protocol
SDP	Session Description Protocol
SDR	Session Directory tool
SPT	Shortest-Path Tree
SSM	Source-Specific Multicast
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol

1 JOHDANTO

Internetin käyttäjämäärä on kasvanut vuosien 2000-2007 välillä 245%, ja tällä hetkellä käyttäjiä on 16,9% koko maailman väestöstä eli noin 1,1 miljardia /1/. Käyttäjien ja tietoliikennemäärän kova kasvu on asettanut tietoliikenneyhteysien ja reititystekniikoiden kehityksen tarpeelliseksi. Internetissä siirrettävä ääni ja kuva kuluttavat jatkuvasti enemmän verkon kapasiteettia. Resurssien käyttäminen tehokkaasti on välttämätöntä tietoliikenneverkkojen tukkeutumisen estämiseksi.

Multicast-tekniikka eli ryhmälähetys tarjoaa kevennystä verkkojen kuormitukselle, kun toteutetaan etäopetusta, videoneuvottelua, audiovirtaa, videovirtaa tai muuta tiedon jakamista suurille vastaanottajamäärille. Unicast-tekniikka eli yksittäislähetys on vielä käytössä suurimmassa osassa Internetissä tarjottavista palveluista, esimerkiksi nettiradioissa. Yksittäislähetys-tekniikalla jokaiselle vastaanottajalle lähetetään erikseen käyttäjän tilaama data. Multicast-tekniikalla lähde lähettää tiedon ainoastaan yhden kerran eteenpäin, ja tarvittaessa matkalla olevat reitittimet monistavat lähetettävän datan useisiin kohteisiin. Tällä tekniikalla säästetään huomattavasti käytössä olevia verkon resursseja. Hyvänä esimerkkinä IP-TV-kuvaa lähetettäessä tiedonsiirtoa voidaan käyttää moninkerroin tehokkaammin multicast-tekniikan kuin unicast-tekniikan avulla.

Multicast-lähetystekniikka on voimakkaassa kasvussa Internetissä, mutta kaikkien ominaisuuksien paras mahdollinen hyödyntäminen on kuitenkin vielä alkuvaiheessa. Lähiverkoissa sen sijaan multicast-tekniikan hyödyntäminen on yleistynyt. IP Multicastin käyttö on keskittynyt vielä helposti toteutettavaan malliin, jossa on vain yksi lähettäjä ja kaksi tai useampi vastaanottaja. IPv6 tulee omalta osaltaan helpottamaan multicastin käyttöä ja myös vanhojen protokollien poistuminen uusien tehokkaampien tieltä selkeyttää multicastin toteutuksia.

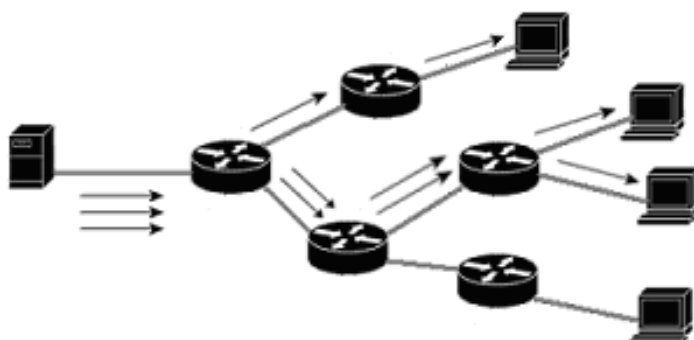
Suomessa IP-yhdysliikennetoimintaa harjoittava toimija mittautti sunnuntaina 21.10.2007 IP-liikenteen määräksi 19,7Gbps, ja kasvua edelliseen huippuun oli jopa 33% /22/. Tästäkin liikenteestä olisi osa voitu teoriassa hoitaa multicast-liikenteenä,

jolloin siirrettävän datan määrä olisi ollut huomattavasti pienempi. Kyseisenä päivänä liikenteen määrää kasvatti F1-kauden päätöskisa, jota moni seurasi Internetin kautta saatavilla olevista lähetyksistä.

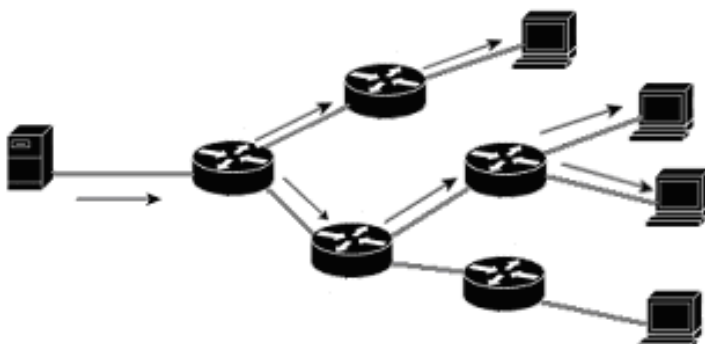
2 MULTICAST

2.1 Ryhmälähetyksen edut

Multicast vähentää verkon kuormitusta, koska jokaista datapakettia ei tarvitse lähettää erikseen kaikille vastaanottajille. Multicast-lähetyksen käyttö on perusteltua, kun lähetetään samaa dataa usealle vastaanottajalle, halutaan säästää tiedonsiirtokaistaa, vähentää verkon laitteiden kuormitusta tai ei tunneta vastaanottajien osoitteita. Multicast-verkkojen lisääntyminen ja kehittyminen tulevat auttamaan sovelluksia, joiden tarkoituksena on saada sama informaatio usealle vastaanottajalle. Kuva 1 esittää saman tiedon jakamista usealle vastaanottajalle perinteisen yksittäislähetystekniikan avulla. Kuva 2 esittää saman tiedon jakelun toteutettuna ryhmälähetystekniikan avulla.



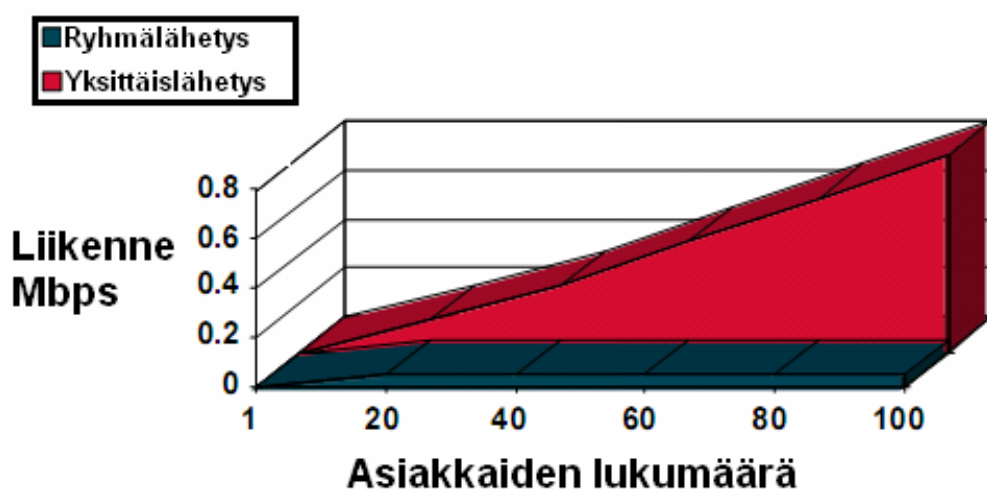
Kuva 1. Yksittäislähetyks (unicast).



Kuva 2. Ryhmälähetyks (multicast).

Ryhmälähetystekniikalla käytettävissä olevaa kaistanleveyttä hyödynnetään tehokkaammin, koska moninkertaiset saman datan lähetykset korvataan yhdellä lähetyksellä, joka monistetaan matkalla tarpeen vaatiessa.

Kuva 3 esittää 8 Kbps audiolähetysten siirtoa asiakkaille unicast- ja multicast-tekniikkaa käyttäen. Unicast-tekniikassa asiakkaiden määrän kasvaessa tarvittava kaistan leveys kasvaa 1:1, kun taas multicast-tekniikassa asiakkaiden määrän kasvaessa tarvittava kaistaleveys ei merkittävästi lisääny.



Kuva 3. Multicast ja unicast audiolähetyksessä.

2.2 Ryhmälähetysten heikkoudet

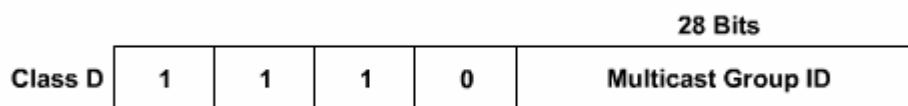
IP multicast -tiedonsiirto on UDP-pohjaista. Satunnaista pakettien pois putoamista on odotettavissa, kun käytetään best-effort tyyppistä palvelua. Multicast-lähetystä ei tulisi käyttää, jos halutaan mahdollisimman luotettavaa tiedonsiirtoa. Pois pudonnutta pakettia ei ole mahdollista pyytää lähetettäväksi uudelleen, ja täten suuri pakettien pois jääminen reaaliaikaisissa sovelluksissa sotkee vastaanottajan saamaa informaatiota. Äänen siirrossa pudonneet paketit aiheuttavat äänen nykimisen vastaanottajalla ja videokuvan siirrossa suuri pakettien pudonneisuus aiheuttaa kuvaan mosaiikkikuviota. Liikkuvan kuvan siirto sietää kuitenkin enemmän virheitä kuin äänen, ennen kuin ihminen kärsii selvää haittaa vastaanotettavan informaation ymmärrettävyydes-

tä. Myös käytettävän pakkausalgoritmin virheistä toipumiseen kuluva aika määrittelee kuinka nopeasti informaatio menee epäselväksi vastaanottajan kannalta. /3/

Pakettien ylimääräistä satunnaista monistumista saattaa ilmentyä, kun verkon topologia muuttuu. Ruuhkanhallintamahdollisuuden puuttuminen, toisin kuin TCP-liikenteessä, jossa on ikkunointi- ja ”slow-start” -ominaisuudet, voi aiheuttaa omalta osaltaan verkon tukkeutumisen kun UDP-pohjaisen multicast-liikenteen määrä kasvaa /4/. Pakettien järjestys saattaa muuttua, koska käytössä ei ole sekvenssinumerointia. Vastaanottoon käytettävän ohjelman tulisi huolehtia oikeanlaisesta duplikaattien, ruuhkaantumisen ja pakettien järjestyksen käsittelystä. Pakettien suodatuksessa ja turvallisuudessa voi tulla vaikeuksia. Ciscon mukaan luotettavan multicast toteutuksen saralla on vielä paljon tutkittavaa, mutta kehitystä on odotettavissa. /5/

2.3 Multicast IPv4-osoituksessa

Multicast-osoitteille on varattu IP-osoiteavaruudesta luokka D, eli IP-osoitteet välillä 224.0.0.0 - 239.255.255.255. Verkon aktiivilaitteet tunnistavat multicast-osoitteen katsomalla neljää merkitsevintä bittiä, jotka ovat 1110. Seuraavat 28 bittiä on varattu ryhmäosoitteille. Seuraava kuva esittää osoitteen rakenteen.



Kuva 4. Multicast-osoitteen merkitsevimmät bitit ja group ID.

Verkkotunnusten ylin vastuu kuuluu IANA:lle, joka on taas jakanut vastuun päätason tunnuksista eri tahoille. Esimerkiksi verkkotunnuksesta .fi ja sen IP-osoitteista vastaa Suomessa viestintävirasto /7/. Multicast-osoiteavaruutta kuitenkin hallitsee suoraan IANA. Multicast-osoiteavaruus on jaettu kolmeen osoiteryhmään: paikalliset, globaalit ja hallinnollisesti rajatut osoitteet.

Lista varatuista multicast-osoitteista löytyy IANA:n sivuilta:

<http://www.iana.org/assignments/multicast-addresses>.

Paikalliset osoitteet

IANA on varannut osoitteet 224.0.0.0 - 224.0.0.255 verkkoprotokollien käytettäväksi. Reitittimien ei pitäisi ohjata näistä osoitteista tulleita paketteja pois paikallisesta verkosta. Taulukossa 1 on listattu muutamia verkkoprotokollien käyttöön varattuja osoitteita. /8/

Taulukko 1. Eräitä IANA:n varaamia multicast-osoitteita.

Osoite	Käyttö
224.0.0.1	All multicast systems on this subnet
224.0.0.2	All routers in this subnet
224.0.0.5	OSPF routers
224.0.0.6	OSPF designated routers

Globaalit osoitteet

Osoitteet 224.0.1.0 – 238.255.255.255 ovat tarkoitettu käytettäväksi organisaatioiden väliseen ja Internetissä tapahtuvaan multicast-liikenteeseen. Globaalien osoitteiden alueelta on IANA myös varannut muutamia osoitteita. Globaalien osoitteiden alue 224.2.X.X on varattu Multicast Backbonen (maailmanlaajuinen runkoverkko multicast-lähetyksille) käyttöön. /8/

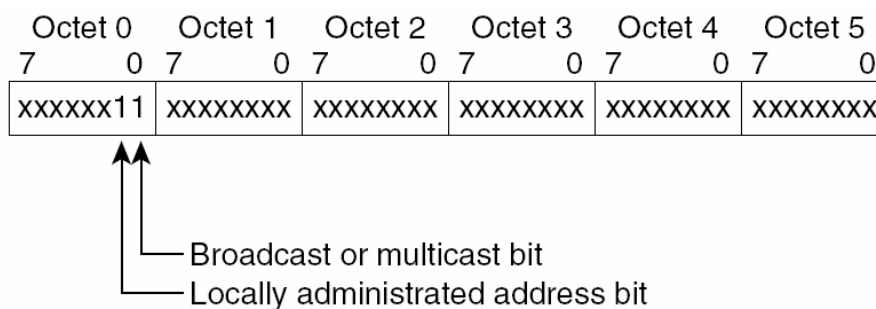
Hallinnollisesti rajatut osoitteet

Hallinnollisesti rajatut osoitteet on varattu sisäiseen käyttöön. Näitä voidaan verrata A-, B- ja C-luokan osoitevarauksista löytyviin yksityisiin IP-osoitteisiin. RFC 2365 määrittelee osoitteet pidettäväksi organisaation sisällä. Hallinnollisesti rajattujen osoitteiden alue on 239.0.0.0 – 239.255.255.255. Reitittimien tulisi olla konfiguroitu estämään liikenteen leviäminen tältä osoitealueelta domainin tai autonomisen järjestelmän ulkopuolelle. /8/

2.4 Ryhmälähetys tasolla 2

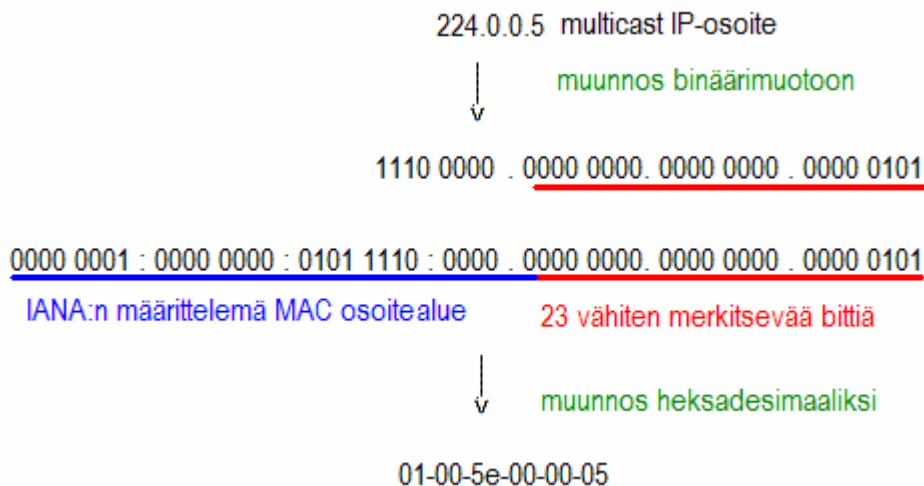
Perinteisen unicast-paketin ohjaus tasolla 2 tapahtuu sen sisältämien lähettäjän ja vastaanottajan MAC-osoitteiden avulla. Broadcast-viesteillä on lähiverkossa tarkoitus saavuttaa kaikki verkkoon kuuluvat laitteet. Multicast-pakettien tarkoitus on saavuttaa tietty joukko vastaanottajia lähiverkossa, ei kuitenkaan kaikkia kuten broadcast-viesteillä. Jokaisella vastaanottajalla on oma uniikki MAC-osoite, mikä hankaloittaa hieman multicast-pakettien ohjausta.

Ethernet-verkossa multicast-liikenteen tunnistaminen tapahtuu MAC-osoitteen ensimmäisen oktetin vähiten merkitsevän bitin avulla. Ensimmäisen oktetin vähiten merkitsevän bitin ollessa 1, lähetys tunnistetaan multicast-lähetyksenä. Kuva 5 esittää multicast lähetyksen osoittavaa bittiä MAC-osoitteessa.



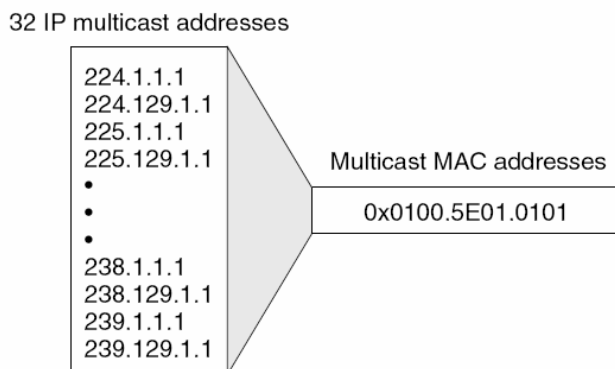
Kuva 5. Multicast lähetyksen osoittava bitti MAC-osoitteessa. /9/

IP multicast-osoitteen muunnos MAC-osoitteeksi on melko yksinkertainen toimenpide. IP multicast-osoitteen 32 bitistä 23 viimeistä siirretään suoraan MAC-osoitteen 23 viimeiseksi bitiksi. IANA on määritellyt kaikkien multicast MAC-osoitteiden 25 ensimmäistä bittiä olemaan aina samat. Multicast-käyttöön määritelty MAC-osoitteiden alue on 01:00:5e:00:00:00 - 01:00:5e:7f:ff:ff /9/. Seuraavassa kuvassa on esimerkki operaatiosta jossa IP-osoite 224.0.0.5 muunnetaan MAC-osoitteeksi.



Kuva 6. IPv4 multicast-osoitteen muunnos MAC-osoitteeksi.

Koska yksi bitti IP-ryhmäosoitteesta jää siirtämättä MAC-osoitteeseen, saa 32 IP multicast-osoitetta saman MAC-osoitteen lähiverkossa. Esimerkiksi 224.1.1.1 ja 225.1.1.1 saavat saman MAC-osoitteen lähiverkossa. IP multicast-osoitteita jakaessa tämä päällekkäisyys tulisi ottaa huomioon. Kuva 7 esittää Multicast-osoitteita jotka saavat saman Ethernet-osoitteen lähiverkossa.



Kuva 7. Multicast-ryhmäosoitteista 32 saa saman Ethernet-osoitteen. /19/

2.5 Multicast backbone

Osa Internetin reitittimistä ei tue vielä multicast-reititystä. Mbone (multicast backbone) muodostaa maailmanlaajuisen runkoverkon, joka yhdistää multicast-lähetyksiin

pystyvät verkot. Mbone kasvaa koko ajan, kun yhä useampi uusi reititin osaa käsitellä multicast-liikennettä. Sana Mbone on alun perin tarkoittanut internetin multicast-verkkoa, joka toimii DVMRP-reitityksellä (multicast-reititysprotokolla) käyttäen tunnelointia, mutta se on jäänyt käyttöön vaikka reititystekniikka on muuttunut /10/.

Mbone on alun perin rakennettu vuonna 1992 multicast-testikäyttöön Internetissä ja käytti DVMRP-reititystä. DVMRP-reititysprotokollalla on kuitenkin ollut skaalautuvuusongelmia Internet käytössä. PIM-DM (protokollasta riippumaton multicast-reititysprotokolla) oli ensimmäinen askel pois DVMRP:n käytöstä. PIM-DM -tekniikan käyttämä levitys/karsinta menetelmä ei kuitenkaan ole kovinkaan järkevä vaihtoehto Internetissä, jossa vastaanottajia on kuitenkin harvakseltaan useassa osassa verkkoa.

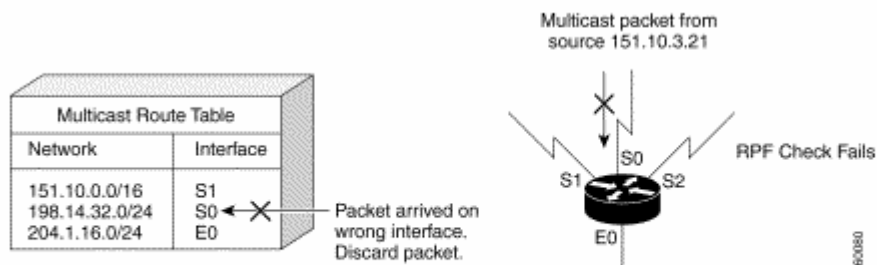
Tällä hetkellä DVMRP ja PIM-DM ovat katoamassa multicast backbone käytöstä ja korvaajaksi on noussut tehokas PIM-SM (protokollasta riippumaton multicast-reititysprotokolla). Cisco:n reitittimet osaavat kuitenkin toimia molempien DVMRP- ja PIM-reitityksen kanssa ja yhdistää kummallakin tavalla toimivia multicast-verkkoja /12/.

2.6 Reverse Path Forwarding

PIM käyttää RPF-tarkastusta estämään multicast-reitityssilmukat. Reititysprotokollat kuten PIM, DVMRP ja MSDP (protokolla multicast-ryhmien mainostukseen) käyttävät multicast-jakelupuiden luomiseen Reverse Path Forwarding -tekniikkaa. RPF-tarkastuksen avulla varmistetaan, että paketti saapui liitántään, josta muodostuu lyhin reitti lähteelle. RPF algoritmin avulla tarkistetaan paketin saapuneen siihen liitántään, johon reititin lähettäisi unicast-paketin, jos haluaisi tavoittaa lähteen. RPF hyödyntää unicast-reititystaulua selvittääkseen upstream ja downstream naapuruudet. Jos paketti läpäisee testin, se monistetaan ulosmeneviin portteihin. Jos RPF huomaa paketin saapuneen väärään porttiin, paketti hylätään. /19/

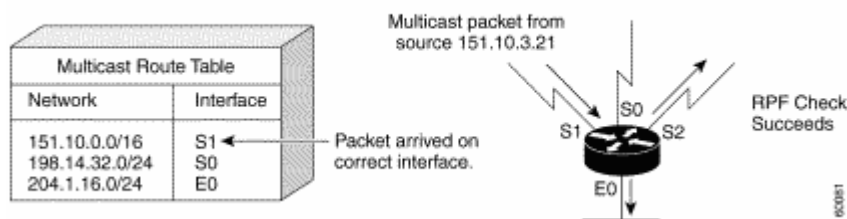
Kuva 8 on esimerkkinä tapauksesta, jossa paketti saapuu reitittimen liitántään, jonka kautta ei muodostu lyhintä reittiä lähteelle. Osoite 151.10.3.21 on multicast-paketin

lähettäjä, ja paketti saapuu reitittimen sarjaliitântään nolla. Tarkastettaessa yksittäislähetysprotokollan luomaa reititystaulua vasten huomataan, ettei kyseistä liitântää käytettäisi lähetettäessä unicast-pakettia osoitteeseen 151.10.3.21. Tästä johtuen paketti hylätään.



Kuva 8. Paketti saapuu liitântään, jonka kautta ei muodostu lyhintä reittiä lähteelle, jolloin se hylätään. /19/

Kuva 9 on esimerkkinä tapauksesta jossa paketti saapuu reitittimen liitântään, jonka kautta muodostuu lyhin reitti lähteelle. Osoite 151.10.3.21 on multicast-paketin lähettäjä ja paketti saapuu reitittimen sarjaliitântään yksi. Tarkastettaessa yksittäislähetysprotokollan luomaa reititystaulua vasten huomataan, että kyseistä liitântää käytettäisiin lähetettäessä unicast-pakettia osoitteeseen 151.10.3.21. Tästä johtuen paketti läpäisee RPF-testin ja se ohjataan edelleen.



Kuva 9. Paketin saapuessa liitäntään, josta muodostuu lyhin reitti lähteelle, se hyväksytään. /19/

RPF:n hyviin puoliin lukeutuu nopea pakettien jakelu. Nopea jakelu saadaan aikaan käyttämällä lyhyimpiä polkuja. Verkon kuormitus on myös tasaista, koska jokaiselle lähteelle puu rakentuu eri tavalla.

2.7 Lähetyksistä tiedottaminen

Saatavilla olevia multicast-lähetyksiä pitää mainostaa vastaanottajille, jotta nämä osaavat liittyä oikeaan ryhmään. Mahdollisuuksia saada tieto lähetyksistä on monia:

- Ohjelma liittyy tunnettuun ryhmään, johon lähetetään mainostuksia SAP-protokollan avulla
- Hakemistopalvelut
- Web-sivu
- Sähköposti
- Manuaalinen osoitteen asetus vastaanotto-ohjelmaan.

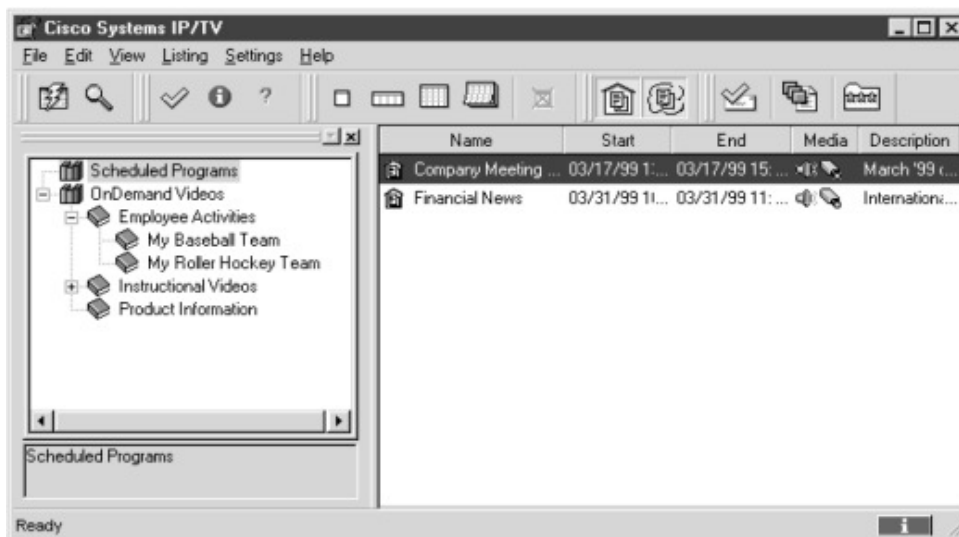
Session Announcement Protocol (SAP)

Lähetyksen lähettäjä lähettää tunnettuun multicast-ryhmään säännöllisesti mainostuksia SAP-protokollan avulla multicast-istunnoista. SAP-mainostuksissa mukana kulkee kuvaus (SDP) lähetettävästä ohjelmasta. Session Description Protocol (SDP) -kuvauksessa esitetään esityksen ajankohta, käytettävät mediat ja parametrit, portti-numerot, siirtoprotokollat sekä IP-osoitteet.

SAP-mainostuksia voidaan lähettää ja vastaanottaa Session Directory Tool (SDR) työkalulla. SDR-ohjelmahakemisto on alunperin unix-ympäristöön kehitetty, mutta myös käännös windows maailmaan löytyy. SDR:n etuja ovat dynaamisesti päivittyvä ohjelmalista, vastaanottajaksi liittymisen yksinkertaisuus ja helppous luoda mainostuksia lähetyksistä

Linux ja Mac OS X -käyttöjärjestelmiin on saatavilla VideoLAN kehittäjiltä Mini-SAP-server. VLC-ohjelmisto osaa vastaanottaa näitä SAP-mainostuksia ja tehdä niiden avulla listan mahdollisista lähetyksistä. Listasta käyttäjä voi valita haluamansa ohjelman nimen perusteella.

Kuva 10 on Ciscon IP-TV-ohjelmasta, joka käyttää SAP-protokollan avulla kuljetettavia SDP-sanomia lähetyksen mainostamiseen käyttäjälle.



Kuva 10. SAP:n kautta opittujen ohjelmien listaus Cisco IP/TV:ssä. /6/

Vastaanotto ja lähetys

Multicast-lähetyksen vastaanottoon client puolella on useita vaihtoehtoisia ohjelmia. Koska multicast on suurimmaksi osaksi ollut vielä testikäytössä, iso osa sovellusohjelmista on tehty unix-järjestelmiin. Kuitenkin windowsiin löytyy jo monia hyviä ohjelmia.

Hyvä vaihtoehto ilmaisista ohjelmista kuvan ja äänen lähetykseen ja vastaanottoon on VLC media player. VLC tukee useita video ja audio formaatteja esim. MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, DivX, mp3 ja monia muita. Sitä voidaan käyttää unicast- ja multicast-lähetyksiin ja vastaanottoon. Ohjelma toimii IPv4 ja IPv6 verkoissa. VLC:n tukemia käyttöjärjestelmiä on esim. Windows, Mac OS X sekä monet eri linux-jakelut ja muutammat OpenBSD versiot.

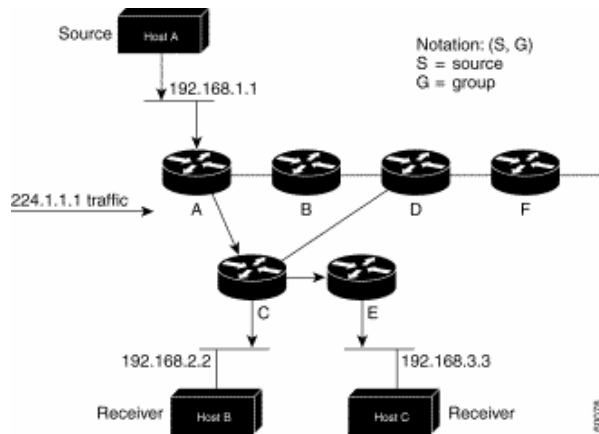
Cisco tarjoaa kattavat työkalut multicast-lähetysten hallitsemiseen. Ciscon IP-TV -konsepti koostuu kolmesta komponentista: IP/TV viewer, Content manager ja IP/TV server. Näiden työkalujen avulla voidaan toteuttaa kaikki IP-TV:n toimintaan tarvittavat toiminnot. /6/

2.8 Multicast jakelupuut

Multicast jakelupuiden avulla määritellään reitti lähteestä vastaanottajalle. PIM käytössä on kahta erilaista jakelupuumallia, Source Path Tree ja Shared Tree. Jakelupuiden tunnistaminen tapahtuu merkinnöistä (S,G) tai (*,G). Merkintä (S,G) ilmoittaa käytössä olevan SPT-mallisen puun, jolloin polku on lyhin mahdollinen vastaanottajalle. Merkintä (*,G) kertoo liikenteen tulevan kohtauspaikan (RP) kautta, jolloin puu on Shared Tree -mallin mukainen.

Shortest Path Tree

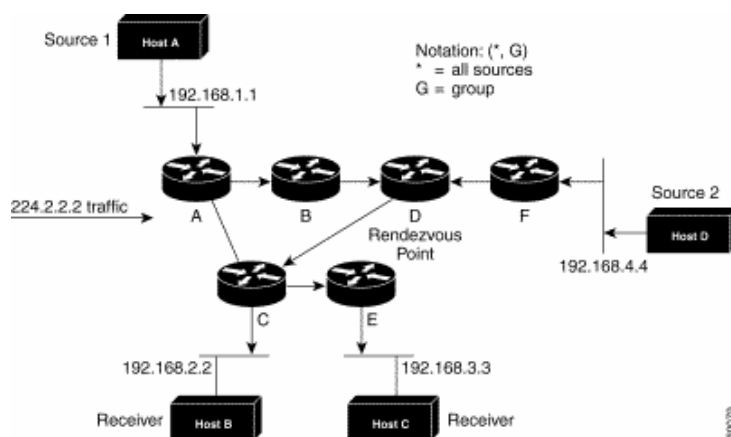
Shortest Path Tree (SPT) on yksinkertaisin multicast jakelupuumalli. SPT rakentaa jokaiselle lähteelle oman polun kohteeseen käyttäen lyhintä polkua (Shortest Path). Kuva 11 esittää SPT-mallista puuta. Ryhmät, joilla on vastaanottajia useassa verkon haarassa, tai verkot, joissa on monia ryhmiä, kuluttavat paljon verkon kapasiteettia käyttäessään Shortest Path -mallista puuta. Koska multicast-pakettien jakelu tapahtuu lyhintä mahdollista polkua pitkin vastaanottajille, viive on mahdollisimman vähäinen. Puun tunnistus tapahtuu merkinnästä (S,G): merkitty S (source) lähettää tiettyyn ryhmään G. /19/



Kuva 11. SPT puu (S,G), lyhin mahdollinen polku lähteestä vastaanottajalle. /19/

Shared Tree

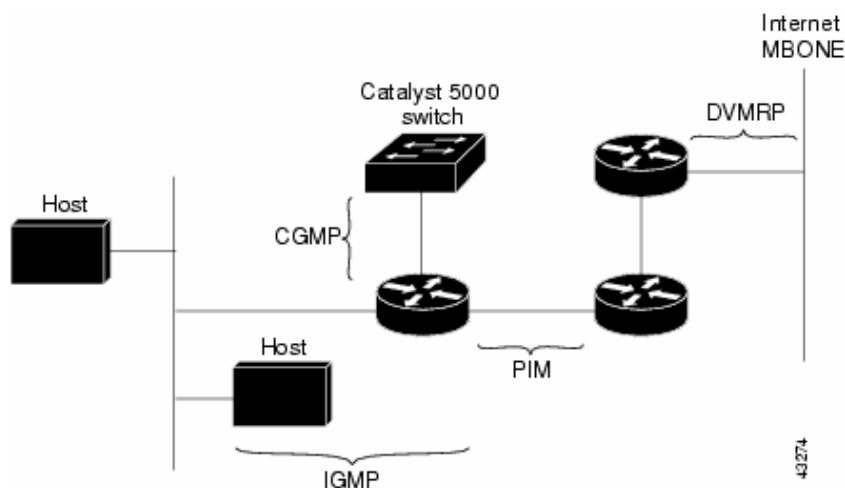
Shared Tree -mallisessa jakelupuussa käytetään liikenteelle kohtaustaikaa (RP), joka toimii puun juurena. Kuva 12 esittää Shared Tree -muotoon rakentunutta jakelupuuta. Lähde lähettää multicast-paketit kohtaustaikkaan, josta liikenne ohjataan puuta alaspäin kohden vastaanottajia. Puun tunnistus tapahtuu merkinnästä (*,G): mikä tahansa S (source) lähettää tiettyyn ryhmään G. Shared Tree -mallin etuna on sen kuluttama vähäinen muistintarve reitittimissä. Liikenne ei kuitenkaan kulje aina lyhintä reittiä kohteeseen, jolloin saattaa esiintyä häiritsevääkin viivettä. Kohtaustaikan valitseminen on tärkeässä roolissa suunniteltaessa Shared Tree -mallisen jakelupuun käyttöä. /19/



Kuva 12. Shared Tree (*,G), liikenne kulkee kohtaustaikan kautta. /19/

3 IP MULTICAST-REITITYS

Toimiva multicast-verkko tarvitsee muutamia protokollia ja prosesseja ennenkuin ryhmälähetykset ovat mahdollisia lähetettäväksi ja vastaanotettavaksi. Kuva 13 esittää IPv4:ssä käytettäviä multicast-reititysprotokollia. ASM-tyypistä (ryhmälähetystekniikan nykyinen palvelumalli) multicast-jakelua käytettäessä reitittimien tulee tietää kohtauspaikan osoite. IPv4-käytössä kohtauspaikkojen reitittimien pitää pystyä keskustelemaan toisessa domainissa olevan kohtauspaikan kanssa, ja tämä onnistuu MSDP:n avulla. PIM- ja DVMRP-protokollien avulla reitittimet keskustelevat toisensa kanssa; näistä kahdesta kuitenkin DVMRP alkaa olla korvattu tehokkaammalla PIM-SM -tekniikalla. Ilman IGMP:n apua kytkimet käsittelevät multicast-sanomia kuten broadcast-sanomia. CGMP on Ciscon kehittämä IGMP-tekniikkaa vastaava protokolla.



Kuva 13. Multicast-reititysprotokollia. /12/

Multicast-reititys toimii täysin vastakkaisella periaattella kuin unicast-reititys. Ryhmälähetyksessä tarvitsee tietää mistä paketti on tulossa, jonka jälkeen tehdään päätös minne paketti ohjataan.

3.1 Protocol Independent Multicast

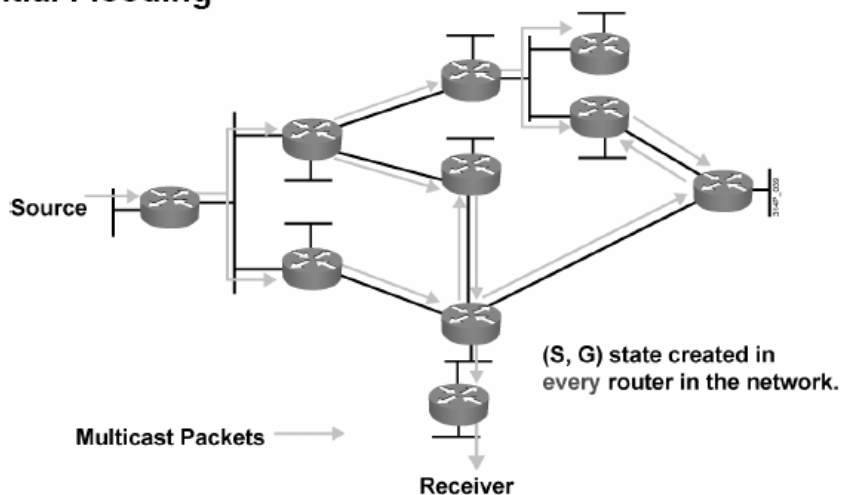
Protocol Independent Multicast (PIM) on multicast-reititystekniikka, jota joskus hieman väärin kutsutaan reititysprotokollaksi. PIM on protokollariippumaton tekniikka, joka hyödyntää käytössä olevaa unicast-reititysprotokollaa multicast-liikenteen reititykseen. PIM käyttää RPF-tarkastusta varmistamaan, että paketit saapuvat liitännään, josta muodostuu lyhin matka lähteelle. RPF-testi tehdään olemassa olevaa unicast-reititystaulua vasten. PIM ei lähetä eikä vastaanota reitityspäivityksiä kuten MOSPF tai DVMRP. PIM voi toimia sparse- tai dense-muodossa. Dense-muodon käyttö on järkevää kun vastaanottajia on paljon verkossa. Sparse-muodon käyttö toimii Dense-muotoa paremmin, kun vastaanottajia on harvakseltaan useassa osassa verkkoa kuten Internetissä. Sparse-muodossa toimiessaan PIM tarvitsee kohtauspaikkoja, joiden kautta jakelupuu lähteen ja kohteen välille muodostetaan. /9/

3.1.1 PIM dense-mode

PIM dense-mode toimii parhaiten, kun suurimmassa osassa verkon haaroja sijaitsee vastaanottajia ja tiedonsiirtokaistalla riittää tilaa. Dense- (suom. tiheä) tilan käyttöä suositellaankin multicast-liikenteen levittämiseksi vain LAN-ympäristöissä, sen käyttämisen push-mallin vuoksi. Suurissa verkoissa, joissa vastaanottajia on vain vähän, dense-muodon käyttöä tulisi välttää, koska tiedonsiirtokapasiteettia tuhlautuu multicast-pakettien säännöllisen levityksen vuoksi. Kuva 14 esittää pakettien levitystä dense-tilassa. PIM-DM käyttää ainoastaan lähde-puu -menetelmää, joten se ei käytä kohtauspaikkaa kuten PIM-SM. Tämä tekee dense-muodosta helposti toteutettavan. PIM-DM on erittäin tehokas protokolla kun suurin osa verkon laitteista on kiinnostuneita multicast-lähetyksen vastaanotosta. /6/

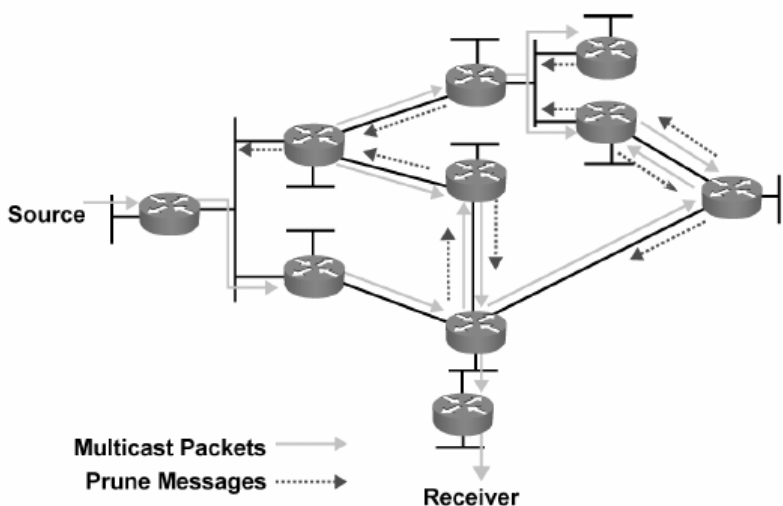
Liikenteen saapuminen reitittimeen aktivoi multicast-liikenteen edelleenohjauksen. Dense-muodossa toimiva reititin levittää saapuvan liikenteen säännöllisesti liitännöihin, joissa sijaitsee PIM-DM naapuri, suoraan liittynyt jäsen, tai liitäntä on manuaalisesti konfiguroitu ryhmän jäseneksi. /6/

Initial Flooding



Kuva 14. Pakettien tulvinta dense-tilassa. /6/

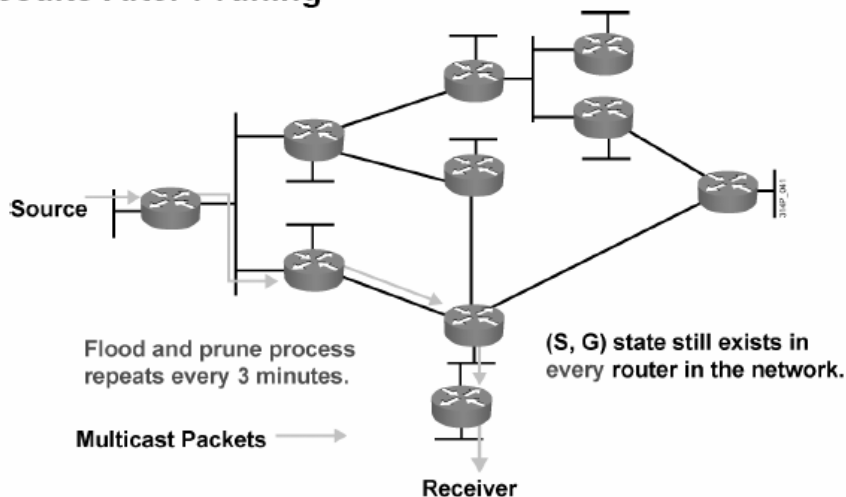
Jos paketti saapuu liitântään, josta ei muodostu lyhintä reittiä lähtelle, se hylätään. Haarat, joissa ei sijaitse lähetyksen vastaanottajia lähettävät prune- (karsinta) viestin lähettä kohden. Näin saadaan karsittua ei toivottu liikenne. Kuva 15 esittää pakettien levittämisen jälkeen tapahtuvaa karsintaa. Karsittu haara pysyy poissa reititystausta kolme minuuttia, jonka jälkeen tapahtuu uudelleen levitys ja mahdollinen karsinta, jos ei vastaanottajia vielä ole. Prune-viestejä lähetetään myös non-RPF -liitântöihin, jotka eivät muodosta lyhintä polkua multicast-lähteelle. /6/



Kuva 15. Tulvimisen jälkeinen ylimääräisten reittien karsiminen. /6/

Prune-viestien jälkeen multicast-paketit virtaavat vain vastaanottajalle, muut reitittimet säilyttävät (S,G) tilansa. Tila säilyy kunnes lähde lopettaa lähetyksen tai lähteestä ei kuulla ennen tilan säilyttämiseksi käynnistetyin laskurin päättymistä. Kuva 16 esittää pakettien virtaa ylimääräisten reittien karsimisen jälkeen. /6/

Results After Pruning



Kuva 16. Multicast-pakettien virta karsimisen jälkeen. /6/

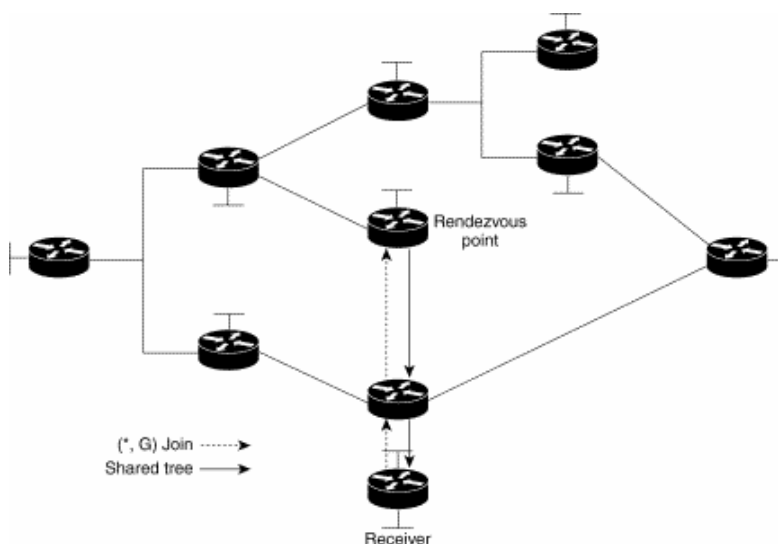
3.1.2 PIM sparse-mode

Ryhmälähetysprotokolla PIM-SM on määritelty IETF-organisaation standardissa RFC-2362. Asiakirjan tila on tällä hetkellä "experimental", vaikka PIM-SM on jo päässyt versioon 2. Dokumenttia kuitenkin pidetään *de facto* -standardina. Sparse-muoto tulee olemaan Internetissä käytettävä multicast-reititysprotokolla. PIM-SM perustuu ekspliittiseen pull-malliin, ja tällä tavalla liikenne ohjautuu oikeisiin verkon osiin. Se ei myöskään ole riippuvainen käytettävästä unicast-protokollasta. Shared Tree -jakelupuuta rakennettaessa käytetään kohtauspaiikkaa (RP). PIM-SM osaa käyttää jakelupuina Shared Tree - ja Source Tree -mallia. /20/

Kun vastaanottajia on eri puolilla verkkoa epätasaisesti, ryhmälähetysten muodoksi suositellaan PIM-DM -muodon sijasta PIM-SM -muotoa. Dense-muoto tulvii multicast-paketit säännöllisesti, kun taas Sparse-muodossa käytetään kohtauspaiikkaa, jos-

sa lähettäjä ja vastaanottaja tapaavat, eikä ylimääräistä pakettien tulvintaa tapahdu. PIM-SM -muoto skaalautuu hyvin verkkoon, jossa halutaan säästää tiedonsiirtokapasiteettia, koska paketit leviävät vain verkon osiin, joissa on halukkaita multicast-vastaanottajia. /20/

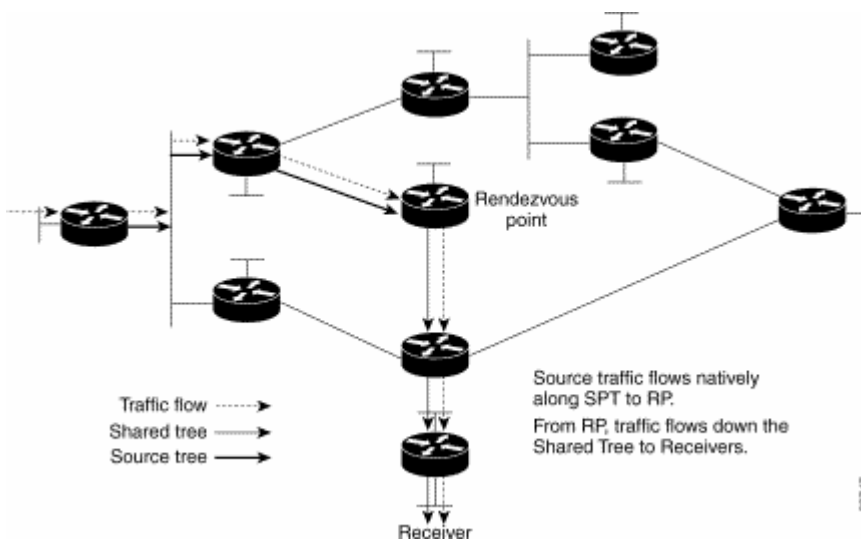
Reitittimet liittyvät ryhmään lähettämällä kohtauspaikkaan IGMP join-viestin, jossa ilmoitetaan halusta liittyä tietyn ryhmän jäseneksi. Kun viesti saapuu kohtauspaikkaan, ohjataan multicast-liikenne porttiin, josta sanoma saapui. Liittymisviestit toimivat unicast-tekniikalla. Kohtauspaikan kautta muodostettu liikenne muodostuu aluksi Shared Tree jakelupuu -mallin mukaisesti. Reitittimiin muodostuu (*,G) tila vain kun ne ovat osana jakelupuuta. Kuva 17 esittää vastaanottajan lähettämää ilmoitusta halustaan liittyä ryhmään /20/.



Kuva 17. Vastaanottaja ilmoittaa IGMP join-viestillä halustaan liittyä ryhmään. /20/

Kohtauspaikan on tiedettävä Join-viestissä ilmoitetun multicast-osoitteen lähteen sijainti. Kohtauspaikka saa tietoa multicast-lähteistä kun se rekisteröityy lähettäjän verkon kohtauspaikan kanssa. Rekisteröityminen alkaa lähettäjän lähettäessä paketin ensimmäiselle reitittimelle, ja reitittimen tehtävänä on lähettää yksittäislähetyksellä rekisteröitymisviesti kohtauspaikan kanssa ja pyytää kohtauspaikkaa rakentamaan jakelupuu takaisin. Kohtauspaikan ja lähteen välille rakentuu SPT mallinen -

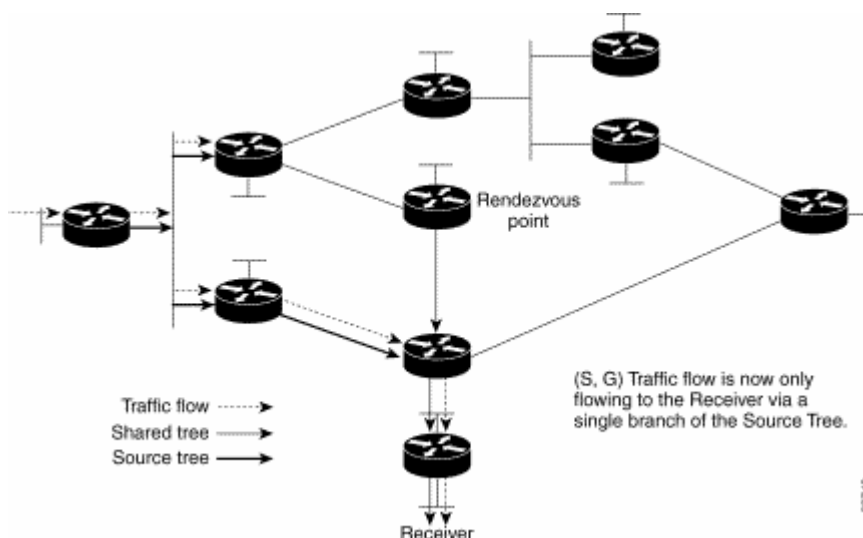
jakelupuu. Kuva 18 esittää Multicast-liikennettä kulkemassa kohtauspaikan kautta. /20/



Kuva 18. Multicast-liikenteen kulku kohtauspaikan kautta. /20/

Kohtauspaikan kautta muodostunut jakelupuu ei kuitenkaan ole välttämättä lyhin reitti kohteen ja lähteen välillä ja tämä saattaa aiheuttaa huonossa tapauksessa ylimääräistä viivettä lähetykseen. /20/

Ciscon reitittimet tukevat oletuksena jakelupuumallin vaihtoa, jossa alun perin muodostettu puu muuttuu lyhimmän reitin lähteelle omaavaksi SPT-malliksi. Jos alkupe-
räistä parempia reittejä lähteelle löytyy, vastaanottajaa lähinnä oleva reititin lähettää suoraan lähettä kohden join-viestin. Kuva 19 esittää jakelupuumallin vaihtoa. Tämä SPT switchover voidaan myös estää haluttaessa. /20/



Kuva 19. PIM-SM siirtyminen SPT jakelupuuhun. /20/

3.1.3 PIM sparse-dense-mode

Konfiguroimalla reitittimen liitännät sparse-dense -muotoon, annetaan mahdollisuus yksittäisten ryhmien toimia joko sparse- tai dense-muodossa. Käytettävän muodon valinta riippuu saatavilla olevasta kohtauspaikkatiedosta kyseistä ryhmää varten. Jos reitittimellä on tietoa tiettyä ryhmää koskevasta kohtauspaikasta, käsitellään sitä sparse-muodossa. Jos tietoa kohtauspaikasta ei ole, ryhmää käsitellään dense-muodossa. /6/

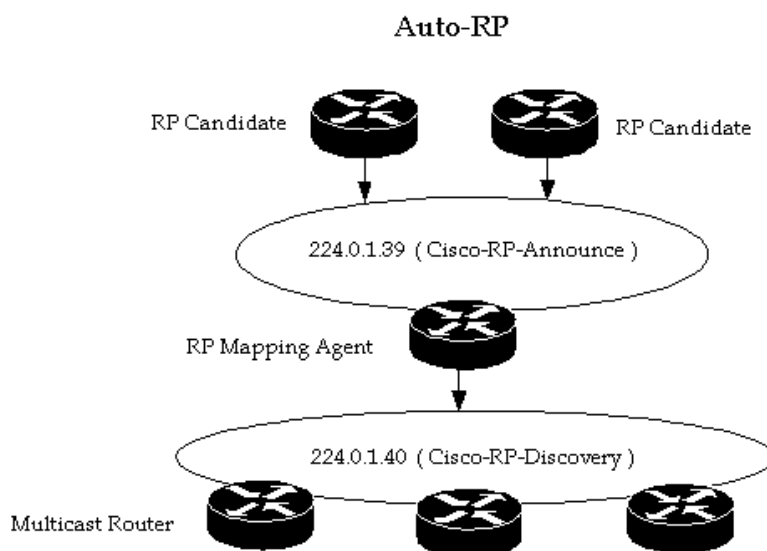
3.1.4 PIM rendezvous points - kohtauspaikat

PIM sparse -muodossa reitittimet käyttävät tiedonsiirtokaistaa tehokkaammin kuin dense-muodossa. PIM sparse -muodossa on käytössä kohtauspaikkoja jotka tietävät kaikkien multicast-ryhmien lähteiden sijainnin. PIM-SM muodostaa Shared Tree -mallisen jakelupuun, jossa liikenne välitetään kohtauspaikan, RP, kautta. Tämä jakelupuu muodostetaan käyttämällä RPF-laskentaa. Shared Tree -menetelmässä puun juuri on manualisesti konfiguroitu, AUTO-RP tai bootstrap-toiminnon avulla muodostettava piste. Tätä pisteen nimi on rendezvous point (RP).

Kun käytetään Shared Tree -jakelua, lähde lähettää multicast-paketit kohden kohtauspaikkaa. Kohtauspaikasta liikenne ohjataan puuta alaspäin vastaanottajille.

AUTO-RP

AUTO-RP -toiminto mahdollistaa automaattisen tiedonvälityksen multicast-ryhmän kohtauspaikasta verkkoon. AUTO-RP yksinkertaistaa useiden kohtauspaikkojen käyttöä eri multicast-ryhmille. Kohtauspaikka on välttämätön ja se on oltava tavoitettavissa, jos halutaan käyttää PIM-SM -ominaisuutta. AUTO-RP -toiminto antaa myös mahdollisuuden konfiguroida toissijaisia kohtauspaikkoja ryhmille, ja tämän avulla multicast-datan siirto voi jatkua, vaikka ensisijainen kohtauspaikka olisikin jostain syystä kadonnut verkosta. Kuva 20 esittää AUTO-RP -toimintoa ja tehtävään osallistuvia reitittimiä.



Kuva 20. AUTO-RP -toiminto.

AUTO-RP -toimintoon haluavat reitittimet ilmoittavat itsestään mapping agent -ominaisuudessa toimivalle reitittimelle, ja mapping agent -toiminto päättää ryhmän kohtauspaikan. Multicast-osoitetta 224.0.1.39 reitittimet käyttävät mainostaakseen itseään RP-kandinaatteina. Mapping agent -reititin kuuntelee mahdollisten kohtauspaikkojen lähettämiä ilmoituksia ja tekee näistä päätöksen ryhmän kohtauspaikasta. Ratkaistuaan kohtauspaikan mapping agent -reititin lähettää ilmoituksen osoitteeseen

224.0.1.40. Näitä viestejä kuuntelemalla muut reitittimet saavat tietoon ryhmän kohtauspaikasta. /21/

AUTO-RP -toimintaan on täytynyt asettaa ainakin yksi reititin, joka toimii kohtauspaikkana ja mapping agent -toiminnolla. Useita kohtauspaikkoja ja mapping agent -toimintoja on myös mahdollisuus luoda verkkoon toiminnan varmistamiseksi. On myös järkevää konfiguroida reitittimeen RP-mainostusten lähteeksi liitettä, joka pysyy varmasti päällä, esimerkiksi loopback-liitettä. /21/

RP-kandidaatit ilmoittavat itsestään oletuksena 60 sekunnin välein multicast-osoitteeseen 224.0.1.39, jota mapping agent -reititin kuuntelee. Kohtauspaikkana toimiva reititin ilmoittaa osoitteensa lisäksi ryhmät, joiden RP ehdokkaaksi se on konfiguroitu. Näiden perusteella valitaan suurimman IP-osoitteen omaava reititin kohtauspaikaksi jokaiselle ryhmälle erikseen. Mapping agent mainostaa muille reitittimille multicast-ryhmien kohtauspaikkoja 224.0.1.40 osoitteeseen 60 sekunnin välein. Kun konfiguroidaan PIM toimimaan sparse-dense -tilassa AUTO-RP -toiminto tulee automaattisesti aktivoitua. Mapping agent -reitittimet kuitenkin joudutaan manuaalisesti määrittämään. Myös kohtauspaikkaehdokkaiden mainostusten lähetyksen asettaminen päälle, ja lisäksi voidaan konfiguroida tarvittavat access-listat määrittelemään mille ryhmille reitittimet mainostavat itseään kohtauspaikaksi. /21/

AUTO-RP -toiminto levittää viestinsä multicast-lähetyksenä. Viesteillä valitaan kohtauspaikka PIM-SM -toiminnolle, joten lähetyksen on tapahduttava densemuodossa. Kun PIM on konfiguroitu toimimaan sparse-dense -tilassa, ei ongelmia tule ja dense-tilaa voidaan käyttää viestien lähettämiseen. Jos käytössä on pelkästään PIM-sparse -tila, on pakko asettaa reitittimet jotenkin kuuntelemaan AUTO-RP -viestejä. Ciscon reitittimissä ongelma voidaan ratkaista konfiguroimalla reitittimeen komento: ip pim autorp listener.

Bootstrap reititin

PIM versio 2 tuo mukanaan mahdollisuuden käyttää bootstrap reititintä (BSR). PIM versio 1 ja AUTO-RP -toiminta käyttäytyy samoin kuin PIM versio 2 bootstrap reititimellä. AUTO-RP -toiminto on kuitenkin Ciscon omaisuutta, kun taas BSR yleinen IETF-standardi. /21/

Bootstrap-reitittimen tehtävä on kerätä viestejä kohtaustaikkakandinaateilta ja valita RP-reititin multicast-ryhmälle. Jos BSR saa viestin kahdelta kohtaustaikkakandidaattilta, jotka mainostavat samaa multicast-ryhmää, se valitsee kohtaustaikaksi suuremman IP-osoitteen omaavan reitittimen. Kun kohtaustaikka on valittu, mainostaa bootstrap-reititin sitä muille reitittimille. /21/

Staattinen kohtaustaikka

Yksinkertaisin, mutta ei välttämättä paras, vaihtoehto on konfiguroida verkkoon staattinen kohtaustaikka. Tieto kohtaustaikasta on asetettava manuaalisesti jokaiselle reitittimelle. Staattista kohtaustaikkaa konfiguroitaessa voidaan, ainakin Ciscon reitittimissä, asettaa komento, jolla mahdollinen AUTO-RP -toiminto ryhmälle yliajaa staattisen kohtaustaikan määritelmän. /21/

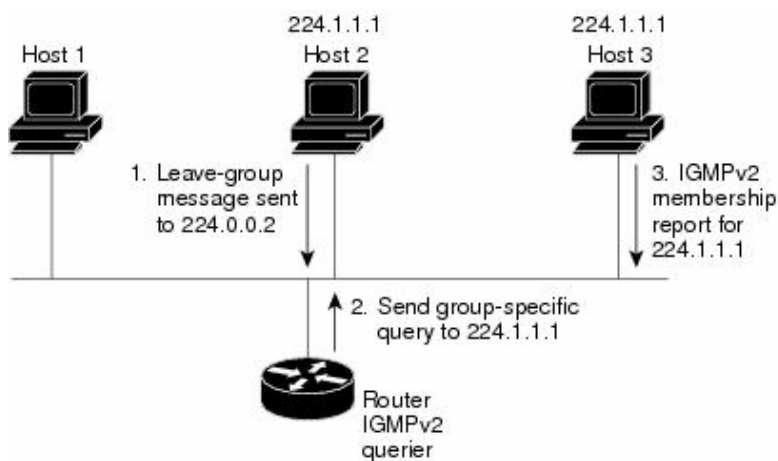
3.2 IGMP ja CGMP

IGMP on protokolla, joka toimii TCP/IP pinon verkkokerroksella ja sitä käytetään multicast-vastaanottajien ja yhdyskäytävien välillä IPv4-verkoissa. IGMP:n RFC-standardi on tällä hetkellä versionumerossa kolme. Ensimmäinen standardi, joka kuvailee IGMP:n toimintaa, on vuodelta 1986. Ensimmäisen version numero on 0, mutta IGMP versio 1 valmistui kuitenkin jo 1989. Kaikki IGMP versiot ovat taaksepäin yhteensopivia. Erot versioiden välillä koskevat lähinnä ryhmään liittymistä ja ryhmästä poistumista.

3.2.1 IGMPv2

IGMP-version kaksi suurin muutos on Leave group -sanomat, joilla voidaan pienentää ryhmästä poistumisen viivettä. Tarpeeton ja ei haluttu liikenne voidaan näin pysäyttää nopeammin kuin IGMP-versiota yksi käytettäessä. Kuva 21 esittää version kaksi mukaisen ryhmästä poistumisen. Seuraavassa IGMP-versiossa kaksi käytettävät sanomatyypit: /14/

- **Membership query**
Käytössä on kaksi erilaista membership-kyselyä, joilla on maksimivastausaika. General-tyyppisen kyselyn avulla tutkitaan, mihin ryhmiin kuuluvia jäseniä on verkossa. Specific-tyyppistä kyselyä käytetään selvittämään, onko johonkin tiettyyn ryhmään kuuluvia vastaanottajia verkossa.
- **Membership report IGMPv2**
Vastaanottaja ilmoittaa kuuluvansa ryhmään tai haluavansa liittyä. Join group ilmaisee vastaanottajan halusta liittyä ryhmään ja Report to -viestillä vastaan Membership kyselyyn.
- **Membership report IGMPv1**
Taaksepäin yhteensopivuuden vuoksi myös version 1 Membership report on mukana.
- **Leave group**
Vastaanottaja ilmoittaa poistuvansa ryhmästä. Tämä viesti on vapaaehtoinen. Jos Membership kyselyyn ei vastata aikamääreiden rajoissa, vastaanottajalle ei enää lähetetä multicast-dataa.



Kuva 21. IGMPv2 ryhmästä poistuminen. /21/

3.2.2 IGMPv3

RFC3376 vuodelta 2002 määrittelee IGMPv3-toimintaan osallistuvien laitteiden ryhmään liittymisen ja ryhmästä poistumisen. Suurin muutos versioon kaksi nähden on mahdollisuus ilmoittaa halukkuudesta liittyä kuuntelemaan vain tiettyä lähdettä tai lähteitä. Tätä kutsutaan myös Source Specific Multicast (SSM) -tekniikaksi /2/. Multicast-reititysprotokollat käyttävät tietoa siitä, mitä lähteitä vastaanottajat haluavat kuunnella, estääkseen lähetyksiä verkon osiin, joissa ei ole halukkaita vastaanottajia. IGMPv3 lähettää viestinsä multicast osoitteeseen 224.0.0.22 /13/.

Versioon kaksi verrattaessa uusia viestityyppejä on kaksi kappaletta /13/:

- Membership Query
- Version 3 Membership Report.

Kuten aiemmin todettiin on IGMPv3 taaksepäin yhteensopiva ja sisältää siten myös edellisissä versioissa käytetyt viestit /13/:

- Version 1 Membership Report
- Version 2 Membership Report
- Version 2 Leave Group.

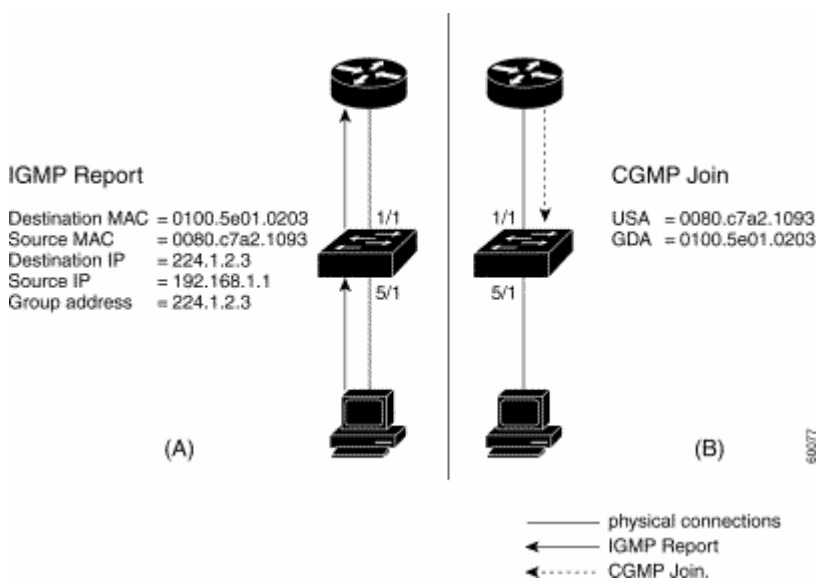
3.2.3 IGMP snooping

Kytkimet käsittelevät multicast-liikennettä broadcast-liikenteenä, ellei käytetä IGMP snooping -tekniikkaa. IGMP snooping mahdollistaa vastaanottajan ja reitittimen välisten IGMP-sanomien tutkimisen kytkimen avulla. Kytkin kuuntelee IGMP-viestejä vastaanottajan ja reitittimen välillä, viesteistä saamiensa tietojen perusteella kytkin päivittää MAC-tauluun. Kun kytkin kuulee vastaanottajan IGMP Leave -sanoman, se poistaa kyseisen MAC-taulu merkinnän. Näiden tietojen avulla kytkin osaa ohjata multicast-liikenteen oikeisiin portteihin.

3.2.4 CGMP

Ciscon kehittämä CGMP-protokolla mahdollistaa kytkimien pakettien ohjauksen vain liitäntöihin, joissa on vastaanottajia. CGMP-operaatio mahdollistaa saman toiminnon kuin IGMP snooping. Ilman CGMP tai IGMP snooping -toimintaa kytkimet käsittelevät paketteja kuten broadcast liikennettä. Kuitenkin porttien, jotka on kytketty kytkimestä reitittimeen päin, täytyy vastaanottaa kaikki multicast-paketit. CGMP on konfiguroitava sekä kytkimeen että reitittimeen.

Vastaanottajan liittyminen ryhmään alkaa IGMP membership -viestillä, jossa kohdeosoitteena on halutun ryhmän osoite. Viesti kulkee kytkimen läpi reitittimelle kuten normaalissa IGMP toiminnassa. Reititin käsittelee IGMP- viestin ja lähettää kytkimelle takaisin CGMP-viestin tunnettuun MAC-osoitteeseen. Kytkin päivittää tämän avulla CAM-taulunsa kyseiselle ryhmälle. CAM-taulu sisältää tiedot porteista, joissa on halukkaita vastaanottajia. CAM-taulun merkintöjen perusteella ohjataan liikenne jatkossa oikeisiin portteihin. Kuva 22 esittää CGMP toimintaa. /19/



Kuva 22. CGMP toiminta. /19/

3.3 DVMRP

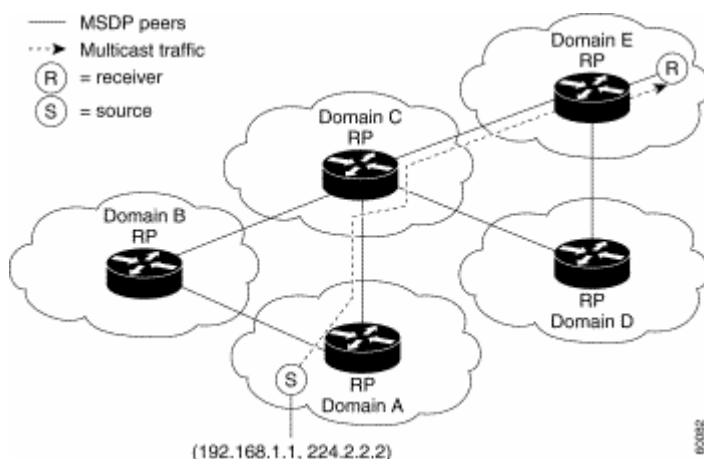
DVRMP-reititysprotokollan avulla on rakennettu ensimmäinen kokeellinen Internetissä toimiva multicast-verkko (Mbone). DVRMP-protokollaa tukevia laitteita yhdistetään muodostamalla näiden välille tunneleita, joissa multicast-liikenne pääsee kulkemaan DVRMP-protokollaan kykenemättömien verkkojen yli. DVRMP käyttää tulvintatekniikkaa ja RPF-laskentaa, kuten sen seuraaja PIM-DM. DVRMP käyttää omaa unicast-reitisyprotokollaa selvittääkseen tien multicast-lähteelle. Tämä protokolla muistuttaa RIP-reititysprotokollaa. Tulvinnan aiheuttamien skaalautuvuusongelmien vuoksi DVMRP ei ole kovinkaan tehokas protokolla Internet käyttöön. Tällä hetkellä DVRMP-tekniikka on poistumassa multicast-käytöstä. /16/

3.4 MBGP

Multiprotocol BGP lisää BGP-protokollaan mahdollisuuden kuljettaa multicast-reititystietoja. Sitä voidaan käyttää levittämään BGP:llä autonomisten järjestelmien (AS) väliset tiedot. MBGP kuljettaa mukanaan multicast-reittejä, ja näin saadaan saman protokollan avulla kuljetettua multicast-reittien lisäksi unicast-reitit. MBGP:n kuljettamien reittien avulla multicast-reititysprotokolla, esim. PIM, rakentaa multicast-jakelupuu. /17/

3.5 MSDP

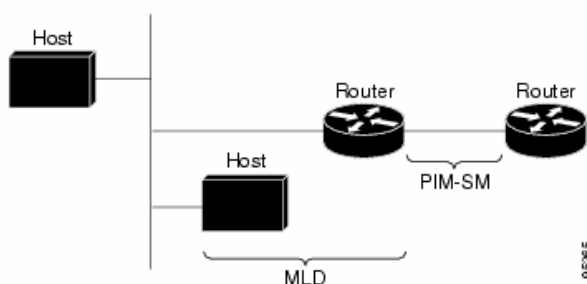
MSDP-protokollan avulla voidaan yhdistää PIM-SM domaineja yhteen. MSDP:n avulla PIM-SM domainien kohtauspikat (RP) lähettävät mainostuksia toisilleen. MSDP-reitittimellä domainissa on TCP-yhteys toisessa domainissa toimivaan MSDP-reitittimeen, ja tämän linkin avulla voidaan mainostaa domainissa olevia multicast-ryhmiä toiseen domainiin. Jos kiinnostuneita löytyy toisesta domainista, rakennetaan jakelupuu, ja datan jakamiseen käytetään PIM-SM muotoa. MSDP ei siirry enää IPv6 -käyttöön. Kuva 23 esittää MSDP:n yhdistämiä kohtaustiloja eri domaineissa. /18/



Kuva 23. MSDP eri domainien kohtaustapaikkojen välillä. /19/

3.6 Multicast ja IPv6

IPv6 tulee helpottamaan multicastin toteuttamista ja vähentämään IPv4:n kanssa olevia ongelmia esim. skaalautuvuudessa. IPv6 perusvaatimusten mukaan tuki multicastille on oletuksena päällä. Kuva 24 esittää IPv6:n käyttämät multicast-protokollat. Osoiteavaruus kasvaa ja tarve MSDP-ominaisuudelle katoaa IPv6:n myötä. IPv6 mahdollistaa yksikertaisemman mahdollisuuden eri vastaanottotasojen jakamiseen, jotka ovat paikallisverkko, alaosa, organisaatio ja globaali taso. IPv6 tuo mukanaan embedded-RP -ominaisuuden, joka helpottaa globaalia multicast-toteutusta. IGMP- ja CGMP-protokollat väistyvät IPv6:n myötä MLD-protokollan tullessa korvaajaksi. On odotettavissa että multicast SSM tulee olemaan tulevaisuudessa IPv6:n myötä eniten toteutettu. /15/



Kuva 24. IPv6:n käyttämät multicast-protokollat. /15/

3.6.1 MLD

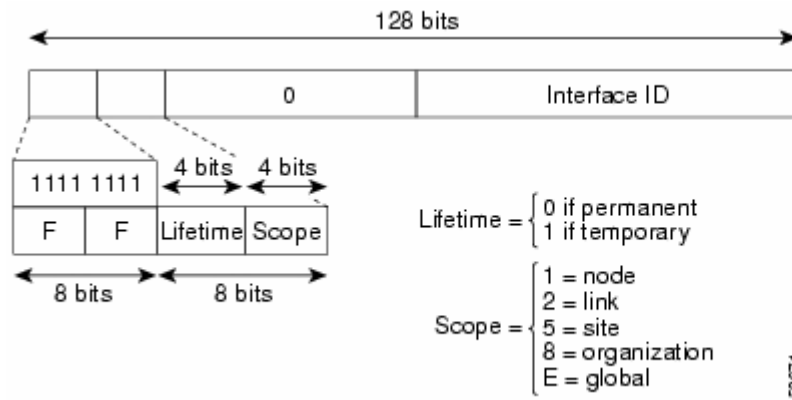
MLD on ICMPv6:n aliprotokolla, jota käytetään halukkaiden vastaanottajien ja paikallisen reitittimen välisessä signaloinnissa. RFC2710 kuvaa MLD version yksi toiminnan, version kaksi IETF-standardi on RFC3810. MLDv2 on taaksepäin yhteensopiva version yksi kanssa. Vastaanottajat, jotka käyttävät versiota yksi, pystyvät toimimaan versiota kaksi käyttävien reitittimien kanssa. Lähiverkossa voi olla myös kummallakin versiolla toimivia vastaanottajia. MLD:n group limit -ominaisuus tuo suojaa DoS hyökkäyksiä vastaan. /15/

MLDv2 käyttämät viestit ovat:

- Multicast Listener Query
- Version 2 Multicast Listener Report
- Version 1 Multicast Listener Report
- Version 1 Multicast Listener Done.

3.6.2 IPv6-osoitteistus

IPv6-osoitteen ensimmäisen oktetin bittien ollessa kaikki ykkösiä se tunnustetaan multicast-osoitteeksi. Toisen oktetin neljä ensimmäistä bittiä määrittelee reitin pysyväksi tai väliaikaiseksi. Ryhmän ollessa pysyvä saa viimeinen bitti arvon 0 ja ryhmän ollessa väliaikainen arvo on yksi. Viimeiset neljä bittiä toisesta oktetista määrittelee kuinka laajalle ryhmä leviää, esim. paikallisverkko, alaosasto, organisaatio tai globaali. Periaatteessa multicast-ryhmän osoitteeksi jää 112 bittiä, mutta RFC2373 suosittelee tapaa jolla 32 vähiten merkitsevää bittiä siirretään multicast MAC -osoitteeseen. Loput ryhmän osoittamiseen varatuista biteistä saa arvon nolla. Käyttämällä tätä tekniikkaa jokainen ryhmä saa Ethernetissä uniikin osoitteen, vertaa IPv4 32:1 päällekkäisyys. Kuva 25 esittää multicast-osoitteen rakenteen IPv6-osoituksessa. /15/



Kuva 25. IPv6 multicast-osoitteen rakenne. /15/

IPv6-osoitteita on myös varattu tiettyihin käyttötarkoituksiin kuten käytettäessä versiota IPv4. Esimerkiksi IANA:n määräämä osoite FF02:0:0:0:0:0:D, tavoittaa kaikki PIM-reitittimet link-local alueella. Kaikki varatut osoitteet löytyvät IANA:n sivuilta osoitteesta <http://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses>.

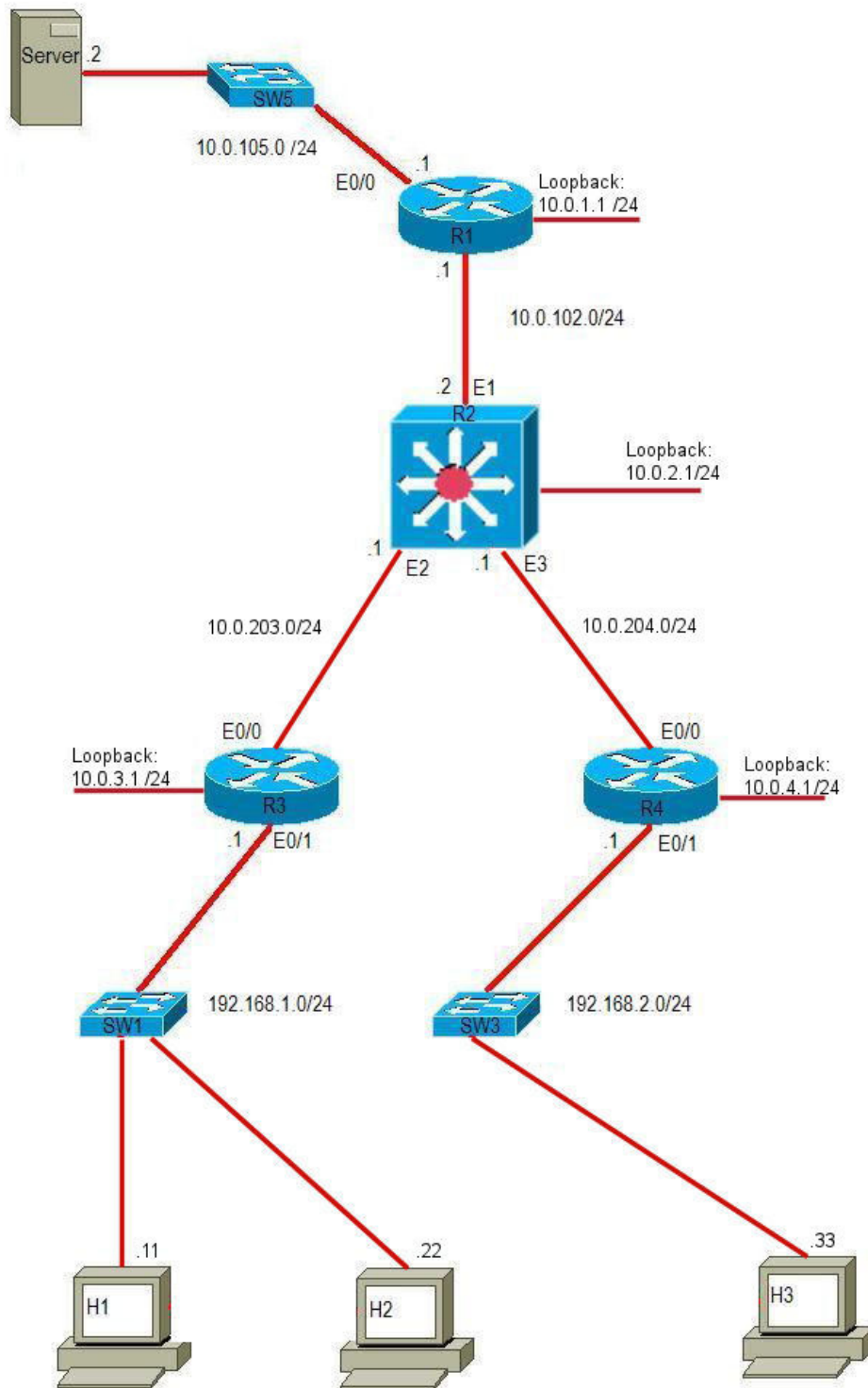
4 TESTIYMPÄRISTÖ

Testiverkon tarkoituksena on kuvata ryhmälähetyksen toimintaa Internetin kaltaisessa ympäristössä. Koska kuvan ja äänen siirto on yksi tärkeimpiä osa-alueita, missä ryhmälähetyksen tuomat edut pääsevät esiin, siirretään testiverkossa liikkuvaa kuvaa. Ryhmälähetyksen konfiguroiminen verkon aktiivilaitteisiin on melko yksinkertainen toimenpide. Vaadittavat asetukset verkon toimintakuntoon saattamiseksi käydään läpi luvussa 4.1. Luvussa 4.2 keskitytään tarkastelemaan ryhmälähetyksen toimintaa.

Testiverkossa käytetään ryhmälähetystyyppiä, jossa yksi asema toimii palvelimen ominaisuudessa ja lähettää kahdelle tai useammalle vastaanottajalle. Ryhmälähetyksen reititykseen käytetään PIM sparse-dense -muotoa, joka tulee olemaan käytetyin tekniikka multicast-reitityksessä. Sekä lähetykseen, että vastaanottoon käytetään vapaan lähdekoodin VideoLAN-VLC mediasoitinta. Käytettävä multicast –ryhmän IP-osoite on 238.32.32.32, joka kuuluu globaaleihin multicast-osoitteisiin. Kuva 26 esittää testiverkon topologian. Testiverkon aktiivilaitteet ovat pääosin Cisco Systems yhtiön valmistamia. Taulukko 2 esittää kaikki käytetyt laitteet sekä niiden roolit testiverkossa.

Taulukko 2. Testiverkon aktiivilaitteet ja niiden roolit.

Tunnus	Laite	Rooli
R1	Cisco 2800 series	Reititin
R2	Cisco 3650 PoE-24	Reititin
R3	Cisco 2800 series	Reititin
R4	Cisco 2800 series	Reititin
S1	Catalyst 2950 series	Kytkin
S3	Catalyst 2950 series	Kytkin
S5	Catalyst 2950 series	Kytkin
H1	PC	Vastaanottaja
H2	PC	Vastaanottaja
H3	PC	Vastaanottaja
SERVER	PC	Multicast lähde



Kuva 26. Testiverkon topologia.

4.1 Verkon konfigurointi

Toteutetaan kuvan 26 mukainen verkko. Asetetaan reitittimien, palvelimen sekä vastaanottajien IP-osoitteet kuvan mukaisesti. Reititystietojen välittämiseen verkossa käytetään OSPF-reititysprotokollaa. Ryhmälähetyksen reititykseen testiverkossa käytetään PIM-tekniikkaa, joka on protokollariippumaton, eikä yksittäislähetykseen käytettävän reititysprotokollan valinnalla ole siksi tässä tapauksessa suurta merkitystä. Tarkempi OSPF-konfiguraatio käytettäviin reitittämiin löytyy liitteestä 3, joka sisältää myös laitteiden lopulliset konfiguraatiot valmiissa testiverkossa. Osoitteiden ja OSPF reititysprotokollan konfiguroinnin jälkeen todetaan, että reititys toimii ja yhteys palvelimelta vastaanottajille on kunnossa.

4.1.1 IP Multicast-reitityksen aktivoiminen reitittimissä.

Multicast-toiminto on aktivoitava kaikissa reitittimissä manuaalisesti. Toiminnon kytkeminen päälle mahdollistaa multicast-pakettien jakelun. Esimerkiksi reitittimen R1 IP Multicast-reitityksen aktivoiminen global configuration -tilassa tapahtuu seuraavalla komennolla:

```
R1(config)#ip multicast routing.
```

4.1.2 Multicast-liikenteen reititys

Ryhmälähetysliikenteen reititystä varten konfiguroidaan PIM toimimaan sparse-dense -muodossa, mikä antaa mahdollisuuden eri ryhmille toimia tilanteen mukaan joko sparse- tai dense-muodossa. Cisco ei suosittele dense-muotoa käytettäväksi verkon resursseja tuhlaavan levitys/karsinta menetelmän vuoksi. Sparse-dense -muoto antaa kuitenkin mahdollisuuden käyttää dense-muotoa, jos sparse-muodon luominen epäonnistuu. Tämä mahdollistaa multicast-lähetyksen vastaanoton, vaikka kohtauspaikka olisi kadonnut. Komento *ip pim sparse-dense-mode* asetetaan reitittimien kaikkiin liitäntöihin, jotka osallistuvat reititysprosessiin, eli ethernet-liitäntöjen lisäksi

si myös loopback-liitäntöihin. Esimerkkinä konfiguroidaan reitittimen R1 loopback-liitäntä toimimaan sparse-dense -tilassa.

```
R1(config)#interface Loopback1
R1(config-if)# ip pim sparse-dense-mode.
```

4.1.3 Rendezvous point, RP

Mainostetaan muille reitittimille RP-kandidaateiksi reitittimen R2 loopback-liitäntää ja reitittimen R1 loopback-liitäntää. PIM sparse-muodon käyttäessä Auto-RP -toimintoa, vaaditaan vähintään yhden reitittimen toimivan mapping-agenttina. Mapping-agentti lähettää RP-to-group mapping sanomia osoitteeseen 224.0.1.40, jota muut AUTO-RP -toimintoa käyttävät reitittimet kuuntelevat ja saavat tämän avulla tiedon ryhmän kohtauspaikasta.

Seuraavassa luodaan tiedoitus kohtauspisteestä reitittimien R1 ja R2 loopback-liitäntöihin. Scope määrittelee time-to-live ajan, jonka jälkeen tiedoitus tuhoataan. Määre group-list 1 liittää komennon access-listaan.

```
R1(config)#ip pim send-rp-announce Loopback1 scope 3 group-list 1
R2(config)#ip pim send-rp-announce Loopback1 scope 3 group-list 1.
```

Seuraavan komennon avulla luodaan acces-lista 1, jolla sallitaan käytettävä multi-cast-osoite ryhmälle 238.32.32.32.

```
R1(config)#access-list 1 permit 238.32.32.32
R2(config)#access-list 1 permit 238.32.32.32.
```

Seuraavien komentojen avulla määritetään mapping agent toiminto R2 reitittimen loopback liitäntään sekä R1 reitittimen loopback liitäntään.

```
R2(config)#ip pim send-rp-discovery Loopback1 scope 3
R1(config)#ip pim send-rp-discovery Loopback1 scope 3.
```

4.1.4 Verkon kytkimet ja IGMP snooping

Ilman IGMP snooping -toimintoa multicast liikennettä reititettäisiin tasolla 2 kuten broadcast-liikennettä, jolloin verkkoon tulisi ylimääräistä kuormitusta. IGMP snooping -toiminnon avulla kytkin tutkii paketteja ja ohjaa ne vain portteihin joissa tilaajia on. Ciscon Catalyst sarjan kytkimissä on IGMP snooping oletuksena päällä.

4.1.5 Lähetyksen mainostus verkkoon

Lähetykseen käytettävän ohjelmiston avulla voidaan luoda verkkoon yksinkertainen mainostus, jonka avulla vastaanottaja saa tiedon käynnissä olevista lähetyksistä. VLC-ohjelman avulla luotu mainostus käyttää hyödykseen SAP-protokollaa. Mainostuksen luominen näkyy liitteen 1 yhteydessä. VLC:n kehittäjiltä on saatavana myös miniSAPserver-ohjelmisto, jonka avulla voidaan luoda ja lähettää täydellisiä SAP-mainostuksia. MiniSAPserver-ohjelmistosta ei ole saatavilla windows-versiota, mutta Unix-pohjaisen ohjelmiston asentaminen ja käyttäminen on erittäin helppoa. Testiverkossa käytetään kuitenkin VLC-ohjelman avulla luotavaa yksinkertaista mainostusta.

Testiverkon reitittimet on konfiguroitava kuuntelemaan SAP-mainostuksia. Mainostuksien kuunteleminen on asetettava jokaisen reitittimen jokaiseen liitännään, joka osallistuu mainostuksen jakeluun. Seuraavassa esimerkkinä komento, jolla asetetaan reitittimen R1 liitäntä E0/1 kuuntelemaan SAP-mainostuksia:

```
R1#configure terminal
R1(config)#interface fastethernet 0/1
R1(config-if)#ip sap listen.
```

4.1.6 SPT swithcover

PIM-SM swithcover on ominaisuus, jonka avulla kohtaupaikan kautta muodostettu Shared Tree jakelupuu muuttuu Shortest Path Tree -malliseksi. Oletuksena swithcover

ver käynnistyy Ciscon reitittimissä välittömästi, kun ensimmäisen paketti saapuu Shared Tree -mallista puuta käyttäen. Switchover tapahtuu vaikka puu olisi jo Shared Tree -mallisenakin lyhintä reittiä käyttävä. Seuraavaa osiota varten SPT switchover poistetaan käytöstä PIM-sanomien tulkinna helpottamiseksi. Seuraavam esimerkin komento asetettuna kaikkiin reitittimiin poistaa edellä mainitun toiminnon pois käytöstä:

```
RX(config)#ip pim spt-threshold infinity.
```

4.1.7 Multicast-lähde

Testiverkossa oleva serveri toimii multicast-lähteenä. Serveri lähettää ilmaisen VLC-ohjelman avulla videokuvaa ryhmään 238.32.32.32. Ryhmän 238.32.32.32 multicast-osoitteelle määriteltiin Auto-RP, jolloin konfiguroitu PIM toimii sparse-muodossa. Multicast streamin luominen VLC-soittimella löytyy liitteestä 1. Laitteistovaatimukset serverille määräytyvät lähetettävän streamin mukaan. Karkeasti arvioituna mpeg-tiedoston streamaukselle riittää 300MHz kellotaajuudella toimiva suoritin. HD-tasoinen lähetys vaatii jo huomattavasti enemmän suorittimelta. Tuetut käyttöjärjestelmät löytyvät VideoLAN projektin Internet-sivuilta.

4.1.8 Lähetyksen vastaanotto

Lähetyksen vastaanotto tapahtuu VLC-ohjelman avulla. Lähetystä vastaanotetaan verkosta löytyvillä työasemilla H1 ja H3. Ohjeet multicast-lähteen vastaanottoon VLC-soittimen avulla löytyy liitteestä 2. Vastaanottoon käytettävien PC-tietokoneiden laitteistovaatimuksena on vastaanotettavasta lähetyksestä riippuen vähintään 300 MHz:n taajuudella toimiva suoritin. Tuetut käyttöjärjestelmät löytyvät VideoLAN-projektin Internet-sivuilta.

Kun testiverkko konfiguroidaan edellä mainituilla ohjeilla, niin tässä vaiheessa pitäisi verkossa olla käynnissä multicast-lähetys ja sillä kaksi vastaanottajaa.

4.2 Tulokset sekä toiminnan tarkastelu

Tässä osiossa tutkitaan ryhmälähetyksen toimintaa, kun testiverkko on konfiguroitu osan 4.1 ohjeiden mukaisesti. Tutkitaan myös PIM-SM -muodon käyttämää AUTO-RP -toimintaa, kun kohtausta paikka siirtyy reitittimeltä toiselle. Toteutetaan PIM-reitityksen vaihtuminen sparse-muodosta dense-muotoon samalla tarkasteltaessa tapahtumien aiheuttamaa vaikutusta verkossa. Tarkastellaan PIM-SM -tapahtumia, kun lähde aloittaa lähetyksen tiettyyn ryhmään, johon liittyy myös vastaanottaja. PIM-tapahtumien tarkastelun yhteydessä käydään läpi säännöllisesti lähetettävät sanomat kohtausta paikkojen sijainnista. Lopussa tarkastellaan Ciscon reitittimien komentoja ja niiden tulostamaa tietoa, joiden avulla voidaan tutkia ryhmälähetykseen liittyviä tapahtumia.

4.2.1 AUTO-RP

Tarkastellaan AUTO-RP:n toimintaa testiverkossa. Tutkitaan vaikutuksia kohtausta paikan siirtyessä reitittimeltä toiselle sekä kohtausta paikan katoamisen vaikutuksia käytettäessä sparse-dense -muotoa. Tehtyjen konfiguraatioiden avulla reitittimien tulisi selvittää yhden tai molempien kohtausta paikkojen katoamisista ja jatkaa multicast-lähetystä. Kandidaatit kohtausta paikoiksi testiryhmälle 238.32.32.32 luotiin reitittimille R1 ja R2. Tässä vaiheessa käynnistetään lähetys edellä mainittuun ryhmään ja lisätään verkon työasemat H1 ja H2 vastaanottajiksi, ellei näitä ole jo tehty.

Kun lähetys on käynnissä ja vastaanottajat ovat liittyneet ryhmään, aloitetaan AUTO-RP -toiminnan tutkiminen tarkastamalla nykyisen kohtausta paikan tiedot. Annettaessa reitittimellä R2 komento *show ip pim rp* saadaan selville reitittimen R2 loopback-liitännän toimivan tällä hetkellä kohtausta paikkana:

```
R2#sh ip pim rp
Group: 238.32.32.32, RP: 10.0.2.1, v2, v1, next RP-reachable in
00:01:29.
```

Tarkistetaan multicast-reititystaulusta ryhmän 238.32.32.32 tila komennolla *show ip mroute 238.32.32.32* reitittimeltä R2. Pelkällä *show ip mroute* -komennolla tulostuu myös muiden mahdollisten ryhmien tila, mutta tässä tapauksessa kiinnostaa vain edellä mainittu ryhmä. Tällä komennolla selviää jakelupuun malli, tulevaan/lähtevään dataan osallistuvat portit sekä Uptime/Expires laskurit.

```
R2#sh ip mroute 238.32.32.32
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,
      X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Adver-
tisement,
      U - URD, I - Received Source Specific Host Report, Z - Multicast
Tunnel
      Y - Joined MDT-data group, y - Sending to MDT-data group
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 238.32.32.32), 00:08:15/00:03:22, RP 10.0.2.1, flags: S
Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
Outgoing interface list:
  FastEthernet0/2, Forward/Sparse-Dense, 00:04:03/00:03:22
  FastEthernet0/3, Forward/Sparse-Dense, 00:04:13/00:03:12

(10.0.105.2, 238.32.32.32), 00:08:15/00:03:29, flags: T
Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 10.0.102.1
Outgoing interface list:
  FastEthernet0/2, Forward/Sparse-Dense, 00:04:03/00:03:22, H
  FastEthernet0/3, Forward/Sparse-Dense, 00:04:14/00:03:11, H
```

Kohtauspaikan vaihtuminen aiheutetaan sammuttamalla R2 reitittimen loopback-liitäntä, joka tällä hetkellä toimii kohtauspaikkana ryhmälle 238.32.32.32. Liitäntä voidaan sammuttaa seuraavalla komennolla reitittimessä R2:

```
R2#configure terminal
R2(config)#interface loopback 1
R2(config-if)#shutdown.
```

Kohtauspaikkana toimivan liitännän sulkemisen jälkeen siirrytään reitittimelle R1 tutkimaan tapahtumia. Annetessa komento *sh ip pim rp* saadaan selville, että kohtauspaikkana toimii vielä reitittimen R2 loopback-liitântä. Kun kohtauspaikan expires laskuri pääsee nolnaan, siirtyy R1:n loopback-liitântä kohtauspaikaksi. Kohtauspaikan siirtyminen tapahtuu, koska R1 ja R2 määriteltiin aiemmin RP-kandidaateiksi ryhmälle 238.32.32.32. AUTO-RP on toiminut, jos kohtauspaikka siirtyy R1 loopback-liitântään. Vastaanottajien samaa lähetys jatkuu, kun uusi kohtauspaikka on löytynyt.

```
R1#show ip pim rp
Group: 238.32.32.32, RP: 10.0.2.1, v2, uptime 00:02:31, expires
00:00:26
```

```
R1#show ip pim rp
Group: 238.32.32.32, RP: 10.0.1.1, v2, v1, next RP-reachable in
00:01:27.
```

Kun kohtauspaikan vaihtuminen reitittimen R1 loopback-liitântään on tapahtunut, suljetaan myös R1:n loopback, jolloin viimeinenkin verkossa oleva kohtauspaikka ryhmälle 238.32.32.32 katoaa PIM-SM käytöstä. Liitântä suljetaan seuraavalla komennolla:

```
R1(config)#int loopback 1
R1(config-if)#shutdown.
```

Seuraavaksi tarkastetaan reitittimen R1 tiedot kohtauspaikasta ryhmälle 238.32.32.32. Merkinnästä (*,238.32.32.32) selviää, että PIM toimii vielä sparse-muodossa. Kohtauspaikan expires-laskuri umpeutuu tässä esimerkissä 2min 38s päästä.

```
R1#show ip mroute 238.32.32.32
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,
X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Adver-
tisement,
```

*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*
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

```

(*, 238.32.32.32), 00:07:33/00:02:38, RP 10.0.1.1, flags: S
  Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/0, Forward/Sparse-Dense, 00:00:51/00:02:38
(10.0.105.2, 238.32.32.32), 00:06:06/00:03:21, flags: T
  Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/0, Forward/Sparse-Dense, 00:03:50/00:03:21.
  
```

Kun expires-laskuri umpeutuu, ryhmän tilaa merkitsevä lippu vaihtuu S (sparse) lipusta D (dense) lipuksi ja stopped teksti ilmestyy expires-laskurin tilalle. Toisin sanottuna kohtaupaikkojen kadottua ryhmälle 238.32.32.32 PIM siirtyy käyttämään dense-muotoa sparse-muodon sijasta. Seuraavassa R1:n ryhmälähetysreititystaulu, kun lähetys on siirtynyt dense-tilaan.

```

R1#show ip mroute 238.32.32.32
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,
  X - Proxy Join Timer Running, A - Candidate for MSDP Adver-
tisement,
  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
Outgoing interface flags: H - Hardware switched, A - Assert winner
Timers: Uptime/Expires
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode

(*, 238.32.32.32), 00:00:10/stopped, RP 0.0.0.0, flags: D
  Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1, Forward/Sparse-Dense, 00:00:10/00:00:00
(10.0.105.2, 238.32.32.32), 00:00:10/00:02:58, flags: T
  Incoming interface: FastEthernet0/0, RPF nbr 0.0.0.0
  Outgoing interface list:
    FastEthernet0/1, Forward/Sparse-Dense, 00:00:10/00:00:00
  
```

Seuraavaa osiota varten suljetut loopback-liitännät on konfiguroitava taas toimintaan. Tämän jälkeen PIM siirtyy jälleen käyttämään sparse-muotoa. Loopback-liitäntöjen ylösnostaminen tapahtuu seuraavilla komennoilla:

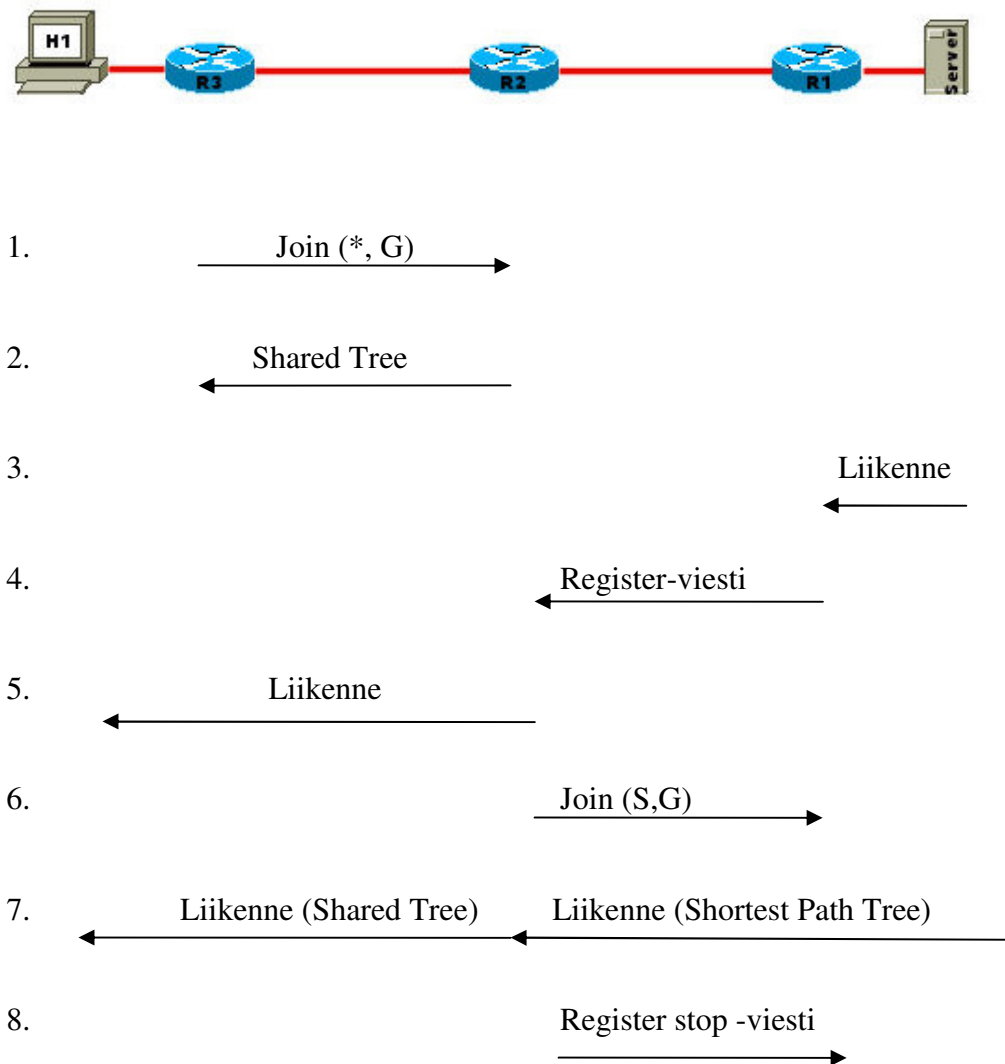
```
R2(config)#int loopback 1  
R2(config-if)#no shutdown
```

```
R1(config)#int loopback 1  
R1(config-if)#no shutdown
```

4.2.2 PIM-SM tapahtumien tarkastelua

Tarkoituksena on tarkastella PIM-SM -muodossa toimivan ryhmälähetysten tapahtumia reitittimien välillä. Tapahtumia tutkitaan hetkellä, jolloin ryhmään lähetävä palvelin alkaa tuottaa liikennettä ja työasema H1 liittyy vastaanottajaksi. Verkossa ei ole tapahtumien hetkelle muita vastaanottajia. PIM-SM -muodossa käytettävien tapahtumien tarkastelu käynnistetään reitittimissä *debug ip pim* komennolla. Komenton tuottaman tulostuksen avulla tutkitaan tapahtumia reitittimillä R1, R2 ja R3. Tässä tapauksessa testiverkon reitittimellä R4 ei ole multicast-liikennettä, koska sen alapuolella ei ole ryhmään 238.32.32.32 kuuluvia vastaanottajia. Reititin R2 toimii kohtauspaikkana ryhmälle 238.32.32.32. PIM-SM switchover on poistettu käytöstä sanomien tulokinnan helpottamiseksi. Kuva 27 esittää tapahtumien kulun, kun R3 vastaanottaa työasemalta H1 ilmoituksen halusta liittyä ryhmän 238.32.32.32 jäseneksi ja palvelin aloittaa lähetysten kyseiseen ryhmään. PIM-viestikaavion jälkeen on esitetty tarkemmat selostukset tapahtumista sekä debugin tuottamat tulostukset reitittimistä.

Vastaanottajan liittyminen sekä lähetyksen käynnistyminen



Kuva 27. PIM-viestikaavio.

1. Reititin R3 on vastaanottanut työasemalta sanoman, jossa se kertoo haluavansa liittyä ryhmään 238.32.32.32. Reititin lisää (*, 238.32.32.32) merkinnän ryhmälähetysreititystauluunsa.

R3# Check RP 10.0.2.1 into the (, 238.32.32.32) entry.*

Tämän jälkeen R3 rakentaa IGMP Join -viestin ja lähettää sen reitittimelle, jonka se tietää toimivan ryhmän 238.32.32.32 kohtauspaikkana (R2). Seuraavassa esimerkkinä rakennettu Join -viesti:

```
R3# Building Triggered Join/Prune message for 238.32.32.32
R3# Insert (*,238.32.32.32) join in nbr 10.0.203.1's queue
R3# Building Join/Prune packet for nbr 10.0.203.1
R3# Adding v2 (10.0.2.1/32, 238.32.32.32), WC-bit, RPT-bit, S-bit Join
R3# Send v2 join/prune to 10.0.203.1 (FastEthernet0/0).
```

2. Join -viestin avulla muodostuu Shared Tree -jakelupuu reitittimen R3 ja kohtauspaikan välille. Tässä vaiheessa lähetyksen olisi mahdollista virrata kohtauspaikasta työasemalle H1, joka toimii vastaanottajana.

```
R2# Add FastEthernet0/2/10.0.203.2 to (*, 238.32.32.32), Forward
state, by PIM *G Join.
```

3. Kun palvelin aloittaa lähetyksen R1 saa tiedon tulevasta lähetyksestä ja lisää (*, 238.32.32.32) merkinnän reititystauluunsa.

```
R1# Check RP 10.0.2.1 into the (*, 238.32.32.32) entry.
```

4. Kun palvelin on aloittanut lähetyksen ryhmään 238.32.32.32, rekisteröityy reititin R1 yksittäislähetyksen avulla kyseisen ryhmän kohtauspaikan kanssa. Rekisteröintiviestiin on kapseloitu ryhmälähetysdataa. Viestissä pyydetään kohtauspaikkaa rakentamaan puu takaisin reitittimelle R1.

```
R1# Send v2 Register to 10.0.2.1 for 10.0.105.2, group 238.32.32.32.
```

5. Kun rekisteröintiviesti reitittimeltä R1 saapuu, kapseloitu data puretaan ja ohjataan vastaanottajalle. Tässä vaiheessa paketit kulkevat lähteeltä kohtauspaikkaan kapseloituna ja kohtauspaikalta vastaanottajalle Shared Tree -mallista puuta pitkin.

6. Rekisteröintiviestin pyynnöstä R2 rakentaa SPT-mallisen puun lähettäjän ja kohtauspaikan välille.
7. Multicast-liikenne kulkee rakennettuja jakelupuita myöden lähteen ja kohteen välillä.
8. Kun liikenne virtaa muodostettuja puita käyttäen lähteen ja kohteen välillä R2 lähettää register stop -viestejä, joiden avulla ilmoitetaan datan virtaavan muodostettujen jakelupuiden kautta ja Register-viestit voidaan lopettaa.

R2# Send v2 Register-Stop to 10.0.102.1 for 10.0.105.2, group 238.32.32.32.

Säännölliset viestit kohtauspaikoista

Reitittimet saavat säännöllisesti tiedon tavoitettavissa olevista kohtauspaikoista multicast-ryhmille ja samalla päivittävät tiedon voimassaoloajan laskurin. Tämä tapahtuma toistuu oletuksena minuutin välein. Jos laskuri pääsee nolnaan, alkaa uuden kohtauspaikan etsiminen. Seuraavassa on esimerkki reitittimeltä R3 *debug ip pim* -komennon avulla tulostetusta viestistä, joka sisältää tiedon kohtauspaikasta.

*R3# Received RP-Reachable on FastEthernet0/0 from 10.0.2.1
R3# Received RP-Reachable on FastEthernet0/0 from 10.0.2.1
for group 238.32.32.32
R3# Update RP expiration timer (270 sec) for 238.32.32.32.*

Työaseman poistuminen ryhmästä

Seuraavassa esimerkissä kuvataan työaseman poistumisen aiheuttamat tapahtumat verkossa. Kun työasema H1 ei enää halua vastaanottaa multicast-lähetystä ryhmästä 238.32.32.32 ja reititin R3 saa siitä tiedon IGMP-viestillä, lähettää reititin viestin kohtauspaikkaan reitin karsimista (prune) varten. Seuraavassa on esimerkki R3:n rakentamasta prune-viestistä, joka lähetetään kohtauspaikkaan.

*R3#Insert (10.0.2.1,238.32.32.32) prune in nbr 10.0.203.1's queue
R3#Building Join/Prune packet for nbr 10.0.203.1*

*R3#PIM(0): Adding v2 (10.0.2.1/32, 238.32.32.32), WC-bit, RPT-bit, S-bit Prune
R3#Send v2 join/prune to 10.0.203.1 (FastEthernet0/0).*

Tarkastellaan seuraavaksi työaseman H1 poistumista ryhmästä 238.32.32.32 reitittimen R2 kannalta. R2 vastaanottaa R3:n lähettämän prune-viestin ja karsii tarpeettomat reitit pois reititystaulustaan.

*Received v2 Join/Prune on FastEthernet0/2 from 10.0.203.2, to us
Prune-list: (*, 238.32.32.32) RP 10.0.2.1
Prune FastEthernet0/2/238.32.32.32 from (*, 238.32.32.32) - deleted
Prune FastEthernet0/2/238.32.32.32 from (10.0.105.2/32, 238.32.32.32).*

Tämän jälkeen R2 rakentaa ja lähettää prune-viestin reitittimelle R1, koska ryhmässä 238.32.32.32 ei ole enää vastaanottajia. Kyseisen viestin saatuaan R1 lopettaa ryhmälähettyksen.

*Insert (10.0.105.2,238.32.32.32) prune in nbr 10.0.102.1's queue - deleted
Building Join/Prune packet for nbr 10.0.102.1
Adding v2 (10.0.105.2/32, 238.32.32.32), S-bit Prune
Send v2 join/prune to 10.0.102.1 (FastEthernet0/1).*

4.2.3 Ryhmälähetyksen tarkastelua

Tässä osiossa esitellään tärkeimpiä ryhmälähetyksen toiminnan tarkasteluun liittyviä komentoja, sekä niiden tuottamia tulostuksia Ciscon reitittimissä. Näiden avulla voidaan tutkia mahdollisia ongelmia ja virhetilanteita ryhmälähetykseen liittyvissä toiminnoissa.

Show ip mroute

Tämän komennon avulla saadaan tulostettua multicast-reititystaulu. Tulostus antaa tiedot kaikista taulusta löytyvistä ryhmistä. Tietojen avulla saadaan selville (S,G)- ja (*,G) -tilojen merkinnät, portit, joista liikenne saapuu sekä portit, joissa on vastaanottajia. Seuraavassa esitetään esimerkki, joka sisältää vain ryhmää 238.32.32.32 koskevia merkintöjä, kun lähetys ollut hetken aikaa käynnissä ja vastaanottajina ovat työasemat H1 ja H2 verkon eri haaroista.

```
R2#show ip mroute 238.32.32.32
```

```
IP Multicast Routing Table
```

```
Flags:
```

```
D - Dense, S - Sparse, 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, X - Proxy Join Timer Running
```

```
A - Advertised via MSDP, U - URD,
```

```
I - Received Source Specific Host Report
```

```
Outgoing interface flags: H - Hardware switched
```

```
Timers: Uptime/Expires
```

```
Interface state: Interface, Next-Hop or VCD, State/Mode
```

```
(*, 238.32.32.32), 01:17:27/stopped, RP 10.0.2.1, flags: S
```

```
Incoming interface: Null, RPF nbr 0.0.0.0
```

```
Outgoing interface list:
```

```
FastEthernet0/2, Forward/Sparse-Dense, 00:09:39/00:02:40
```

```
FastEthernet0/3, Forward/Sparse-Dense, 00:15:44/00:02:33
```

```
(10.0.105.2, 238.32.32.32), 00:22:45/00:02:58, flags: T
```

```
Incoming interface: FastEthernet0/1, RPF nbr 10.0.102.1
```

```
Outgoing interface list:
```

```
FastEthernet0/2, Forward/Sparse-Dense, 00:09:39/00:02:10, H
```

```
FastEthernet0/3, Forward/Sparse-Dense, 00:15:44/00:02:03, H.
```

Show ip mroute active

Tämä komento antaa tiedot aktiivisista lähteistä. Seuraava esimerkki on tulostettu reitittimeltä R2 kun lähteenä toimii serveri, jonka IP-osoite on 10.0.105.2. Lähetystä mainostetaan tässä tapauksessa nimellä *MCTesti*.

```
R2#sh ip mroute active
Active IP Multicast Sources - sending >= 4 kbps

Group: 238.32.32.32, MCTesti
Source: 10.0.105.2 (?)
Rate: 19 pps/107 kbps(1sec), 107 kbps(last 10 secs), 358 kbps(lifeavg)
```

Show ip pim rp mapping

Tämän komennon avulla voidaan todentaa mapping -agentin toiminta ja tarkastaa voimassaololaskurit edellyttäen, että AUTO-RP -toiminto on konfiguroitu.

```
R3#sh ip pim rp mapping
PIM Group-to-RP Mappings

Group(s) 238.32.32.32/32
RP 10.0.2.1 (?), v2v1
Info source: 10.0.1.1 (?), elected via Auto-RP
Uptime: 01:22:58, expires: 00:02:25.
```

Show ip rp

Tämän komennon avulla voidaan tarkastaa ryhmien kohtaupaikat, jos niitä on konfiguroitu ja tavoitettavissa. Seuraavassa esimerkissä on tulostus reitittimeltä R3. Esimerkistä nähdään, että ryhmän 238.32.32.32 kohtaupaikkana toimii R2:n loopback-liitäntä. Tiedon voimassaoloajan määrittelee expires-laskuri.

```
R3#show ip pim rp
Group: 238.32.32.32, RP: 10.0.2.1, v2, v1, uptime 01:27:01, expires
00:02:19.
```

Show ip igmp groups

Tämän komennon avulla nähdään suoraan reitittimeen liittyneet sekä IGMP:n avulla opitut ryhmät. Näiden tietojen avulla voidaan varmistaa, että vastaanottaja on todellakin liittynyt oikeaan ryhmään. Last reporter -sarake näyttää viimeisen aseman, joka on ilmoittanut kuuluvansa ryhmään. Seuraavassa on esimerkki komennon tulostuksesta reitittimeltä R3, kun työasema H1 (IP: 192.168.1.7) on vastaanottajana ryhmälle 238.32.32.32:

```
R3#sh ip igmp groups
IGMP Connected Group Membership
```

Group Address	Interface	Uptime	Expires	Last Reporter
238.32.32.32	FastEthernet0/1	00:11:48	00:02:46	192.168.1.7
224.0.1.39	FastEthernet0/0	01:58:22	00:02:24	10.0.203.1
224.0.1.40	Loopback1	02:03:50	00:02:42	10.0.3.1
239.255.255.250	FastEthernet0/1	00:51:16	00:02:52	192.168.1.7
224.2.127.254	FastEthernet0/	02:03:50	00:02:47	192.168.1.1
224.2.127.254	FastEthernet0/0	02:03:50	00:02:31	10.0.203.2
224.2.127.254	Loopback1	02:03:50	00:02:43	10.0.3.1
239.195.255.255	FastEthernet0/1	00:26:41	00:02:50	192.168.1.7
239.255.255.255	FastEthernet0/1	02:03:50	00:02:48	192.168.1.7
239.255.255.255	FastEthernet0/0	02:03:50	00:02:24	10.0.203.1
239.255.255.255	Loopback1	02:03:50	00:02:49	10.0.3.1.

Show ip igmp interface fastethernet

Tämän komennon avulla saadaan reitittimestä selville liitântäkohtaista ryhmälähe-tykseen liittyvää tietoa. Kuten, onko IGMP toiminnassa ja mitä versiota käytetään. Seuraavassa komennon tuottama tulostus reitittimestä R3, kun tarkastellaan sen liitântää fastethernet0/1:

```
R3#sh ip igmp interface fastEthernet 0/1 □ □0
FastEthernet0/0 is up, line protocol is up
Internet address is 10.0.203.2/24
IGMP is enabled on interface
Current IGMP host version is 2
Current IGMP router version is 2
IGMP query interval is 60 seconds
IGMP querier timeout is 120 seconds
IGMP max query response time is 10 seconds.
```

```

Last member query count is 2
Last member query response interval is 1000 ms
Inbound IGMP access group is not set
IGMP activity: 3 joins, 0 leaves
Multicast routing is enabled on interface
Multicast TTL threshold is 0
Multicast designated router (DR) is 10.0.203.2 (this system)
IGMP querying router is 10.0.203.1
Multicast groups joined by this system (number of users):
  224.2.127.254(1) 239.255.255.255(1).

```

Show ip sap detail

Komennon avulla saadaan selville SAP:n avulla saadut mainostukset saatavilla olevista lähetyksistä. Seuraavassa esimerkissä tulostus reitittimeltä R4, kun lähetystä ryhmään 238.32.32.32 mainostetaan nimellä "MulticastTest_HD":

```

R4#show ip sap detail
SAP Cache - 1 entries
Session Name: MulticastTest_HD
Description:
Group: 238.32.32.32, ttl: 0, Contiguous allocation: 0
Uptime: 00:26:08, Last Heard: 00:00:03
Announcement source: 232.4.62.0, destination: 224.2.127.254
Created by: - 82355796000 1336 IN IP4 10.0.105.2
Phone number:
Email:
URL:
Media:video1234RTP/AVP 33

```

Show ip igmp snooping

Tämän komennon avulla saadaan kytkimestä selville IGMP snooping -toiminnon tila ja siihen liittyvät asetukset.

```

Switch#show ip igmp snooping
Global IGMP Snooping configuration:
-----
IGMP snooping           : Enabled
IGMPv3 snooping (minimal) : Enabled
Report suppression     : Enabled
TCN solicit query      : Disabled
TCN flood query count   : 2
Last Member Query Interval : 1000

```


Vlan 1:

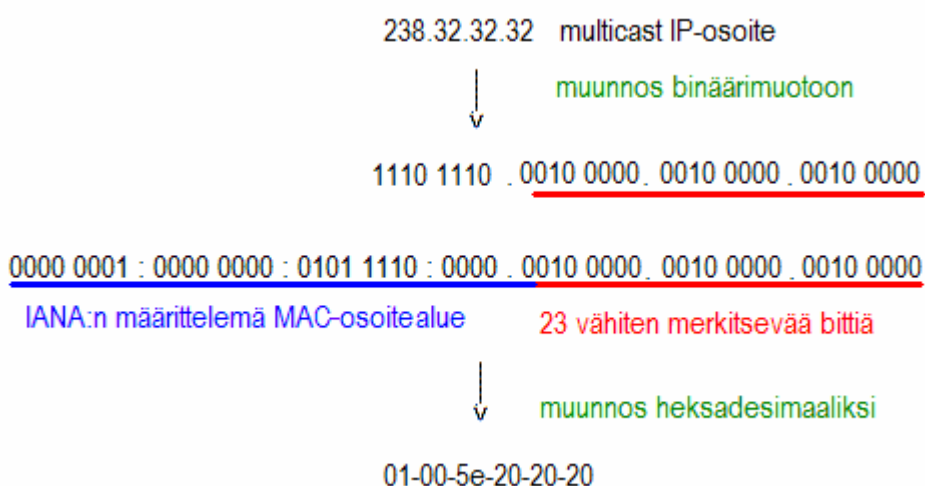
```
IGMP snooping           : Enabled
IGMPv2 immediate leave  : Disabled
Explicit host tracking   : Enabled
Multicast router learning mode : pim-dvmrp
Last Member Query Interval : 1000
CGMP interoperability mode : IGMP_ONLY
```

Show mac-address-table multicast

Kytkimet luovat MAC-osoitteista taulun, jonka perusteella ryhmälähetystä osataan ohjata oikeisiin portteihin. Seuraavassa esimerkissä tulostus kytkimeltä SW1, kun osoitteen 238.32.32.32 multicast-liikenteen välitykseen osallistuvat portit Fa0/11 ja Fa0/17. Multicast IP-osoite 238.32.32.32 saa MAC-osoitteen 0100.5e20.2020, kyseinen muunnos on esitetty kuvassa 28.

Switch#sh mac-address-table multicast

Vlan	Mac Address	Type	Ports
1	0100.5e02.7ffe	IGMP	Fa0/11
1	0100.5e20.2020	IGMP	Fa0/11, Fa0/17
1	0100.5e7f.ffa	IGMP	Fa0/11, Fa0/17
1	0100.5e7f.fff	IGMP	Fa0/11



Kuva 28. Ryhmän 238.32.32.32 IP-osoitteen muunnos MAC-osoitteeksi.

5 YHTEENVETO

Internetin käyttäjämäärä on tällä hetkellä noin 1,1 miljardia. Käyttäjä- ja tietoliikennemäärän kova kasvu on asettanut tietoliikenneyhteyksien ja reititystekniikoiden kehityksen tarpeelliseksi. Internetissä siirrettävä ääni ja kuva kuluttavat yhä enemmän verkon kapasiteettia. Resurssien käyttäminen tehokkaasti on välttämätöntä tietoliikenneverkkojen tukkeutumisen estämiseksi. Multicast-tekniikka eli ryhmälähetys tarjoaa kevennystä verkkojen kuormitukselle, kun toteutetaan etäopetusta, videoneuvottelua, audiovirtaa, videovirtaa tai muuta tiedon jakamista suurille vastaanottajamäärille. Ryhmälähetystekniikka on voimakkaassa kasvussa Internetissä, mutta kaikkien ominaisuuksien paras mahdollinen hyödyntäminen on kuitenkin vielä alkuvaiheessa. Lähiverkoissa sen sijaan multicast-tekniikan hyödyntäminen on yleistynyt.

Työn teoriaosuudessa käytiin läpi ryhmälähetysten ominaisuuksia ja tärkeimpiä käytössä olevia tekniikoita sekä selvitettiin ryhmälähetysten tuomat edut ja heikkoudet. Käsiteltiin myös ryhmälähetys IPv4- ja IPv6-osoitteistukseksi kannalta ja selvitettiin ryhmälähetysten toimintaa Ethernet-verkossa. Lisäksi kerrottiin maailmanlaajuisen ryhmälähetystyön tarkoitettun runkoverkon (Mbone) tarkoitus ja toiminta. Näiden lisäksi tutkittiin protokollariippumattoman PIM-tekniikan käyttämää Reverse Path Forwarding –tekniikkaa ja jakelupuiden merkitystä sekä toimintaa, kun ryhmälähetystä reititetään PIM:n avulla. Tutkittiin myös eri mahdollisuuksia ryhmälähetysten mainostamiseen verkossa. Esiteltiin tärkeimmät ryhmälähetysten reititykseen käytettävät tekniikat ja käytiin läpi uudet ominaisuudet siirryttäessä IPv4-osoituksesta IPv6-osoitukseen.

Käytännön osuudessa rakennettiin ryhmälähetysten ominaisuuksien demonstroimiseksi testiverkko, jossa toteutettiin ryhmälähetyksellä siirretty IP-TV-lähetys. Testiverkko rakennettiin vastaamaan tekniikoiltaan tämän hetkistä suuntausta ryhmälähetysten toteutuksessa. Testiverkkoa rakennettaessa saatiin selville, että ryhmälähetykseen pystyvä verkko on helpohko toteuttaa käyttämällä uudehkoja aktiivilaitteita. Käytännön osuudessa tutkittiin myös aktiivilaitteiden välisiä viestejä testiverkossa ja käytiin läpi ryhmälähetysten toiminnan tutkimiseen käytettyjä metodeja. Testiverkon

toteutuksessa käytettiin apuna Satakunnan ammattikorkeakoulussa käytössä olevan Cisco Networking Academy –koulutusohjelman laboratorioharjoitusmateriaaleja. Testiverkon on myös tarkoitus toimia edellä mainitun koulutusohjelman tukena ryhmälähetystekniikoiden, -sovelluksien ja -toteutuksien opetuksessa.

LÄHTEET

1. Internet World Stats WWW-sivut [verkkodokumentti]. [Viitattu 29.10.2007]. Saatavissa: <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>.
2. Cisco Systems, Inc. CGMP ja IGMP Snooping -opas [verkkodokumentti]. [Viitattu 29.10.2007]. Saatavissa: <http://www.cisco.com/warp/public/473/22.html>.
3. Cisco Systems, Inc. Overview of IP Multicast [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.10.2008]. Saatavissa: http://www.cisco.com/en/US/tech/tk828/technologies_white_paper09186a0080092942.shtml.
4. RFC 2001. TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms. IETF. 1997. Saatavissa: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2001.txt?number=2001>.
5. RFC 3170. IP Multicast Applications: Challenges and Solutions. IETF. 2001. Saatavissa: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3170.txt?number=3170>.
6. Cisco Systems, Inc. Building Scalable Cisco Internetworks [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.10.2007]. Saatavissa: <http://202.91.8.53/download/cisco/Cisco.Building.Scalable.Cisco.Internetworks.BSCI.Student.Guide.v3.0.vol.2.eBook-DDU.pdf>.
7. Tieteen tietotekniikan keskus CSC:n WWW-sivut [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.10.2007]. Saatavissa: <http://www.csc.fi/funet/palvelut/yhd/dns/domain>.
8. RFC 3171. IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments. IETF. 2001. Saatavissa: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3171.txt?number=3171>.
9. Cisco Systems, Inc. Internet Protocol Multicast –opas [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.10.2007]. Saatavissa: http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/ipmulti.htm#wp1020617.
10. Computer Science at Columbia University. Multicast [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.10.2007]. Saatavissa: <http://www.cs.columbia.edu/~hgs/internet/multicast.html>.
11. RFC 1075. Distance Vector Multicast Routing Protocol. IETF. 1988. Saatavissa: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1075.txt?number=1075>.

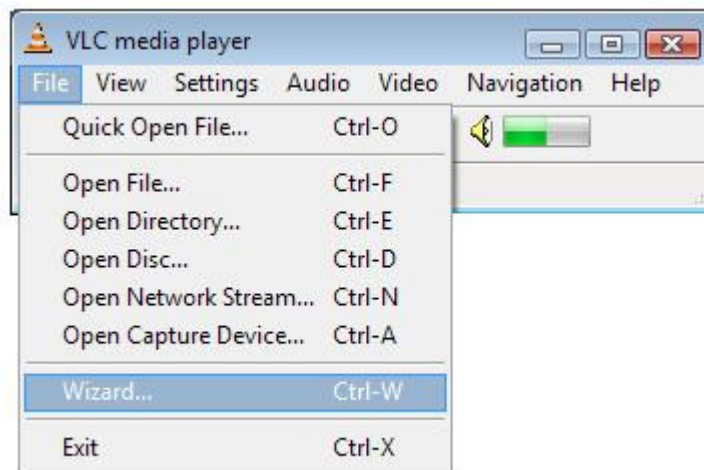
12. Cisco Systems, Inc. Multicast konfigurointi –opas [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.10.2007]. Saatavissa: http://www.cisco.com/en/US/products/sw/iosswrel/ps1835/products_configuration_guide_chapter09186a00800ca794.html.
13. RFC 3376. Internet Group Management Protocol, Version 3. IETF. 2002. Saatavissa: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3376.txt?number=3376>.
14. Cisco Systems, Inc. Internet Protocol Multicast –opas [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.10.2007]. Saatavissa: http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/ipmulti.htm#wp1020641.
15. Cisco Systems, Inc. Implementing IPv6 Multicast [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.10.2007]. Saatavissa: http://www.cisco.com/en/US/products/sw/iosswrel/ps5187/products_configuration_guide_chapter09186a00801d6618.html.
16. Cisco Systems, Inc. Multicast Routing [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.10.2007]. Saatavissa: <http://www.cisco.com/warp/public/614/17.html>.
17. Cisco Systems, Inc. Multiprotocol BGP -opas [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/11_1/feature/guide/mbgp.html.
18. RFC 3618. Multicast Source Discovery Protocol (MSDP). IETF. 2003. Saatavissa: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3618.txt?number=3618>.
19. Cisco Systems, Inc. IP Multicast Technology Overview [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.10.2007]. Saatavissa: http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/solutions_docs/ip_multicast/White_papers/mcst_ovr.html.
20. Cisco Systems, Inc. Financial Services Design for High Availability [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.10.2007]. Saatavissa: http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/solutions_docs/ip_multicast/White_papers/fe_ha.html.
21. Cisco Systems, Inc. Multicast reitityksen konfigurointi-opas [verkkodokumentti]. [Viitattu 30.10.2007]. Saatavissa: http://www.cisco.com/en/US/docs/switches/lan/catalyst3550/software/release/12.1_19_ea1/configuration/guide/swmcast.html.
22. Taloussanomat, 22.10.2007 13:50, Räikkösen voitto kiihdytti nettiliikenteen huippulukemiin [verkkolehti]. [Viitattu 28.11.2007] Saatavissa: <http://www.taloussanomat.fi/markkinointi/2007/10/22/R%C3%A4ikk%C3%B6sen%20voitto%20kiihdytti%20nettiliikenteen%20huippulukemiin/200726237/110?rss=2i>.

Ryhmälähetyksen luominen VLC:n avulla

Ryhmälähetyksen luominen VLC-ohjelmalla wizard toiminnon avulla on erittäin helppoa. Itse streamin lisäksi voidaan samalla määrittää lähetettävä SAP-mainostus. Testiverkossa on tarkoituksen lähettää lähetystä, joka toimii PIM sparse-muodossa. Multicast-ryhmän osoite on 238.32.32.32. VLC-ohjelman voi ladata Internetistä osoitteesta <http://www.videolan.org/vlc/>. Seuraavat ohjeet olettavat, että ohjelma on asennettu ja käynnistetty onnistuneesti.

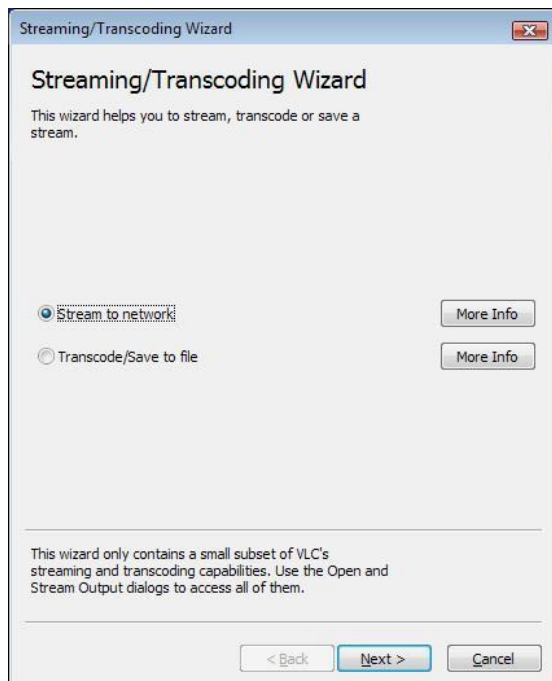
Wizardin käynnistys

Wizardin käynnistys tapahtuu valitsemalla VLC-ohjelman "File" valikon alta löytyvästä kohdasta "Wizard".



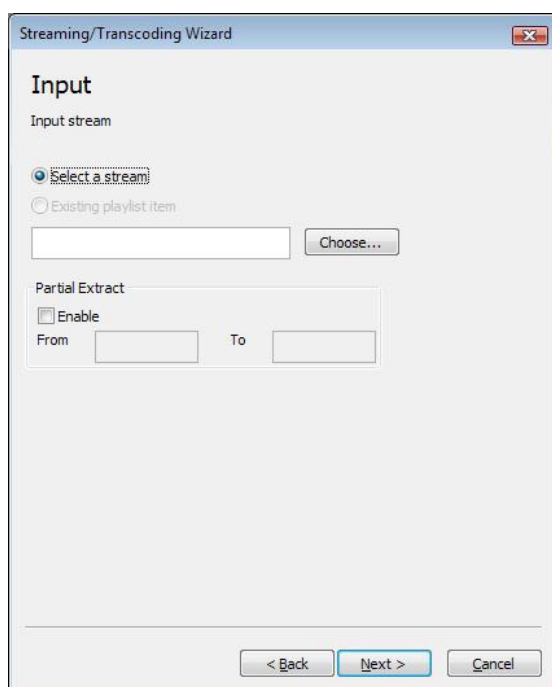
Tehtävän määrittäminen wizardissa.

Valitaan kohta ”Stream to network” ja jatketaan ”Next” –painikkeella eteenpäin.



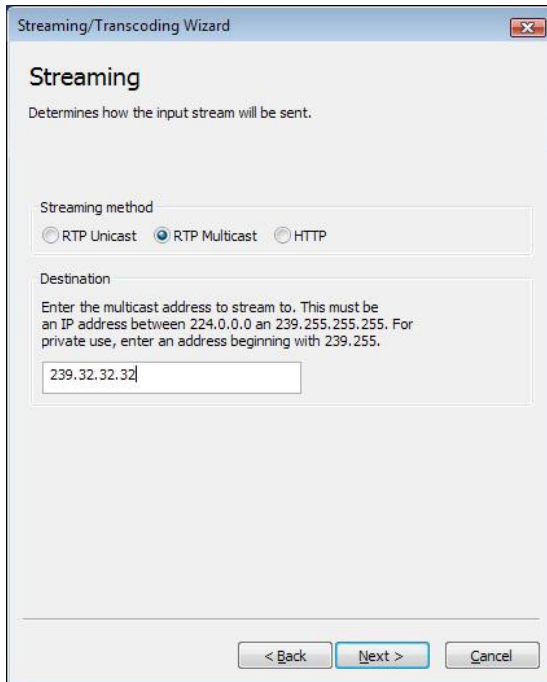
Lähteen valinta

Lähteen valinta tapahtuu valitsemalla ”Choose...” painikkeen kautta aukeavassa ikkunassa. Lähteeksi voidaan valita mikä tahansa VLC-soittimen tukema videotiedosto. Lähteen valinnan jälkeen siirrytään ”Next” –painikkeella eteenpäin.



Lähetyksen määreet

Valitaan lähetyksen tyypiksi ”RTP Multicast” ja kohdeosoitteeksi 238.32.32.32.



The image shows a screenshot of a software dialog box titled "Streaming/Transcoding Wizard". The dialog is divided into two main sections: "Streaming" and "Destination".

Streaming
Determines how the input stream will be sent.

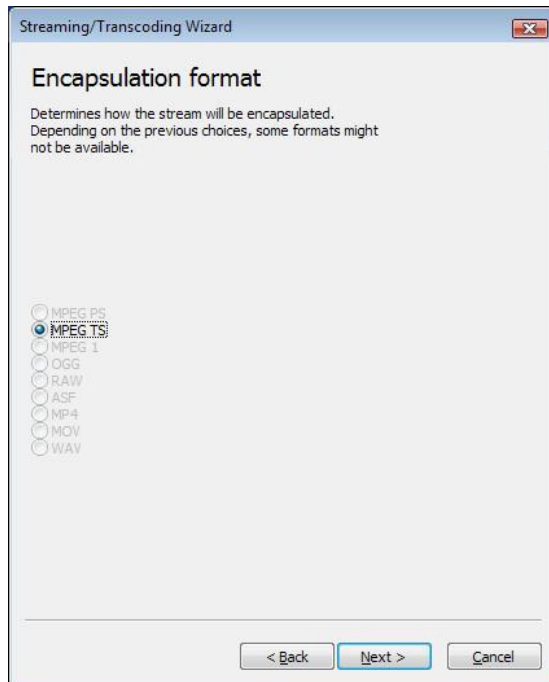
Streaming method
This section contains three radio button options: "RTP Unicast", "RTP Multicast", and "HTTP". The "RTP Multicast" option is selected.

Destination
Enter the multicast address to stream to. This must be an IP address between 224.0.0.0 and 239.255.255.255. For private use, enter an address beginning with 239.255.
A text input field below this section contains the IP address "239.32.32.32".

At the bottom of the dialog, there are three buttons: "< Back", "Next >", and "Cancel".

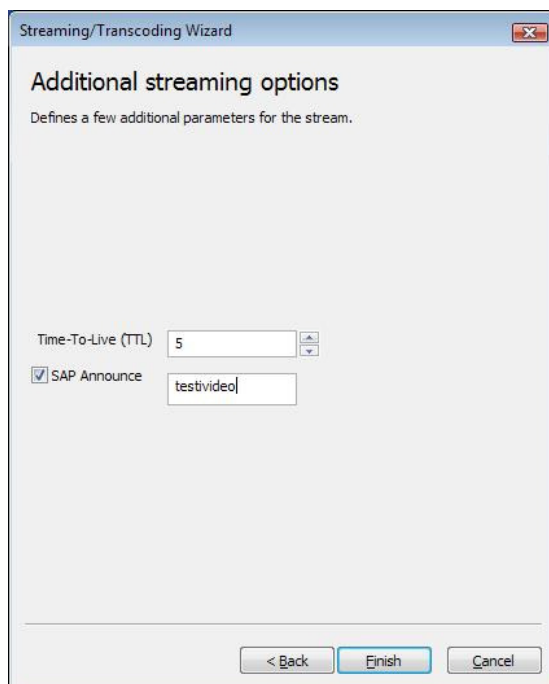
Lähetyksen kapselointi

Kapselointimenetelmäksi käytettäessä UDP-lähetystä on valittava ”MPEG TS”.



Lähetyksen TTL-arvo ja SAP-mainostos

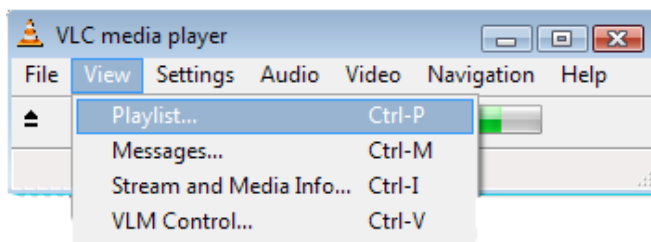
Lähetyksen TTL-arvolla määritellään kuinka laajalle lähetys leviää. Testiverkossa TTL-arvoksi riittää neljä. SAP-protokollan avulla voidaan mainostaa lähetystämme. Valitsemalla alareunasta ”Finish” lähetys käynnistyy.



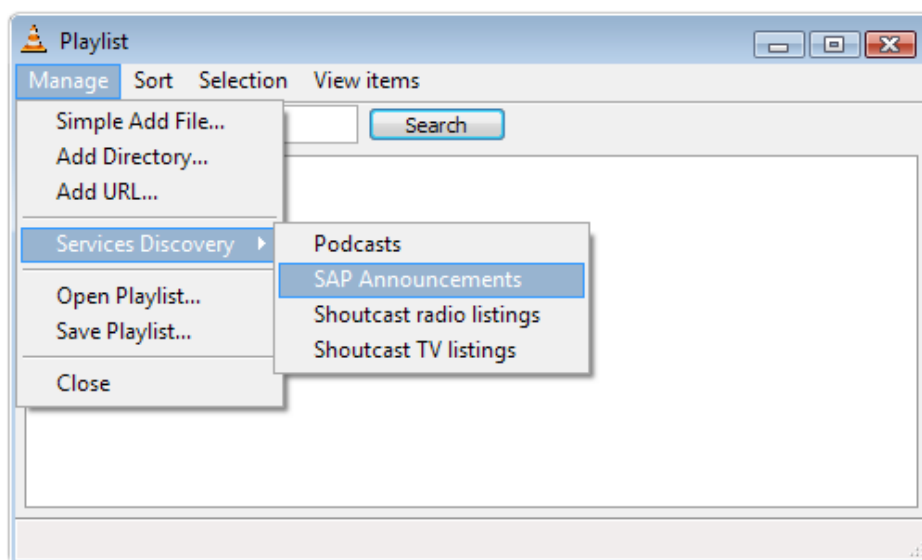
Ryhmälähetysten vastaanotto VLC:n avulla

Lähetysten vastaanoton käynnistys SAP-mainostuksen tietojen perusteella

Vastaanoton käynnistys tapahtuu valitsemalla VLC-ohjelman ”View” valikon alta löytyvästä kohdasta ”Playlist”.



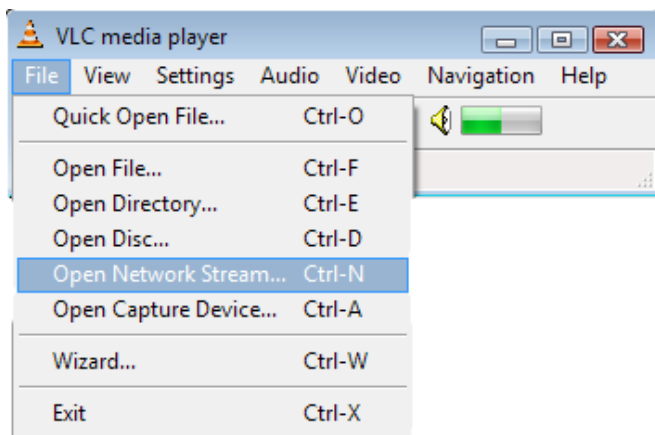
Aueneesta ikkunasta valitaan ”Manage” valikon alta ”Services Discovery”, jonka alapuolta saadaan aktivoitua SAP-mainostusten kuuntelu valitsemalla ”SAP Announcements”.



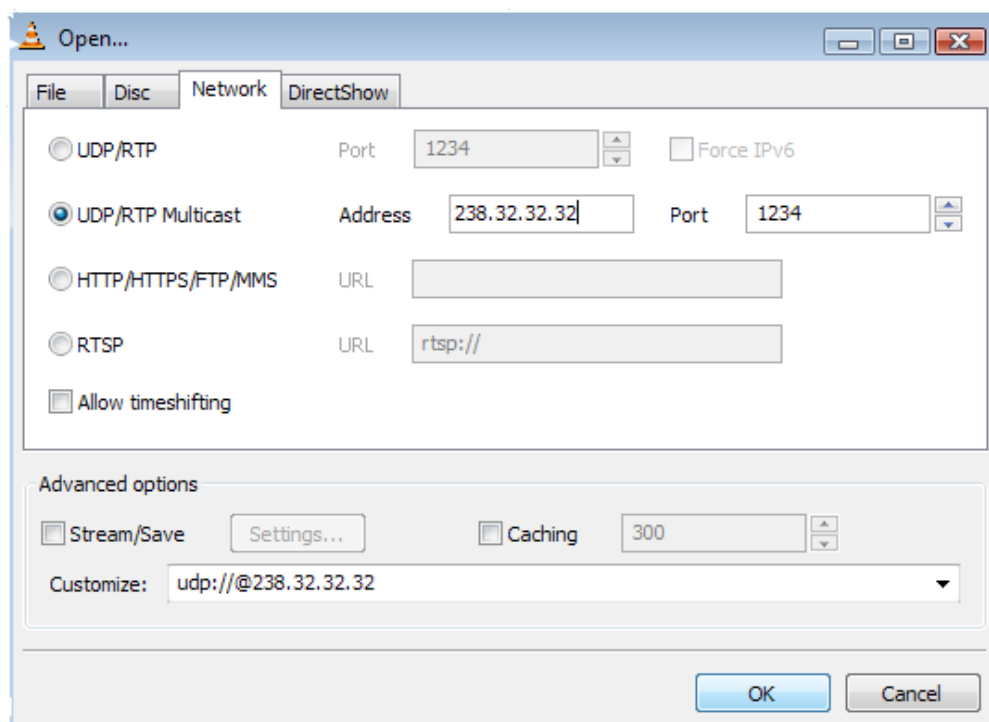
Seuraavaksi valitaan tuplaklikkaamalla SAP-valikon alapuolelle ilmestyyvä lähetys. Lähetysten ilmestyminen listaan kestää hetken aikaa. Ikkunan vasempaan alareunaan ilmestyy ”1 items in playlist” kun mainostus on löytynyt. Jostain syystä itse playlist ei aina näytä päivittyvän ilman, että sen aktivoi klikkaamalla ”Session Announcement (SAP) kohtaa ikkunassa.

Lähetysten vastaanoton käynnistys multicast-ryhmän osoitteen perusteella.

Vastaanoton käynnistys tapahtuu valitsemalla VLC-ohjelman ”File” valikon alta löytyvästä kohdasta ”Open Network Stream”.



Auenneesta ikkunasta valitaan vastaanotettavan lähetysten muodoksi ”UDP/RTP Multicast” osoitekenttään syötetään halutun multicast-ryhmän IP-osoite. Valitsemalla ”OK” vastaanotto käynnistyy.



Verkon aktiivilaitteiden lopulliset konfiguraatiot**R1**

```
hostname R1
no ip domain lookup
ip multicast-routing
ip pim spt-threshold infinity
!
interface Loopback1
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-dense-mode
 no shutdown
 ip sap listen
!
interface FastEthernet0/0
 ip address 10.0.105.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-dense-mode
 no shutdown
 ip sap listen
!
interface FastEthernet0/1
 ip address 10.0.102.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-dense-mode
 no shutdown
 ip sap listen
!
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 network 10.0.1.1 0.0.0.0 area 0
 network 10.0.102.0 0.0.0.255 area 0
 network 10.0.105.0 0.0.0.255 area 0
!
 ip pim send-rp-announce Loopback1 scope 3 group-list 1
 ip pim send-rp-discovery Loopback1 scope 3
!
no access-list 1 permit 238.32.32.32
!
```

R2

```
hostname R2
!
no aaa new-model
ip subnet-zero
ip routing
!
ip multicast-routing
ip pim spt-threshold infinity
!
interface Loopback1
 ip address 10.0.2.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-dense-mode
 no shutdown
 ip sap listen
!
interface FastEthernet0/1
 no switchport
 ip address 10.0.102.2 255.255.255.0
 ip pim sparse-dense-mode
 no shutdown
 ip sap listen
!
interface FastEthernet0/2
 no switchport
 ip address 10.0.203.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-dense-mode
 no shutdown
 ip sap listen
!
interface FastEthernet0/3
 no switchport
 ip address 10.0.204.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-dense-mode
 no shutdown
 ip sap listen
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 network 10.0.2.1 0.0.0.0 area 0
 network 10.0.102.0 0.0.0.255 area 0
 network 10.0.203.0 0.0.0.255 area 0
 network 10.0.204.0 0.0.0.255 area 0
!
 ip pim send-rp-announce Loopback1 scope 3 group-list 1
 ip pim send-rp-discovery Loopback1 scope 1
!
 no access-list 1 permit 238.32.32.32
!
```

R3

```
hostname R3
!
ip subnet-zero
ip pim spt-threshold infinity
!
!
no ip domain lookup
ip multicast-routing
!
interface Loopback1
 ip address 10.0.3.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-dense-mode
 no shutdown
 ip sap listen
!
interface FastEthernet0/0
 ip address 10.0.203.2 255.255.255.0
 ip pim sparse-dense-mode
 no shutdown
 ip sap listen
!
interface Serial0/0
 no ip address
 shutdown
!
interface FastEthernet0/1
 ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-dense-mode
 no shutdown
 ip sap listen
!
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 network 10.0.3.1 0.0.0.0 area 0
 network 10.0.203.0 0.0.0.255 area 0
 network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0
!
```

R4

```
hostname R4
!
ip subnet-zero
ip pim spt-threshold infinity
!
ip multicast-routing
!
interface Loopback1
 ip address 10.0.4.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-dense-mode
 no shutdown
 ip sap listen
!
interface FastEthernet0/0
 ip address 10.0.204.2 255.255.255.0
 ip pim sparse-dense-mode
 no shutdown
 ip sap listen
!
!
interface FastEthernet0/1
 ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
 ip pim sparse-dense-mode
 no shutdown
 ip sap listen
!
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 network 10.0.4.1 0.0.0.0 area 0
 network 10.0.204.0 0.0.0.255 area 0
 network 192.168.2.0 0.0.0.255 area 0
!
```