

S-38.127 Teletekniikan erikoistyö II

Monikerrosreititys

(Multilayer routing)

21.4.1997

Työn ohjaaja Professori Jorma Virtamo

Ilkka Peräläinen 47843B

ilkka@luuri.hut.fi

Sisällysluettelo

SISÄLLYSLUETTELO.....	2
LYHENNE- JA TERMILUETTELO.....	4
1. JOHDANTO.....	6
2. IPSILONIN IP KYTKIN.....	7
2.1 JOHDANTO	7
2.2 IP-KYTKIN.....	7
2.3 VUOLUOKITTELU JA -OHJAUS	9
2.4 VASTAANOTTAJAN ALOITE	10
2.5 PISTEESTÄ PISTEESEEN	10
2.6 PALVELUN LAATU	11
2.7 LATENSIVAIHE.....	12
2.8 SIMULOINTITULOKSIA.....	12
3. TOSHIBAN SOLUKYTKINREITITIN.....	14
3.1 TAVOITE.....	14
3.2 SOLUKYTKINREITITIN ARKKITEHTUURI.....	14
3.3 IP- JA CSR-REITITYKSEN EROT	15
3.4 OHJAUSARKKITEHTUURI	16
3.5 VARATTUJEN VIRTUAALIKANAVIEN LUONTI	16
3.6 OHITUSPUTKIEN OHJAUSVIESTIEN KANAVAT	17
4. CISCON LEIMAKYTKENTÄ.....	18
4.1 REUNAREITITIN	19
4.2 LEIMAKYTKINREITITIN	20
4.3 LEIMANJAKOPROTOKOLLA	21
4.4 MÄÄRÄNPÄÄPOHJAINEN REITITYS.....	21
4.5 REITITYSHIERARKIA	22
4.6 PALVELUN LAATU	23
5. IBM:N REITTIPOHJAINEN IP-YHDISTELMÄKYTKENTÄ ARIS.....	24
5.1 POLKUJEN MÄÄRÄN RAJOITTAMINEN	24
5.2 RENKAIDEN ESTÄMINEN.....	25
5.3 TIETOKANNAT.....	25
5.4 ULOSMENOTUNNISTEET JA ISR:T	26
5.5 ULOSMENO-ISR.....	26

5.6 ELINIKÄLASKURI	27
5.7 MONIREITTISYYS.....	27
5.8 VIRTUAALIVÄYLÄLAJENNUS	28
6. TELEN EHDOTUS SITA.....	29
6.1 ONGELMA	29
6.2 YKSILÄHETYSRATKAISU.....	29
6.3 MONILÄHETYS	29
6.4 QOS TUKI.....	30
6.5 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS.....	30
6.6 YHTEENVETO.....	30
7. VERTAILUT	31
7.1 VUOPOHJAISET MENETELMÄT	31
7.2 TOPOLOGIAAN PERUSTUVAT RATKAISUT	31
7.3 TOPOLOGIA- JA VUOPOHJAISTEN MENETELMIEN VERTAILU	32
8. YHTEENVETO.....	34
9. LÄHDELUETTELO.....	35

Lyhenne- ja termiluettelo

ABR	Available bit rate, ATM:n vapaana olevaa kapasiteettia hyödyntävä liikenneluokka hyvin pientä solunmenetystodennäköisyyttä edellyttävälle yhteyksille
ARIS	Aggregate Route-based IP Switching, IBM:n monikerrosreititysehdotus
AS	Autonomous system, Internetin hallinnollisesti yhtenäinen osa-alue
BGP	Border gateway protocol, IP:n alueiden välinen reititin protokolla
CAC	Connection admission control, ATM:n kutsujen hyväksymismenettely
CBR	Constant bit rate, ATM:n vakionopeuksinen liikenneluokka
CLP	Cell loss priority, arvot 0 ja 1, vähemmän tärkeät solut uhrataan, jos esto uhkaa
COS	Class of service, Leimakytkennän palveluluokka
CSR	Cell switch router, Solukytkinreititin ja nimi Toshiba ratkaisulle
DVMRP	Distance vector multicast routing protocol, Internetin paljolti RIP:iin perustuva yhdyskäytävien monilähetysprotokolla
FANP	Flow attribute notification protocol, Toshiba Solukytkinreitittimen vuoprotokolla
FIB	Forward information base, reitittimen reitin valinnassa käyttämä tietokanta
FRM	Fast resource management, varaa käyttäjän pyynnöstä lisäkapasiteettia ryöppyttason purskeita varten
GSMP	General switch management protocol, Ipsilonin IP-kytkinten ATM:n ohjausohjelmia korvaava hallintaprotokolla
I-D	Internet draft, max 6 kk voimassa oleva IETF:n alustava standardiehdotus
IETF	Internet engineering task force, Internetin standardisointijärjestö
IFMP	Ipsilon flow management protocol, vuon hallinta protokolla
IP	Internet protocol, Internetin verkkokerrosprotokolla
IPMC96	Internet protocol multicast over ATM
ISR	Integrated switch router, IP-reititin, johon on lisätty ATM:n VC-tuki (ARIS)
L2	OSI-mallin kakkos- eli siirtoyhteyserros
L3	OSI-mallin kolmos- eli verkkokerros
Label	Leima, sen perusteella Ciscon leimakytkinreititin lähettää paketit/solut
LDP	Label distribution protocol, Ciscon menetelmän leimatiedon välitysprotokolla
LIB	Label information base, Ciscon menetelmän leimatietokanta
LLC	Logical link control, OSI-mallin siirtoyhteyserroksen ylempi osakerros, joka vastaa mm. vuonohjauksesta ja kehyksenmuodostuksesta
LS	Label switching, Ciscon leimojen käyttöön perustuva pikakytkentämenetelmä
LSR	Label switching router, Ciscon leimakytkinreititin
MOSPF	Multicast OSPF, OSPF:n monilähetysversio
MPLS	Multiprotocol label switching, reitityksen ja leimoihin perustuvan kytkennän yhdistävä uusi kehitteillä oleva IETF:n standardi

MPOA	Multiprotocol over ATM, yhdistää virtuaalilähiverkkoja ATM:n yli
NNI	ATM:n Network-Network interface, kytkinten välinen rajapinta
NPC	Network parameter control, ATM:n liikenneparametrien valvonta verkkorajapinnalla
OAM	Operation administration and maintenance, ATM:n hallintatoiminto
OSPF	Open shortest path first, TCP/IP:n alueen sisäisen lyhimmän/parhaan reitin valitseva reititin protokolla
PAR	PNNI Augmented routing
PIM	Protocol independent multicast, protokollasta riippumaton monilähetys
PNNI	Private network-to-network interface, ATM verkon kytkinten välinen reititysprotokolla
PVP	Permanent virtual path, ATM:n pysyvä virtuaaliväylä
QoS	Quality of service, televerkon palvelutaso, myös GoS Grade of service
RFC	Request for comments, IETF:n numeroitu pysyvä standardiehdotus
RIB	Routing information base, reititystietokanta
RIP	Routing information protocol, TCP/IP:n reititysprotokolla
RSVP	Resource reservation protocol, Internetin yhteydetön resurssien varausprotokolla
SITA	Switching IP through ATM, Suomen Telen ehdotus
STII	Stream protocol version 2, Internetin yhteydellinen resurssien varausprotokolla
SVC	Switched virtual circuit, ATM:n kytkentäinen virtuaalikanava
SVP	Switched virtual path, ATM:n kytkentäinen virtuaaliväylä
Tag	Lippu, sen perusteella lähetetään paketit/solut, Ciscon aiempi synonyymi leimalle
TDP	Tag distribution protocol, Ciscon ratkaisun lipputiedon välitysprotokolla
TIB	Tag information base, Ciscon ratkaisun lippukanta
TSR	Tag switching router, Ciscon lippukytkinreititin
TTL	Time-to-live, IP:n datapakettien elinkaarilaskuri, jokainen solmu vähentää arvoa
UBR	Unspecified bit rate, ATM:n vapaata siirtokapasiteettia hyödyntävä luokka
UNI	ATM:n User-Network interface, käyttäjän ja ATM-verkon rajapinta
UPC	Usage parameter control, ATM:n liikenneparametrien valvonta käyttäjärajapinnalla
VBR	Variable bit rate, ATM:n vaihtelevan nopeuden liikenneluokka
VCI	Virtual connection identifier, ATM solun otsikkokentän virtuaalikanavan tunniste
VCIB	Virtual channel information base, liittää ARIS reitittimissä ulos- ja sisäänmeno VC:t toisiinsa ja kertoo vastaavat tilat
VPC	Virtual path connection, ATM:n virtuaaliväyläyhteys
VPI	Virtual path identifier, ATM solun otsikkokentän virtuaaliväylän tunniste
soft state	verkon tilainformaatio, joka parantaa suorituskykyä, muttei ole välttämätöntä oikean toiminnan kannalta

1. Johdanto

Teleliikenne elää tänä päivänä voimakkaan muutoksen aikaa. Yhtäältä valokuitu ja sähköisen teknologian nopea kehitys luo mahdollisuuden erittäin laajakaistaisten verkkojen rakentamiseen, toisaalta teleliikenneverkkoja hyödyntävien asiakkaiden tarpeet kasvavat rajusti. Eksponentiaalinen käyttäjien määrän kasvu sekä uudet multimedia- ja tosiaikaiset palvelut asettavat aivan uusia vaatimuksia teleliikenneverkoille. Internetiä on nopeutettava huomattavasti, jotta se pystyy toteuttamaan nämä vaatimukset.

Tässä työssä esitellyissä ratkaisuissa pyritään yhdistämään OSI-mallin siirtoyhteyskerroksen kytkennän siirron tehokkuus ja liikenteenhallintaominaisuudet verkkokerroksen reitityksen hyvään skaalautuvuuteen ja joustavuuteen. ATM:n palveluluokkajako QoS on myös tarkoitus tuoda Internetiin. Nykyhetken reitittimet ovat kalliita ja niiden välityskyky on vaatimaton kytkimiin verrattuna.

Useat tässä kuvatut ratkaisut sopivat useammille liikennöintitekniikoille. Tässä keskitytään kuitenkin ATM:n ja IP:n yhteistoimintaan.

Tavanomaisissa reititinverkoissa jokaisen reitittimen on käsiteltävä jokainen paketti, jotta sen seuraava reititin voidaan määrittellä matkalla määränpäähän.

Vaikka ATM:n perusominaisuudet, yhteydenmuodostus ja liikennöintisopimuksen tarpeellisuus eivät vaikuta sopivilta IP-pakettien välittämiseen, ATM:n erinomainen välityskyky ja viiveominaisuudet ovat johtaneet sen hyödyntämisen tutkimiseen IP-liikenteen pohjana. Yhteydellisen ATM:n käyttäminen pääasiassa yhteydettömien verkkoprotokollien kanssa on aiheuttanut monimutkaisuutta, tehottomuutta ja toiminnan päällekkäisyyttä.

Yksi ensimmäisistä ratkaisuista 'Klassinen IP ATM:n yli', sallii suorat ATM-yhteydet vain IP-aliverkoissa. Kun aliverkon raja ylitetään, rajalla olevan reitittimen on käsiteltävä jokainen paketti, vaikka kyseessä olisi ATM:n kannalta yhtenäinen alue 'ATM-pilvi'. Vaikka tämä malli ei edellytä suuria arkkitehtuurimuutoksia, sen ongelmia ovat rajoitettu välityskyky ja suuri latenssi (sisäinen hitaus), mikä johtuu IP-otsakkeiden käsittelystä jokaisessa reitittimessä.

Seuraavan etapin palvelin (Next hop server) sen sijaan kykenee löytämään määränpäättä lähinnä olevan ulosmenokohdan (egress point) ATM-pilvessä ja selvittämään sen osoitteen ja näin mahdollistaa suuren läpäisykyvyn ja pienen sisäisen viiveen. Etapilta etapille (hop-by-hop) datapakettien lähetyttä joudutaan kuitenkin käyttämään monessa tapauksessa.

Tässä esitetyt ratkaisut perustuvat reitityksen ja ATM:n kytkemisen parhaiden puolien yhdistämiseen. Ratkaisut jakautuvat vuopohjaisiin ja topologia- eli leimapohjaisiin.

2. Ipsilonin IP kytkin

2.1 Johdanto

Ipsilon hylkää ATM-protokollapinin yhteydessä ja liittää ATM-kytkimet suoraan IP:hen. Tästä on se etu, että vältetään sekä merkinantoprotokollan käyttö, että osoitteen selvitys. IP:n tavalliset reititysprotokollat riittävät tehtävän hoitoon. Ipsilon näkee nopeutuksen avaimena ATM:n kytkentäteknikan soveltamisen IP-reitittimiin. Kytkentäteknikan nopeus perustuu laitetason datapolkuteutukseen. Kun reititin voi ohjata jokaisen saamansa paketin eteenpäin eri tavalla, kytkin tarvitsee valmiit lähetystaulut.

Kytkentäisen verkon merkinannon suuresta ja vaikeasti testattavasta ohjelmakoodista n. 90 % käsittelee virhetilanteita, kun sensijaan IP:n käyttämä pehmeä tila (soft state) menetelmä tasaisin väliajoin uusii verkon tilan poistaen näin hyvin yksinkertaisella tavalla mahdolliset virhetilanteet. Yhteyden muodostus aiheuttaa viiveen, eivätkä nykykytkimet kykene kovinkaan suuriin yhteydenmuodostuksiin sekunnissa. Kaikki tämä on saanut Ipsilonin tutkimaan ATM-laitteiston käyttämistä yhteydettömästi.

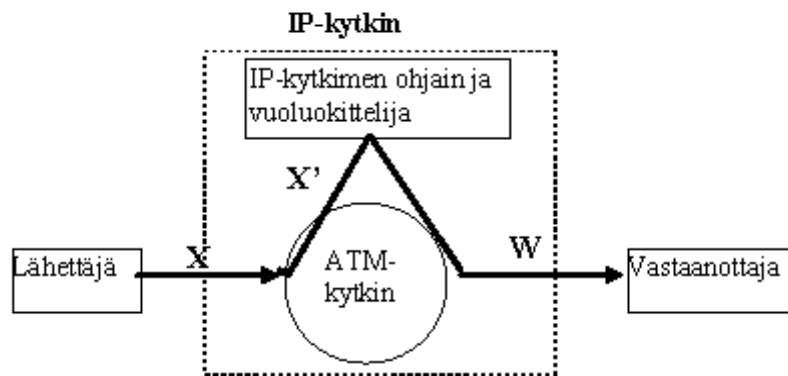
Ipsilonilla peruskäsite on vuo, joka on tietyn lähettäjän tiettyyn kohteeseen välittämä pakettivirta.

2.2 IP-kytkin

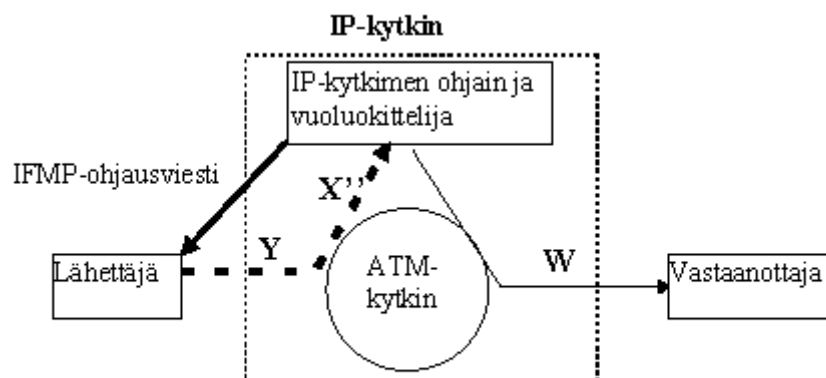
Standardi ATM-laitteiston yhteydettömään käyttöön on päästy korvaamalla AAL5:n päällä hallintaprosessorissa olevat ohjelmistot kuten merkinanto, mahdolliset reititysprotokollat tai LAN emulointi- tai nimenselvityspalvelimet yksinkertaisella hallintaprotokollalla GSMP (General switch management protocol). Tuloksena on kytkinlaitteilla varustettu reititin eli IP-kytkin, joka voi tallettaa reitinvalintoja kytkinkomponenttinsa välimuistiin. Kun reitinvalinta on talletettu, tavallinen reititin voidaan ohittaa.

IP-kytkimen ohjainosa on tavallisia reititysprotokollia ajava korkeanluokan prosessori, joka laajennustensa avulla pystyy hyödyntämään myös kytkimiä. Tärkeitä laajennuksia ovat GSMP:n lisäksi IP-virtoja ATM:n virtuaalikanaviin yhdistävä yksinkertainen vuonohjausprotokolla IMFP (Ipsilon flow management protocol) ja vuoluokittelija, joka valitsee mitkä vuot ohjataan kytkimen kautta.

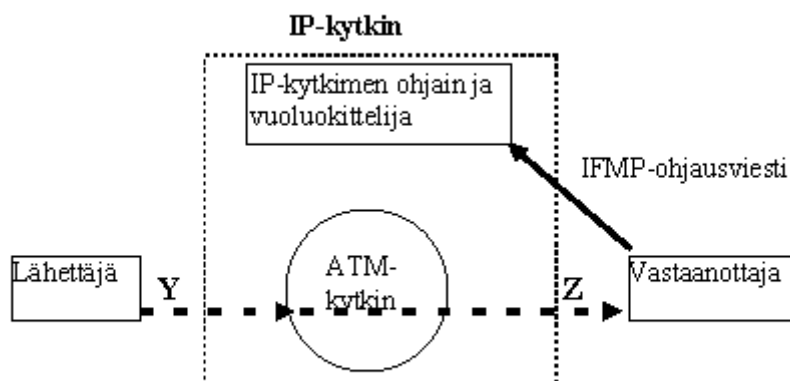
IP-kytkimen ohjainosan ohjelmiston ja sen naapurien välille on aluksi luotu oletusvirtuaalikanava, joka välittää yhteydettömästi IP-paketteja pysäkiltä-pysäkille-tyyliin. Kytkinominaisuuksia voidaan hyödyntää vasta kun käsiteltävälle vuolle on luotu oma VPI/VCI tunnus.



Kuva 2.1 Ipsilon-järjestelmän toiminta reitittimenä



Kuva 2.2 Soft-state reititys ja vuonohjaus



Kuva 2.3 IP-kytkentä Ipsilon-järjestelmässä

2.3 Vuoluokittelu ja -ohjaus

Vuo luokitellaan IP/TCP/UDP-otsakkeen seuraavien kenttien perusteella: palvelutyyppi, protokolla, lähtö- ja kohdeosoite sekä lähtö- ja kohdeportti. Edellä mainitut kentät yhdessä yksilöivät tietyn vuon. Vuotyyppjä on toistaiseksi kaksi: Isäntäpari tietyn lähtö- ja kohde IP-osoitteiden välillä, sekä porttipari tietyn isäntäparin virroille, jotka käyttävät samoja TCP/UDP-portteja.

IP-kytkimen ohjainosan reititysprotokollat reitittävät siis ensimmäiset uudet paketit tavalliseen tapaan. Samalla tutkitaan onko kyseessä sellaisen vuon alku, joka olisi syytä ohjata suoraan ATM-kytkinosan kautta. Paikallisella päätöksellä valitaan suoraan kytkettävät, esimerkiksi tietyn sovelluksen kuten FTP:n vuot.

Jos IP-kytkimen ohjainosa päättää valita suorakytkennän, se antaa paketille ATM VPI/VCI-leiman sisääntuloportille varatuista tunnuksista. Se yhdistää tämän tunnus/porttiparin omaan ohjainporttiinsa liittämäänsä VPI/VCI-leimaan. Kun kytkimen sisääntuloportin käännöstauluun on lisätty uusi jäsen, hallintaosa lähettää ilmoituksen ylävirran edelliselle solmulle. Ilmoitus koostuu VPI/VCI-tunnuksesta, vuotunnuksesta ja elinkaaresta (TTL), joka kertoo kuinka kauan sidos on uusimatta voimassa (tyypillinen TTL-arvo on minuutti tai pari). Saatuaan ilmoituksen ylävirran solmu kytkee ko. vuohon kuuluvat paketit uuteen virtuaalikanavaan.

Tästä eteenpäin ko. vuon saapuvat paketit ohjautuvat hallintaosan portin virtuaalikanavaan. IP:n lähetysohjelmistot yhä uudelleen kokoavat ja lähettävät edelleen paketit, mutta toimintaa nopeuttaa se, että ko. vuon reitityspäätös on tallennettu välimuistiin hallintaosan virtuaali-

kanavan tunnus avaimena. Kun yhtenäinen ketju on muodostettu ylävirtaan lähettyillä ilmoituksilla ja peräkkäiset solmut ovat varanneet kyseiselle vuolle virtuaalikanavat, paketit voidaan käsitellä suoraan ATM-kytkimessä, käyttämättä IP-ohjainta. Ipsilon menetelmä edellyttää luonnollisesti, että jokaisessa hallinnollisessa aliverkossa noudatetaan yhtenäistä vuoluokittelua.

Kun IP-kytkin on viestin saatuaan valinnut uudelleenreitityksen, se muuttaa oletuskanavalla käytetyn standardin mukaisen AAL-5:n päällä olevan LLC/SNAP kapseloinnin kehystykseen, jossa poistetaan IP-paketin otsaketiedoista vuontunnukseen kuuluvat kentät. Nämä talletetaan kuitenkin varmuuden vuoksi virtuaalikanavatunnuksella lisättynä IP-kytkimeen, joten paketti voidaan haluttaessa koota uudelleen. IP-kytkin voi näin toimia myös yksinkertaisena vuopohjaisena palomuurina, jonka ei tarvitse tutkia pakettiensa sisältöä.

2.4 Vastaanottajan aloite

Yksi yhteydettömän pakettivälitteisen IP:n suosion selitys on vierekkäisten solmujen löyhä riippuvuus. Jotta tämä paikallinen autonomia säilytettäisiin, vuonohjausprotokolla on luonteeltaan neuvoa antava. Uudelleenreititysviestejä ei ole pakko hyväksyä. Päätös perustuu paikallisiin tarpeisiin. Huomattakoon, että reitityksen tehokkuudessa hävitään selvästi, jos tietyn reitin solmut alkavat sooloilla, eivätkä suostu luomaan yhteisiä 'virtuaalivirtoja'. Reitityksen muutosviestit eivät vaadi hyväksyntää, ensimmäinen uutta virtuaalikanavaa pitkin alavirtaan saapuva solu kertoo ylävirran naapurin hyväksyneen tai hylänneen pyynnön (tai sitten viesti ei ole mennyt perille).

Periaatteessa joko ylä- tai alavirran solmu voisi lähettää uudelleenreitityspyynnön. Kun alavirran solmu on aloitteentekijänä, vältetään hyväksymismenettely kuten edellä todettiin. Toiseksi ainakin tämän päivän ATM-laitteille tietyllä leimalla (VPI/VCI) merkittyjen solujen vastaanottaminen on arvokkaampi ominaisuus kuin leimalla lähettäminen. Siis päätäkään vastaanottaja. Jos yläjuoksun solmu pystyy lähettämään vain joillain rajoitetuilla virtuaalikanavien arvoilla, se voi ilmoittaa tämän arvojoukon alajuoksun naapurilleen.

2.5 Pisteestä pisteeseen

Monet ATM:n päällä toimivat ratkaisut kuten LANE ja klassinen IP ATM:n yli pyrkivät luomaan loogisen jaetun median verkon ATM:n yli. Ipsilon ehdottaa sen sijaan pisteestä pisteeseen verkkomallia, jollaisen kanssa kaikki reititysprotokollat toimivat hyvin yhteen ja joka Ipsilonin mukaan on paljon luontevampi ATM:lle. IFMP on symmetrinen protokolla, joka yksinkertaistaa toteutusta.

Ipsilonin näkemyksen mukaan Internet osoittaa, että IP on laajennettavissa hyvin suuriin verkkoihin ilman yhteyskerrostason 'pilveä'. Myös leiman annon ja kytkennän erottaminen sekä paikallinen autonomia kytkentäpäätöksissä takaavat laajennettavuuden. Jonkin linkin leimaus- tai kytkentäpäätös ei vaikuta muun verkon toimintaan.

2.6 Palvelun laatu

Jokainen IP-kytkin voi itsenäisesti päättää palvelunlaadustaan (QoS). Se voidaan sisällyttää vuonmuodostuspäätökseen, joka pohjautuu sovellukseen, IP-otsikon palvelutyyppiin, protokollaan jne. Ipsilon väittää IP-kytkimen voivan tukeutua palvelunlaatupäätöksessään myös ATM-kytkimen ominaisuuksiin, jotka tosin vielä nykyään usein rajoittuvat vain tosiaikaiseen ja paras-yritys-vaihtoehtoihin. Sinänsä ATM-määrittelyt tarjoavat mahdollisuuden toteuttaa monia palveluluokkia ja sopia hyvinkin monipuolisista liikenneparametreista. IP-kytkin pohjaa reitityspäätöksensä ATM-kytkimen ohjausosan topologiatuntemukseen verkosta, mutta se ei edes ota huomioon kytkimen voimavaratilannetta ohitusvirtuaalikanavan luontihetkellä. Verkkokerrostasolla reitittävä kytkimen hallintaosa voi siis hyvinkin valita reitin, jolla ei päästä aiottuun palvelun laatuun.

Tietyn vuon yksilöllisiin QoS-pyyntöihin voidaan myös käyttää RSVP-protokollaa, joka eroaa ATM:stä siinä, että vastaanottaja esittää pyynnön ja että se käyttää 'pehmeän tilan' lähestymistapaa. Tietyn polun jokainen IP-kytkin voi hyväksyä tai hylätä RSVP:n voimavarojen varauspyynnön. Nämä varataan muokkaamalla ATM-kytkimen jonotus- ja vuorotteluosia.

IP-kytkin olisi konfiguroitava ohjaamaan uudelleen kaikki vuot, jotka pyytävät käyttöönsä tiettyä kaistanleveyttä, jotta vuot voitaisiin kytkeä nopeasti ns. 'cut-through'-moodissa. Tällöin ATM-kytkimen liikenteenhallinta pystyy takaamaan pyydetyin palvelulaadun - vuon alkupään kymmenkuntaa ensimmäistä pakettia lukuunottamatta. Jos IP-kytkettävä polku on pitkä, normaalisti reititettävien ensimmäisten pakettien määrä on vielä suurempi.

Palvelun laatua voidaan tarkastella kahdelta suunnalta. Jos lähdetään TCT/IP:stä, tarjolla ei ole ollut minkäänlaista palvelunlaatua. Hitaasti kehittyvä RSVP on askel QoS:n tuomiseksi edes yksinkertaisessa muodossa ilmeisesti aliverkkoautonomian ja vapaaehtoisuuden tuomin rajoituksin. ATM:n takaamaa päästä päähän palvelunlaatua IP-kytkentä ei varmasti tavoita nykyversiossaan. Yksinkertainen-on-kaunista-ratkaisu kilpailee lähinnä edullisuudella, yksinkertaisuudesta johtuvalla nopeudella ja koodin vähäisyydestä johtuvalla 'vähävirheisyydellä'.

2.7 Latenssivaihe

Jos ensimmäinen IP-kytkinten kautta lähetettävä paketti on sellainen, että kytkimet on konfiguroitu kytkemään se välittömästi, paketti ikäänkuin herättää ATM-yhteyden. Yhteydellisissä protokollissa kuten TCP, ensimmäinen paketti on 'myötämäkeen' lähetettävä yhteydenmuodostuspyyntö (TCP:llä SYN). Siihen mennessä kun ensimmäinen datapaketti lähetetään vastausanoman (TCP:llä SYN ACK) palauttamisen jälkeen, päästä päähän ATM-yhteys on hyvin todennäköisesti ehditty luoda - muussa tapauksessahan paketti voidaan reitittää oletuskanavan kautta.

Jos linkki tai reititin pettää, yhteydetön dynaaminen reititys etsii uuden korvaavan väylän. Jos reitti tai reititysvalinnat muuten muuttuvat, muutoksen kohteena oleva liikenne ohjataan tilapäisesti oletuskanavan kautta, kunnes uusi virtuaalikanavayhteys on perustettu. Huomattakoon, että yhteydet korjataan paikallisesti eli vain virhekohteessa, mikä on tehokkaampaa kuin koko polun uudelleen rakentaminen päästä päähän.

2.8 Simulointituloksia

Liikennetyyppi vaikuttaa luonnollisesti IP-kytkimestä saatavaan hyötyyn. Jopa silloin kun liikenne koostuu suuresta määrästä yksittäisiä kysely- ja vastauspaketteja, tämä yhteydetön ratkaisu on tehokkaampi kuin tavallinen yhteydellinen IP ATM:n yli. ATM-kytkimestä ei tällöin kuitenkaan juuri ole hyötyä. Varsinaisesti edut tulevat esiin suuria tietomääriä siirtävissä sovelluksissa kuten tiedostojen siirrossa ja tosiaikaisissa ääni- ja kuvalähetyksissä. Myös kohtalaisen määrän pieniä paketteja lähettävä ja kauan kestävä etäkirjoittautuminen (remote login) hyötyy kytkinyhteydestä, kun pakettikohtainen prosessointi vältetään.

Ipsilon on simuloanut IP-kytkintä yhdellä 5 minuutin ja kahdella 10 minuutin otoksella San Fransiscon aluetta Internetiin yhdistävän FDDI-renkaan liikenteestä. Aluksi kytkettäväksi valittiin TCP:n protokollien paketteja, joiden osuus nousi jopa 84 %:iin, ja näihin kuuluvien tavujen osuus kaikista oli n. 90 %, mikä antaa kuvan suuruusluokasta yleisemminkin. Vuon pystyttämiseen ja purkamiseen todettiin tarvittavan 10 paketin lähettäminen. Kun vuo luotiin kaikille kytkettäväksi merkityille paketeille ATM-kytkimellä vahvistetun IP-kytkimen avulla kyettiin välittämään 4,5 kertainen liikenne tavalliseen reitittävään edelleenlähetykseen nähden.

Kytettävien pakettien määrää voidaan säädellä myös kynnyksparametrilla, joka ilmoittaa kuinka monennesta paketista lähtien vuo muodostetaan. Lyhyemmät pakettivirrat voidaan reitittää oletuskanavaa pitkin, jos se esim. laitteistokokoonpanon tai liikenteen jakauman takia katsottaisiin edulliseksi.

Hyvin erilaisiin aineistoihin perustuvat simuloinnit antoivat tulokseksi myös, että yhteydenmuodostuksia oli yksi runsasta sataa pakettia kohti sekunnissa.

3. Toshiba Solukytkeinteritin

3.1 Tavoite

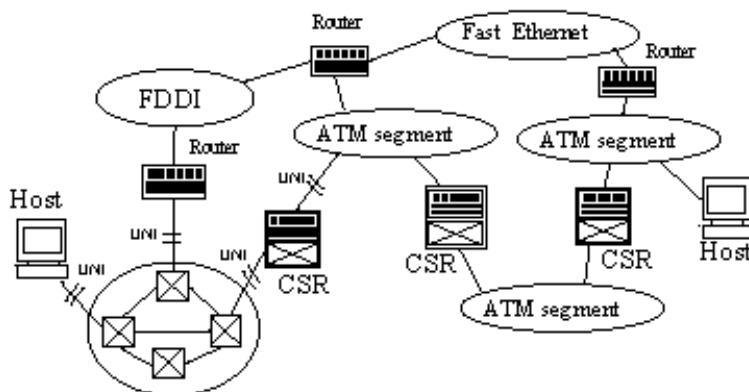
Ehdotuksen päätavoite on ollut ATM:n hyödyntäminen IP-verkoissa hyvin nopeana kytkinteknologiana reitityksen nopeuttamisessa, resurssien varauksessa ja vuotussa. RSVP ja STII-protokollat pystyvät kyllä varaamaan vuokohtaisen siirtokaistan ja takaamaan palvelun laadun, mutta raskas IP-reititys tekee niistä hitaita suurten datavirtamäärien välittämiseen.

3.2 Solukytkeinteritin arkkitehtuuri

Solukytkeinteritin (Cell switch router CSR) on Toshiba ehdotuksen keskeisin elementti. Se pystyy sekä kytkemään soluja, että lähettämään datapaketteja tavalliseen tapaan reitittimeltä reitittimelle.

CSR eroaa tavallisista ATM-kytkimistä siinä, että se on kytketty ATM-verkkoon UNI-liittymän eikä NNI:n kautta. Näin saatua solmujen välistä yhteyttä kutsutaan ATM-ohitusputkeksi ('ATM Bypass-pipe') erotukseksi tavallisesta ATM-verkon läpi kulkevasta virtuaalikanava-yhteydestä VCC.

CSR:ää voi soveltaa sekä ATM-verkkoihin, jotka koostuvat useasta IP-aliverkosta, että IP-verkkoihin, jotka koostuvat useasta erillisestä ATM-verkosta. CSR voi myös toimia NHRP-pohjaisia ATM-verkkoja yhdistävänä reitittimenä.

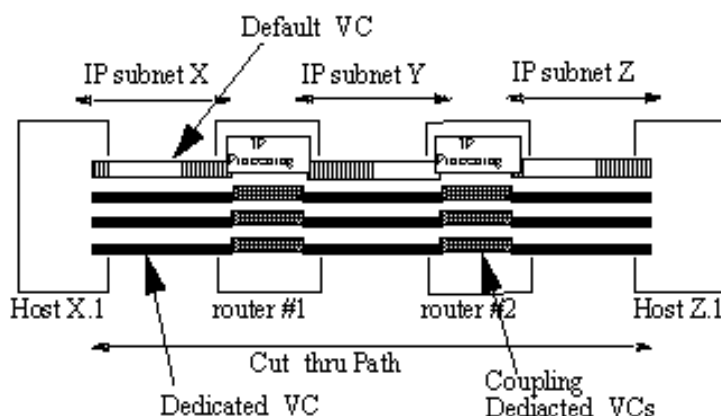


Kuva 3.1 Laaja Internet ja Solukytkeinteritin

Solukytkeinterittimet voidaan yhdistää toisiinsa tai ATM-verkkoon liitettyihin isäntäkoneisiin/reitittimiin kahdella erilaisella ATM:n virtuaalikanavalla:

- Oletusvirtuaalikanava on yleiskäyttöinen kanava yhteyksille, jotka valitsevat tavallisen etappi-etapilta IP-reititetyn polun. Klassisen IP:n luomat virtuaalikanavat kuuluvat tähän ryhmään.
- Varattuja virtuaalikanavia käyttävät IP-vuot, jotka yksilöidään esimerkiksi lähtö- tai kohde-IP-osoitteen tai -portin tai IPv6:n vuoleiman perusteella.

Ohitusputken alku- ja loppupään solmut voivat CSR:ien ohella olla myös ATM-verkon isäntäkoneita tai reitittämiä, mutta kauttakulkusolmujen on oltava CSR:iä, sillä niiden on pystyttävä kytkemään soluja.



Kuva 3.2 ATM-virtuaalikanavan konfigurointiesimerkki CSR:lle

3.3 IP- ja CSR-reitityksen erot

IP- ja CSR-reitityksen alkuvaihe on sama: IP-tason reititys etsii ATM-aliverkon (pilven) ulosmenosolmun. Sen jälkeen IP-reitityksessä luodaan ATM:n yhteydenmuodostusvaiheessa ATM-tason reititystiedoilla (esim. PNNI:n avulla) todellinen reitti valittujen CSR:ien kautta tavoitteeseen. Tämä merkitsee kaksinkertaista reititystiedon laskemista käyttäen apuna verkon topologiaa ja käytettävissä olevaa kaistanleveyttä. Vasta integroidun PNNI:n (IPNNI96) valmistuminen poistaa kahden reititysprotokollan tarpeen koko ATM-verkon alueella.

CSR-mallissa IP-reititys etsii alkuvaiheen jälkeen IP-aliverkkojen välisen polun perille ja ATM-reititys puolestaan IP-aliverkkojen sisäisen polun vierekkäisten solmujen välisille virtuaali-kanaville. Reititys on siis jaettu hierarkisesti: ei päällekkäisyyttä ja vähemmän laskettavaa. NHRP:llä tosin voidaan löytää optimaalisempi ATM-polku.

Solukytkinreititinpohjainen verkko voi dynaamisesti seurata IP-tason reitin muutoksia, eikä ohitusputkia tarvitse purkaa ja rakentaa alusta IP-reitityksen muuttuessa. Samoin jos ATM

linkki, -solu tai -reititin joutuu epäkuntoon, vian huomanneet CSR:t muuttavat automaattisesti asianomaisten ohitusputkien reitit.

Nykyinen NHRP toimii vain yksilähetysmoodissa ja monilähetysreitittimien on ohjattava monilähetys IP-vuot etappi etapilta. IP-tason resurssienvarausprotokollien toiminnassa NHRP:n päällä on tutkimista.

CSR sen sijaan kykenee tarjoamaan monilähetysohitusputkia ilman muutoksia IP- monilähetykseen ATM:n yli (IPMC96) tai monilähetysreititystekniikoihin.

3.4 Ohjousarkkitehtuuri

Toshiba kutsuu 'ohikulkukelpoisiksi solmuiksi' (Bypass-capable nodes) isäntäkoneita ja reitittämiä, jotka osaavat käyttää ohitusputkiohjousprotokollaa.

Ohitusputkia käytetään seuraavissa tapauksissa:

- Alku- tai loppupään isäntäkoneet tai reitittimet lähettävät suuren määrän paketteja tiettyyn kohteeseen, esimerkiksi isäntäkoneet tai reitittimet luovat ohitusputken
 - mitattuaan tiettyyn kohteeseen lähetettyjen IP-pakettien määrän
 - kun ne havaitsevat pakettien kuuluvan tietyille ylempien kerrosten protokollille.
- Toinen syy ohitusputkien perustamiseen on isäntäkoneiden ilmoittama IP-tason kaistanleveys/QoS-tarve. Tämä tarve voidaan tyydyttää joko ohjaamalla pyynnön kohteena oleva vuo olemassa olevaan virtuaalikanavaan tai varaamalla sille uusi ns. varattu VC. Kun jälkimmäinen päätös tehdään jokaisella reitittimellä ja nämä VC:t yhdistetään solukytinreitittimessä saadaan ohitusputki. Kaistanleveyteen QoS:ään perustuva putken varaus yleisty, kun tarvittava IP-tason resurssien varausprotokolla valmistuu ja kun sovelluksille tarjottavat yksilöllisten palveluluokkien ja voiden määrittelyt tarkentuvat.

3.5 Varattujen virtuaalikanavien luonti

Varatut VC:t voidaan luoda seuraavalla kolmella tavalla:

- Pyyntöstä perustettu SVC: IP-aliverkkoon luodaan VC aina kun ATM-merkinannon välityksellä halutaan luoda ohitusputki.
- Poimitaan vapaa kanava (semi-) PVC:iden joukosta: CSR:ien tai näiden ja muiden solmujen, kuten isäntäkoneet tai reitittimet, välille luodaan etukäteen jokaiseen IP-aliverkkoon useita virtuaalikanavia. Ohitusputkea luotaessa valitaan näistä yksi varattua putkea varten.

- Poimitaan VCI PVP/SVP-joukosta: Luodaan etukäteen CSR:ien tai näiden ja muiden solmujen, kuten isäntäkoneet tai reitittimet, välille pysyvät tai kytkentäiset virtuaaliväylät jokaiseen IP-aliverkkoon. PVP:t luotaisiin isäntäkoneen/reitittimen alustuksen yhteydessä, kun taas SVP:t varattaisiin ATM-merkinannon välityksellä kun joku päätesolmu pyytää joko varattua tai oletusvirtuaalikanavaa. Ohitusputkea luotaessa varataan vapaa VCI-arvo jokaisesta IP-aliverkosta. SVP:n voisi vapauttaa, jos sillä ei ole yhtään aktiivisia VC:tä.

Näistä ensimmäinen vaihtoehto käyttää verkon resursseja tehokkaimmin, mutta on hitaana-lainen. Jos on mahdollista odottaa ohitusputken perustamista ja sillä aikaa lähettää paketteja oletusvirtuaalikanavalla, tämä on käypä vaihtoehto. Sillä on kolme vaihetta: Yksilähetykselle ATMARP tai monilähetykselle IPMC96, SVC:n varaaminen jokaiselle IP-aliverkolle ja ohitusputken ohjausviestien vaihto tässä tapauksessa.

Toisessa tapauksessa jokaisen solmun tulisi määritellä joitakin liikennettä kuvaavia määreitä virtuaalikanaville - myös käyttämättömille - ja ATM datalinkin tulisi varata näille haluttu resurssi (kuten VCI-arvo tai kaistanleveys).

Kolmannessa tapauksessa liikennemääreet annettaisiin ATM-datalinkeille vain virtuaaliväylä-kohtaisesti. VC-kohtaiset resurssit varaisi tarvittaessa CSR tai ATM:ään liitetty isäntäkone/-reitit, eikä ATM-datalinkki.

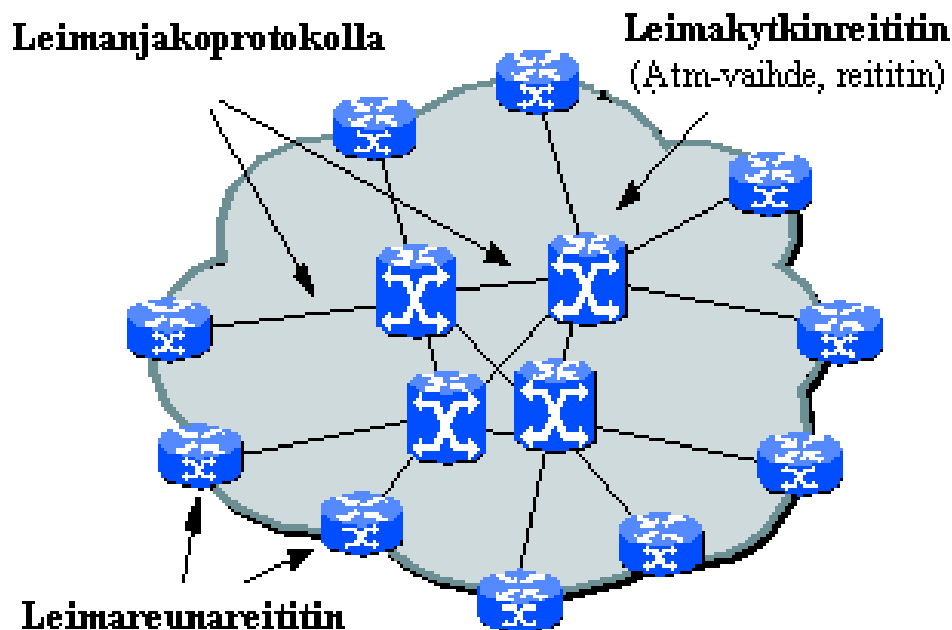
3.6 Ohitusputkien ohjausviestien kanavat

Ohjausviestit, joilla luodaan tai vapautetaan ohitusputki tai muutetaan sen reitti, voidaan välittää kolmella tavalla:

- Kanavan sisäisessä ohjausviestien välityksessä ohitusputkea luotaessa viestit välitetään varatulla VC:llä, josta sittemmin tulee osa ohitusputkea. Reitit varrella olevat CSR:t eivät tunnista ohitusputken luonnin jälkeisiä ohjausviestejä - sillä ne lähetetään eteenpäin CSR:issä solutasolla - ellei näitä viestejä merkitä esimerkiksi soluotsikon PTI-bitin avulla, jolloin ne tunnistetaan OAM-soluiksi.
- Ulkoisen kanavan ohjausviestien on - toisin kuin kanavan sisäisten - ilmaistava, mitä ohitusputkea ne haluavat ohjata. Ohitusviestit voidaan välittää etappi etapilta joko varaamalla niille oma virtuaalikanava tai oletusvirtuaalikanavaa käyttämällä erotetaan ohjausviestit muista datapaketeista esimerkiksi IP-otsakkeen protokolla kentän arvolla.
- Olettaen, että ATM:n merkinantoviestit kykenevät välittämään lähtö- ja kohde IP-osoitteita (ja mahdollisesti myös porttitunnuksia), niitä voitaisiin mahdollisesti käyttää myös ohitusputkien ohjausviestien kuljettamiseen.

4. Ciscon Leimakytkentä

Ciscon ratkaisu oli alunperin nimeltään Lippukytkeä (Tag switching). Vuoden -97 alussa lippu-termi korvattiin leimalla (label). Leimakytkentä perustuu moniprotokollakehysten merkitsemiseen leimoilla, kun niitä lähetetään paketti- tai solupohjaisissa verkoissa. Siirrettäviin soluihin tai paketteihin liitetään lyhyt vakiomittainen leima, joka kertoo kytkin-solmuille miten dataa on käsiteltävä. Leimat viittaavat kohdeverkkoihin tai -isäntäkoneisiin. Solujen edetessä kytkinten läpi solmut vaihtavat leimoja sen sijaan, että joutuisivat prosessoimaan solut.



Kuva 4.1 Ciscon leimakytkentä

Ciscon ratkaisu koostuu seuraavista elementeistä:

- Reunareitittimet (Label edge routers): sijaitsevat leimakytkinverkon reunoilla ja toteuttavat verkkokerroksen lisäarvopalveluja ja liittävät leimat paketteihin/soluihin
- Leimakytkinreitittimet (Label switching router) LSR: kytkevät leimattuja paketteja tai leimoihin perustuvia soluja, lähettävät ne eteenpäin ja hoitavat tarkistukset
- Leimajakoprotokolla (Label distributing protocol LDP): LDP välittää leimainformaatiota leimakytketyssä internetissä yhdessä verkkokerroksen yleisten reititysprotokollien kanssa

Reunareitittimet ja leimakytkimet käyttävät normaaleja reititysprotokollia reitityspäätösten tekoon ja ne toimivat hyvin yhdessä reitittimien kanssa, jotka eivät käytä leimakytkentää.

Leimareitittimet ja -kytkimet käyttävät normaalien reititysprotokollien reititystauluja leima-informaation tallentamiseen ja välittämiseen leimanjakoprotokollan välityksellä. LDP:ltä saamansa informaation pohjalta ne muodostavat edelleenlähetystietokannan, FIB:in. Paketin vastaanottaessaan reunareititin liittää pakettiin leiman valittuaan ensin reitin ja suoritettuaan muut verkkokerrospalvelut ja lähettää paketin valitun reitin seuraavalle leimakytkimelle. Tämä kytkee paketin pelkästään leiman perusteella tutkimatta uudelleen verkkokerrosotsaketta. Kun paketti saapuu määränpäähensä leimaverkon toiselle reunalle, leima poistetaan.

4.1 Reunareititin

Tavallinen reititin voidaan päivittää reunareitittimeksi Ciscon IOS:ään kuuluvalla ohjelmistolla. Hyvä piirre on, ettei olemassaolevaa laitteistoa tarvitse uusia, eikä hankkia välttämättä lisälaitteita.

Ciscon ratkaisu tukee useita algoritmeja ja tekniikoita leimoja paketteihin liitettäessä:

- Määränpäälite (destination prefix): reunareititin etsii tavanomaiseen tapaan lähetystauluistaan kohde IP-osoitetta vastaavan määränpäälitteen. Näin usea samaan kohteeseen lähetävä lähde voi käyttää yhteistä leimaa (myös useat määränpäälitteet voivat käyttää yhteistä leimaa), jolloin vältetään nykyisten IP-kytkinratkaisujen ongelma: leimojen lukumäärän yletön kasvu. Reunareitittimen ei siis tarvitse antaa erillistä leimaa jokaiselle näkemälleen lähde/kohde IP-osoitekombinaatiolle. Juuri tähän perustuu ratkaisun skaalautuvuus.
- Liikenteen sääntely: Leimojen avulla voidaan liikennettä jakaa solmujen välisille runko-yhteyksille ja näin tasapainottaa verkon kokonaisuormitusta. Tämä vastaa virtuaalikanavien käyttöä puhtaissa kakkoskerroksen laitteissa Internet-liikennettä hoidettaessa, mutta tässä se voidaan toteuttaa kolmoskerroksella leimakytkintekniikkaa käyttämällä.
- Sovellusvirrat: Tämä metodi käyttää lähde- ja kohdeosoitteita sekä muuta kolmoskerroksen informaatiota. Tällä tavalla leimattuja paketteja voidaan prosessoida hienojakoisemmin ja säilyttää haluttu palvelutaso halutulla pakettivirralla, kuten RSVP:llä.

Verkon sisällä käytettävää leimakytkintekniikkaa täydentää verkon reunoilla reunareitittimissä Ciscon NetFlow-kytkentäteknikka.

4.2 Leimakytkinreititin

Koska leimakytkintekniikka erottaa leimanjakelumekanismin datavirroista, lyhyt vakiomittainen leima voidaan liittää pakettiin usealla tavalla kuten:

- Käyttämällä kakkoskerroksen otsaketta (esim. ATM solujen VCI-kenttää)
- Käyttämällä kolmoskerroksen otsaketta (esim. IPv6:n vuoleimakenttää, flow label)
- Kakkos- ja kolmoskerroksen otsakkeitten välissä

Tämä tekee mahdolliseksi leimakytkintekniikan käytön ATM:n ohella Packet-over-SONET (POS) linkeillä, Ethernetissä jne. Käyttö ei rajoitu myöskään pelkkään IP-protokollaan vaan soveltuu myös useisiin muihin kolmoskerroksen protokolleihin.

Standardireitittimet voivat toimia leimakytkinreitittiminä, kun ne varustetaan ao. ohjelmistolla. Näin voidaan puhtaisiin reititin Internet-aliverkkoihin lisätä leimakytkinreitittimen liikenteen sääntelyominaisuus (tuning) ilman varsinaisia kakkoskerroksen kytkentälaitteita, joka on selvä lisäys tämän päivän mahdollisuuksiin. Tulevaisuudessa lisäohjelmistot voidaan korvata lisälaitteilla, jotka entisestään nopeuttavat leimapakettien käsittelyä. Kun esimerkiksi tavalliseen ATM-kytkimeen lisätään sopivien kolmoskerroksen reititysprotokollien ja LDP:n käsittely, se voi toimia LSR:nä (tai tarkemmin ATM LSR:nä) asettamalla leiman VCI-kenttään (ja/tai VPI-kenttään). Tällöin vältetään ATM:n tavanomainen yhteydenmuodostusproseduuri, joka asettaa VCI:n ja ohjelmoi kytkimen.

Korkeat kutsunmuodostustiheydet eivät häiritse toimintaa. Yksi ATM-kytkin voi kuitenkin hoitaa sekä leimakytkinreititykseen perustuvaa Internet-palvelua, että tavanomaista ATM-kytkentää. VPI/VCI osoiteavaruudet on tällöin jaettava näiden toimintojen kesken. Kytkentäisten virtuaalikanavien (SVC) käyttöä hyvin dynaamisten IP-pakettivirtojen käyttöön ei tarvita ja näin vapautuu CPU prosessointikapasiteettia PNNI:lle. Myöskään pitempikestoisia virtuaalikanavia, kuten reaaliaikaiselle äänelle ja videolle, ei tarvita.

Leimakytkentä perustuu ns. leiman vaihtoon (label swapping), ja toimii seuraavasti: Kun LSR vastaanottaa leimallisen paketin se käyttää leimaa indeksinä LIB-kantaansa. LIB-jäsen koostuu sisääntuloleimasta ja yhdestä tai useammasta alajäsenestä, jotka koostuvat ulosmenoleimasta, -rajapinnasta ja kakkostason ulosmenoinformaatiosta. Jos tulevan paketin leimalle löytyy vastine LIB:stä, paketin leima liitetään alajäsenen ulosmenoleimaan, paketin kakkoskerroksen informaatio vastaavaan ulosmenoinformaatioon, ja paketti lähetetään eteenpäin ulosmenorajapinnan kautta.

Koska leima kuljetetaan ATM solun VCI- ja/tai VPI-kentässä, määräävät nämä leiman koon ja paikan.

Koska useat ATM kytkimet eivät tue moni-yksi- eivätkä moni-moni-virtuaalikanavia, ne eivät myöskään tue niiden yhdistämistä.

ATM LSR:nä toimiminen ei edellytä, että ATM-kytkin tukisi UNI:a tai PNNI:tä. Se voi valinnaisesti reagoida OAM-soluihin.

Kaksi ATM LSR:ää voidaan yhdistää virtuaaliväylillä tavallisten ATM-kytkinten kautta, jolloin leima kuljetetaan VCI-kentässä.

4.3 Leimanjakoprotokolla

Leimanjakoprotokollan avulla LSR:t ja reunareitittimet vaihtavat leimatietoja, jotka ne tallettavat leimatietokantaan (Label information base, LIB). Joissain tapauksissa myös muita protokollia käytetään leimasidosten jakamiseen (esim. RSVP, PIM ja BGP).

Kun määränpäälitealgoritmia käytetään LDP:n ja tavallisten reititysprotokollien kanssa, leimatieto luodaan LIB:iin ennen kuin pakettivirrat alkavat matkata verkossa. Tästä topologiapohjaisuudesta on se etu, että myös hyvin lyhytkestoisten virtojen kaikki paketit voidaan ohjata leimakytkennällä. Liikennepohjaisessa ratkaisussa yksilöllisiä virtoja ei voida asettaa ennen kuin tietty määrä paketteja on lähetetty eli liikennettä on ollut. Hyvin nopealle ATM:lle tämä 'kaksoisreitittäminen' eli että useita paketteja lähetetään myöhemmin luotavasta ATM-polusta erilliselle kerroksen 3 funktiolle, voi muodostua pahaksi pullonkaulaksi.

Toinen selvä etu LDP:n ja tavallisten reititysprotokollien käytöstä leimakytketyssä verkossa saavutetaan, kun IP Internet rakennetaan ATM-kytkimistä ja niitä ympäröivistä reunareitittimistä. Reunareitittimet on VC:iden avulla yhdistetty täydellisellä kytkennällä ATM-kytkinten läpi, jolloin reititysprotokollien kannalta kaikki reitittimet ovat toistensa määränpäitä. Tämä asettaa verkon koolle selvän ylärajan. Ongelma johtuu siitä, että ATM-kytkimet ovat läpinäkyviä reitittimille. Leimakytketyssä verkossa leimakytkinreitittiminä toimivat ATM-solmut osallistuvat täysin hierarkiseen reitittämiseen ja toimivat reunareitittimien määränpäinä, jolloin reunareitittimet näkevät paljon vähemmän määränpäitä kuin tavanomaisessa ratkaisussa ja voidaan rakentaa huomattavasti suurempia verkkoja.

4.4 Määränpääpohjainen reititys

Määränpääpohjaisessa reitityksessä reititin lähettää paketin eteenpäin pakettiin sisältyvän kohdeosoitteen ja ylläpitämänsä eteenpäinlähetystietokannan FIB:in tietojen perusteella.

Reititin saa FIB:in tiedot reititysprotokollilta kuten BGP:ltä ja OSPF:ltä. Leimakytkinreititin toimii aivan samoin.

Leiman varaamiseen ja LIB:in hallintaan on käytössä kolme menetelmää, joissa jokaisessa kytkin varaa leimat ja liittää ne verkko-osoitteiden etuliitteisiin FIB-kannassa:

- Alavirtaan allokointi: jokaista FIB:ssä olevaa reittiä kohti varataan leima, luodaan jäsen LIB:iin, jonka sisääntuloleimaksi asetetaan varattu leima. Tämän jälkeen leimakytkin ilmoittaa leiman ja reitin kytkennästä naapureilleen LDP:llä tai käytössä olevilla reititysprotokollilla.
- Alavirtaan allokointi pyynnöstä: Jokaista FIB:nsä reittiä kohti kytkin tunnistaa ko. reitin seuraavan etapin. Sen jälkeen se lähettää LDP:n välityksellä pyynnön leiman kytkemisestä tähän reittiin. Seuraava etappi varaa pyynnön saatuaan leiman, luo jäsenen LIB:iinsä siten, että sisääntuloleimaksi asetetaan varattu leima, ja palauttaa sisääntuloleiman ja reitin pyynnön lähettäneelle leimakytkimelle. Kun tämä vastaanottaa tiedon sidoksesta, se luo LIB:iinsä jäsenen, jonka ulosmenoleiman arvoksi se asettaa seuraavalta etapilta saamansa arvon.
- Vastavirtaan varaus: Jos leimakytkimellä on useita päästä päähän liittyviä, silloin se varaa leiman jokaista sellaista FIB:ssään olevaa reittiä kohti, joka on saavutettavissa jonkin em. liittymän kautta. Sitten se ilmoittaa LDP:llä seuraavalla etapille tiedon ulosmenoleiman ja reitin kytkennästä. Kun seuraava leimakytkin vastaanottaa tiedon leimakytkennästä, se sijoittaa leiman (joka oli osana kuljetettua kytkintietoa) sisääntuloleiman arvoksi reittiin liittyvään LIB:in jäseneeseen.

Kaksi viimeeksi mainittua sopivat parhaiten ATM:n kanssa käytettäviksi.

Kun LIB:ssä on tiedot sekä sisääntulo- että ulosmenoleimoista, se pystyy lähettämään paketteja leimoihin kytketyille reiteille leimakytkinalgoritmin pohjalta. Huomattakoon kuitenkin, ettei määränpääpohjaisessa reitityksessä voida kokonaan välttää tavallista verkkokerroslähetystä. Kun esimerkiksi leimattomaan pakettiin lisätään ensimmäistä kertaa leima tai kun leimakytkin yhdistää reitijoukon (esim. käyttämällä hierarkista reititystä), tarvitaan tavallinen verkkokerroslähetys. Eli mitä suurempi ja yhtenäisempi leimakytkinreititysalue on, sitä useammin suhteessa paketit voidaan kytkeä suoraan leimojen perusteella.

4.5 Reitityshierarkia

IP-reititysarkkitehtuuri käsittää verkon kokoelmana reititysalueita, joiden sisällä liikutaan sisäistä reititystä käyttämällä (esim. OSPF) ja alueelta toiselle ulkoisen reitityksen (esim. BGP)

avulla. Internet-palvelujen tarjoajat hoitavat läpikulkuliikennettä ja tarvitsevat ulkoista reititystä, jonka vaatima tietomäärä ei ole tänä päivänä vähäinen.

Leimakytkinratkaisu erottaa sisäisen ja ulkoisen reitityksen, joten vain aliverkon reunalla sijaitsevien leimakytkinten on hallittava ulkoisen reitityksen tarvitsema laajempi tietomäärä. Tämä keventää alueen sisäisten solmujen reitityskuormaa.

Tämä alueiden erottelu on hoidettu siten, että paketti voi kuljettaa mukanaan useita leimoja. Nämä on järjestetty pinoksi ja niihin voi soveltaa kaikkia pino-operaatioita. Kun paketti siirretään reunareitittimeltä toisen aliverkon reunareitittimelle, paketin pinossa on vain yksi leima. Sen sijaan alueen sisällä pakettia lähetettäessä, pinossa on kaksi leimaa, joista toisen on laittanut alueen rajalla oleva sisääntuloleimakytkin. Päälimmäinen leima ohjaa paketin oikealle aliverkon raja-alueen ulosmenon leimakytkimelle ja toisen leiman perusteella paketti reititetään rajaleimakytkimessä eteenpäin.

Toiminnaltaan hierarkiamalli eroaa edellisestä siinä, että tässä mallissa leimakytkentätieto jaetaan tietyssä aliverkossa sekä vierekkäisten leimakytkinten, että reunaleimakytkinten kesken.

4.6 Palvelun laatu

Leimakytkennässä on varauduttu palvelunlaadun toteuttamiseen, tosin verraten yksinkertaisella tavalla. ATM:n hyvin monipuoliseen palvelunlaatuoluokitteluun ei pyritäkään. Vähäisempikin tavoite on parannus nykyisen Internet-liikenteen täydelliseen 'perusturvan puuttumiseen'. Toisaalta ATM:n hienojakoinen palveluhierarkia on toteutettavissa vain päästä-päähän-ATM-yhteyksillä, jotka ovat vielä verraten harvinaisia.

Cisco kutsuu leimakytkennän palvelutasoa palveluluokaksi (Class of service, COS). Näitä luokkia on korkeintaan kahdeksan. Paremman palvelun luokalla voisi olla pienempi viive tai hävikki. Leimakytkinreitittimen kehityksessä on etuoikeus- tai COS-kenttä. Leimakytkentä ei koskaan liene käytössä koko Internetissä, mutta IP-otsakkeen etuoikeuskentän (precedence) välityksellä palveluluokkakäsite voitaisiin laajentaa koko verkkoon. Jos palveluluokka asetettaisiin leimareunareitittimessä, se olisi vietävä myös IP-otsakkeen etuoikeuskenttään, mikäli LS-verkko ei ulotu päästä-päähän.

Leimakytketyssä ATM-ympäristössä on varauduttava varaamaan määränpäätuliitettä kohti yhtä monta leimaa kuin on luokkia. Niitä otetaan käyttöön vasta tarvittaessa, jottei leimoja tarpeettomasti 'kulutettaisi'. TDP hoitaa leimojen kytkennän etuoikeuksiin. Leimakytkennän suunnittelu on vielä kesken ja RSVP:n käyttö palvelutasoa takaamaan on hyvinkin mahdollista.

5. IBM:n Reittipohjainen IP-yhdistelmäkytkentä ARIS

IP-pohjaisten verkkojen ehkä yleisimmät reititysprotokollat ovat IETF:n suosittelemat BGP ja OSPF. IBM:n ratkaisu perustuu näiden protokollien käyttöön IP-paketteja kytkettäessä. Lisäksi IBM on luonut yksinkertaisen ARIS (Aggregate route based IP switching) protokollan, joka muodostaa kytkentäisiä polkuja verkon läpi. Kuten monet muutkin vastaavat tekniikat ARIS on helposti laajennettavissa ATM:n lisäksi muihin kytkentäteknikoihin ja muihin reititysprotokolliin.

Yhdistetty kytkinreititin ISR (Integrated switch router) on ATM:n virtuaalikanavakytkentä- tuella varustettu normaali IP-reititin. ATM-ympäristön sisääntuloliittymässä sijaitsevan kytkinreitittimen lähetystauluun on siis lisätty viittaus kytkentäiseen polkuun eli virtuaalikanavaan. Se voi päättyä joko naapurireitittimeen tai aliverkon ulosmeno-ISR:ään kuljettuaan ensin parasta IP-polkua pitkin usean ISR:n kautta. Tämä mahdollistaa datapakettien kytkennän laitteisto-nopeuksilla (HW) koko ISR-verkon läpi.

IP:n reititysprotokollia ja ARIS VC-asetusprotokollaa yhdistää ulosmenotunniste (egress identifier). Se ilmoittaa ulosmeno-ISR:n, joka välittää liikennettä johonkin toiseen reititys- alueeseen tai yli aluerajan tietyssä aliverkossa. ARIS perustaa virtuaalikanavan jokaiseen ulosmeno ISR:ään.

Kytkeytyt polut perustetaan siten, että ulosmeno-ISR:t lähettävät yläjuoksun naapureilleen (yleensä saman alueen) perustamisviestin. Nämä jatkavat viestit omille yläjuoksun naapureilleen 'käänteisen polun monilähetyksenä' varmistuttuaan, että perustettava polku ei sisällä rengasta. Lopulta kaikki ISR:t luovat virtuaalikanavayhteyden kaikkiin ulosmeno-ISR:iin. Yleensä tämä polkuverkko on rakenteeltaan puu, jonka juuri on ulosmenossa.

5.1 Polkujen määrän rajoittaminen

Jotteri kytkettyjen polkujen määrä kasvaisi liian suureksi ARIS kuitenkin minimoi ISR-verkon virtuaalikanavien määrän. Rajatusta VP/VC osoiteavaruudesta on lisäksi osa varattava ATM palveluihin ja muillekin sovelluksille kuten RSVP:lle. Minimoinnin myötä verkon hallinta luonnollisesti paranee ja virtuaalikanavien perustamisen vaatima kuorma vähänee. Kaksi tapaa tavoitteen saavuttamiseksi ovat:

- Käytetään ulosmenoreitittämiä, jotka voivat yhdistää jopa tuhansia IP-kohteita yhteen virtuaalikanavaan

- Sallitaan virtuaalikanavien yhdistäminen, jolloin puurakenne yhdistää kaikki sisääntulot annettuun ulosmenoon täydellisellä kytkennällä ilman, että tarvittavien virtuaalikanavien lukumäärä olisi suuruudeltaan sisääntulojen neliön luokkaa.

Kun kaikki aliverkon reitittimet ovat ISR:iä, verkko on luonnollisesti tehokkaimmillaan ja suhteellinen virtuaalikanavien määräkin on edullisin. IBM:n mukaan ARIS on myös parhaimmillaan silloin kun IP-reititystopologiassa IP-kohteiden määrän suhde ulosmenoihin on suuri, kuten runkoverkoissa on.

Virtuaalikanavien määrän säästö perustuu ISR:n laitetason ominaisuuksiin. Jotkut ATM kytkin-komponentit voivat yhdistää useita sisääntulevia VC:itä yhdeksi ulosmeneväksi lähes tavallisilla kytkentänopeuksilla. Yhdistäminen hoidetaan siten, että sisääntulevat solut kootaan uudelleen uusiin kehyksiin lomittamatta eri kehysten soluja.

5.2 Renkaiden estäminen

ARIS takaa renkaattomat kytkentäpolut jopa äkillisten reitinmuutoksista johtuvien IP-reititysrenkaiden tapauksessa. Kun jokainen etappi vähentää TTL laskimen arvoa, liikenne ennen pitkää poistetaan. ATM:ltä puuttuu vastaava laskin, joten liikenne jatkuisi VC-renkaan keston ajan ja pahimmillaan sekoittaa IP-reititysliikennettä ja hidastaa reititystä pidentäen samalla renkaan kesto.

Virtuaalikanavaa perustettaessa asianomaiset ISR:t lisäävät tunnuksensa jokaiseen eteenpäin lähettämässä perustamissanomaan. Näin syntynyt reitti voidaan tunnistaa solmu solmulta ja jokainen ISR, joka vastaanottaa perustamisviestin varmistuu, että polku on kunnollinen ja ettei renkaita ole. Huomattakoon, ettei ARIS pyri purkamaan äkillisiä IP-renkaita, vaan estämään VC-renkaiden synnyn.

5.3 Tietokannat

ISR käyttää kolmea loogista tietokantaa reittien määrittämiseen ja pakettien lähettämiseen:

- Reititystietokanta RIB (Routing information base): erilaisten IP-reititysprotokollien avulla lasketaan parhaan yrityksen (best effort) reitit. Tämä kanta on olennaisesti sama ISR:llä kuin reitittimillä. ISR käyttää sitä lisäksi ulosmenosolmujen paikantamiseen ja tunnistamiseen kahdelle allaolevalle kannalle.
- Edelleenlähetyškanta FIB (Forwarding information base): ISR:n FIB:iin on reitittimien kantaan verrattuna lisätty jokaiselle seuraavalle etapille ulosmenotunniste. Muut tiedot ovat ulosmenorajapinta, seuraavan etapin IP-osoite ja näihin liittyvä alajuoksun virtuaalikanava.

Reititysprotokollat liittävät ulosmenotunnisteet etappeihin ja ARIS etapit/ulosmenotunnisteet perustettuihin virtuaalikanaviin.

- Kytkentäpolkukanta VCIB (VC information base): Tätä kantaa ei ole tavallisella reitittimellä. Se vastaa jokaisen ulosmenotunnisteen alajuoksun ja yläjuoksun VC:iden liittämistä toisiinsa halutulla tavalla näihin liittyvistä tiloista.

5.4 Ulosmenotunnisteet ja ISR:t

Ulosmenotunnisteilla ARIS tasapainottaa toivetta liittää monta IP-osoiteliitettä tiettyyn ulosmenotunnisteeseen ja toisaalta halua maksimoida kytkennän tuomat edut. ARIS valitsee jonkin seuraavista tunnistetyypeistä reititysprotokollilta saamansa tiedon ja paikallisen konfiguraation mukaan:

- IP-määränpääliite (IP destination prefix): Jokainen määränpääliite ylläpitää omaa VC-puutaan. Tämä ratkaisu ei skaalaudu suurissa runkoverkoissa, joissa IP-kohteiden määrä on suuri. Toisaalta jotkut protokollat, kuten RIP, eivät pysty tarjoamaan parempaa tietoa. Tämä tunnistetyyppi on käyttökelpoinen pienemmissä verkoissa kuten kampuksilla tai jopa jonkin yrityksen yksityisessä WAN:issa.
- Ulosmeno IP-osoite (Egress IP address): Käytetään lähinnä BGP-protokollapäivityksiin. Jotkut OSPF reitityypit käyttävät tätä myös.
- OSPF-reititintunnus: Sallii useiden OSPF:n reitittämien datapakettiprotokollien liikenteen yhdistämisen. Tuorein versio OSPFv3 tukee sekä IP:n että IPv6:n reititintunnuksia.
- Monilähetyspari: (lähde, ryhmä) paria käyttävät monilähetysprotokollat kuten DVMRP, MOSPF ja PIM. Kaksi jälkimmäistä käyttävät myös versiota (lähteen sisääntulo, ryhmä).

Ulosmenotunnisteiden valinnan joustavampaan hallintaan päästään, jos näille määritellään hierarkia. Näin ISR:t saadaan itseoppiviksi tai ne pystyvät muuten valitsemaan eri tilanteisiin parhaiten sopivan tunnisteen. IBM:n mukaan suorituskykyä voidaan parantaa, kun ulosmenotunnisteet asetetaan viittaamaan ulosmeno-ISR:ää seuraavaan reitittimeen. Tällöin datapaketit voidaan kytkeä reititysalueen sisääntulosta suoraan reitittimeen ohi ulosmeno-ISR:n.

5.5 Ulosmeno-ISR

Ulosmeno-ISR on yhdistetty kytkinreititin, joka täyttää jonkun seuraavista ehdoista:

- Ulosmenotunniste viittaa ISR:ään itseensä.

- Ulosmenotunniste voidaan saavuttaa seuraavan etapin reitittimen kautta, joka on ISR-kytkentäinfrastruktuurin ulkopuolella.
- Ulosmenotunniste voidaan saavuttaa ylittämällä reititysalueen raja, kuten siirryttäessä toiselle alueelle OSPF-yhteisverkossa (summary network) tai toiseen itsenäiseen OSPF AS ja BGP-reittien järjestelmään.

5.6 Elinikälaskuri

IPv4 reitittimet edellyttävät, että jokaisen solmun, jonka kautta IP datapaketit kulkevat, on voitava vähentää pakettien TTL-kentän arvoa. Nykyään ATM ei tähän pysty, mutta ARIS voi päivittää TTL:n arvon ulosmenotunnistekohtaisen etappilaskimen avulla.

5.7 Monireittisyys

Monet reititysprotokollat kuten OSPF tarjoavat mahdollisuuden useaan yhtä edulliseen polkuun (equal-cost) haluttuun määränpäähän. ATM-kytkinten (koskee lähes kaikkia) rajoituksista johtuen, jokaiselle polulle on varattava oma virtuaalikanava. Näin ollen sisääntulo-ISR:t joutuvat valitsemaan käytettävän polun. Jokainen ISR, joka vastaan-ottaa useita perustamisviestejä eri polkujen alavirran ISR:ltä, voi neljällä eri tavalla lähettää useita perustamisviestejä ylävirtaan:

- Lähetetään monet perustamisviestit vastavirtaan säilyttäen virtuaalikanavat. Jokaiselle viestille on varattava numeerinen tunniste, jottei uutta viestiä erehdyksessä tulkittaisi edellisen päivitykseksi. Tämä vaihtoehto ei selvästikään säästä virtuaalikanavia.
- Välitetään vain yksi perustamisviesti vastavirtaan, jolloin datapaketit lähetetään monipolku-ISR:llä IP:n verkkokerroksella. Virtuaalikanavien määrässä säästetään, mutta kytkennän tehokkuuden kustannuksella.
- Välitetään vain yksi perustamisviesti vastavirtaan ja unohdetaan muut. Virtuaalikanavien määrässä säästetään, ja kytkennän tehokkuus säilyy. Alavirran linkit eivät ehkä kuormitu yhtä tasaisesti kuin edellisissä vaihtoehdoissa
- Lähetetään vastavirtaan yksi viesti, joka sisältää kaikkien alavirran poluilta tulleiden viestien sisällön. Tällöin monipolkureitin alkukohtaan johtaa vain yksi virtuaali-kanava. Edellytyksenä on, että ko. ISR:n ATM-kytkinlaitteisto pystyy oikein jakamaan yläjuoksulta saapuvan liikenteen alavirran virtuaalikanaville. Rengaspolut vältetään sillä, että ylävirtaan lähetetty viesti yhdistää saapuneiden viestien ISR-tunnuslistat. Tämä tapa säästää virtuaalikanavien määrää ja on tehokas, mutta vaatii hieman monimutkaisemman toteutuksen.

5.8 Virtuaaliväylälaajennus

Jotta ARIS pystyy yhdistämään virtuaalikanavavirtoja, edellytetään ATM-kytkimiltä kykyä estää solujen lomitusta. Useimmat kytkimet eivät tähän pysty. Eräs ratkaisu on korvata ulosmenosolmuihin johtavat virtuaalikanavat virtuaaliväylillä. VP-laajennus kykenee yhdistämään VP:t. Solujen lomitusta estetään asettamalla virtuaaliväylien sisäisiin virtuaalikanaviin yksilöivät tunnukset VCI:t. Jokainen ISR tarvitsee yksilöllisen VCI-joukon erottaakseen tiettyyn ulostuloon johtavat solupolkunsa. Virtuaaliväylälaajennus tuhlaa VC:iden määrää yhdistämistä enemmän, mutta välttämällä kehysten muodostuksen ja purun polunvarren ISR:illä, se vähentää verkon odotusaikoja ja keventää laitevaatimuksia.

6. Telen ehdotus SITA

6.1 Ongelma

Miten voidaan tehokkaasti yhdistää ATM-verkkolla joukko IP-reitittämiä, kuten Internet-operaattorin liittymä/reunareitittimet tai kampuksen laitoskohtaiset reitittimet. Ratkaisun tulisi kattaa muutama sata reititintä.

6.2 Yksilähetyksratkaisu

IP reitittimet vaihtavat tietoja keskenään OSPF:n välityksellä. ATM-kytkimet on joko konfiguroitu osallistumaan OSPF:n toimintaan tai ne yhdessä reitittimien kanssa käyttävät PAR:ia (PNNI Augmented routing). AS:n ulkopuolinen kommunikointi hoidetaan BGP:llä, jota myös välittäjinä toimivat reitittimet käyttävät. Kaikki reitittimet tuntevat kaikki kohdeverkot (ellei oletusreitittämiä käytetä ulkopuolisille yhteyksille), mutta keskellä olevien ATM-kytkinten tarvitsee vain löytää tiensä reitittimille.

OSPF tai PAR konfiguroi ATM-kytkinten VPI-taulut niin, että reititin, jonka tunnus on x voidaan tavoittaa arvon $VPI = x$ avulla kaikista kytkimistä. SITA käyttää osan PVPC:ille varatusta osoitejoukosta.

Kun reititin, jonka tunnus on y, vastaanottaa yksilähetyksen paketin, joka voidaan toimittaa määränpäähänsä reitittimen x kautta, se asettaa kaikille tämän paketin soluille arvot $VPI = x$ ja $VCI = y$ ja lähettää ne ATM-kytkimelle, johon sillä on yhteys. VCI:n arvolla y vältetään eri AAL5 kehysten solujen lomitus ATM-kytkimissä ja määränpääreitittimessä.

Neljän tavun mittaisen OSPF:n reititintunnuksen voi kuvata usealla tavalla pienemmälle VPI/VCI avaruudelle:

- Otetaan yhden IP-aliverkon reititintunnuksia ja käytetään yksinkertaisesti IP-osoitteen isäntäosuutta yksilöivänä VPI / VCI arvona.
- Neuvotellaan reitittimien väliset VPI arvot esimerkiksi OSPF Opaquen LSA-optiolla tai PAR:n tapauksessa jollain vastaavalla menettelyllä. Neuvotteluprotokollan yksityiskohdat selvinnevät myöhemmissä tutkimuksissa.

6.3 Monilähetys

Alunperin Juha Heinänen suunnitteli SITAn myös monilähetykseen, mutta saatuaan kuulla, että IP-monilähetyksessä jokaisella lähettävällä reitittimellä on oma yhdeltä-monelle-puu, jonka

lehtinä ovat kaikki vastaanottavat reitittimet sen sijaan että kaikki lähettävät reitittimet käyttäisivät yhteistä monelta-monelle-puuta, hän totesi ettei SITAA tässä tapauksessa tarvita.

6.4 QoS tuki

Useat palvelutasoluokat voidaan toteuttaa asettamalla yhtä määränpääreitintä kohti useita VPI-arvoja.

6.5 Käytännön toteutus

SITA voidaan toteuttaa nykyisillä ATM-kytkimillä kunhan ne tukevat VP-kytkentää. Kaikki kytkimeen eri porteista tulevat solut, joilla on sama VP-tunnus, ohjataan kyseisen VPC:n ainoalle ulosmenojonolle samalla VPI-arvolla. SITAA voidaan parantaa varaamalla jokaiselle aktiiviselle VPI/VCI yhdistelmälle oma jono kytkimessä. Tämä takaa reilun jonotuksen tietyille reitittimelle paketteja lähettävien reitittimien kesken.

SITA käyttää leimakytkentää niinkuin Cisco ja IBM:kin ratkaisuisaan. Leimojen välitys voidaan hoitaa joko ilman leimanvälitysprotokollaa tai käyttämällä esimerkiksi Ciscon LDP:tä.

6.6 Yhteenveto

Juha Heinänen ei syksyn keskustelun avauksensa ja sitä seuranneen eri asiantuntijoiden kanssa käymänsä lyhyehkön ajatustenvaihdon jälkeen ole palannut ehdotukseensa, joten sen voitaneen katsoa rauenneen. Heinänen ei ole esimerkiksi osallistunut vuoden -97 alussa muodostetun, melkoisen laajan osanottajajoukon aktivoineen MPLS-keskusteluryhmän väittelyihin.

7. Vertailut

7.1 Vuopohjaiset menetelmät

Kokonaisuutena voidaan todeta Toshiba Solukytkinreitittimen, CSR olevan monipuolisempi kuin Ipsilonin IP-kytkin. CSR toimii muidenkin L3-protokollien kuin IPv4:n ja IPv6:n kanssa. Samoin se toimii ATM:n lisäksi muiden L2-ratkaisujen kuten Frame relayn päällä. Ipsilon koteloi muiden kuin IP-protokollien paketit. Ipsilonin vuoprotokolla IFMP viestii alavirtaan, kun taas CSR:n FANP kykenee toimimaan molempiin suuntiin.

IP-kytkimet, toisin kuin CSR:t, voidaan yhdistää tavallisen ATM-yhteyden yli vain jos linkin sisääntulon VPI/VCI on sama kuin ulostulon VPI/VCI, mikä on standardeista poikkeava ATM ratkaisu. IP-kytkin ei myöskään tue ATM UNI:a, joten näitä laitteita ei voi suoraan yhdistää ATM-kytkimiin. Näin ollen Ipsilonilla ei voi muodostaa ATM-aliverkkoa, sen sijaan CSR:llä voi.

Yhteenvetona voi todeta, että yksinkertaisuus merkitsee nopeutta, ja kevyempi rakenne suurempaa virheettömyyttä toteutuksessa. IP-kytkentä on parhaimmillaan, kun liikenne koostuu koh- tuullisesta määrästä suurehkoja tietovirtoja. CSR on kuitenkin vähemmän vaativa ympäristönsä suhteen ja muutenkin monipuolisempi. Mielenkiintoinen on Toshiba edustajien maininta MPLS-työryhmän I-D-raportissa, että CSR:n nykyinen toteutus on vuopohjainen.

7.2 Topologiaan perustuvat ratkaisut

Ciscon Leimakytkentä, LS on tehty joustavaksi. Suuri laitevalmistaja on pyrkinyt välttämään tilannetta, jossa uuteen tekniikkaan siirtyminen edellyttäisi täysin uuden laitteiston hankki- mista. Sen mukaan käytössä olevien kytkimien/reitittimien ohjelmistot päivittämällä voidaan siirtyä nopeutettuun leimakytkentään. Tällöin nopeuden kasvu ei ole kuitenkaan niin suuri kuin jos suoritettaisiin laitteistopäivityksiä. Tämän Cisco itsekin myöntää.

IBM on kokeillut Ipsilonin IP-kytkintä päivittämällä oman 8260-keskittimensä ohjelmistot ja todennut ratkaisun toimivaksi. IBM:n perinteisiin kuuluu kuitenkin aina myös ainakin yhden oman menetelmän - tässä tapauksessa ARIS:in - kehittäminen ja sisäisessä esikarsinnassa valitaan markkinoille tarjottava vaihtoehto.

Leimakytkentään ja ARIS:iin voidaan siirtyä päivittämällä reititin ohjelmallisesti, mutta Ciscon menetelmässä voidaan lisäksi ATM-kytkimestä tehdä LSR o.t.o. lisäämällä siihen reititin- protokollien ja LDP:n käsittely.

Kun ARIS perustaa aina kytkentäiset virtuaalikanavat aliverkon sisään- ja ulostulosolmujen välille, Leimakytkentä kytkee paketit leimojen perusteella siten, että joka LSR vaihtaa käsiteltävän paketin sisääntuloleiman ulostuloleimaan. Ciscon menetelmässä vältytään ATM:n tavanomaisilta yhteydenmuodostuksilta, joita voi olla paljon, jos liikenne on protokollien ja lähtö/kohdeosoiteparien suhteen hyvin vaihtelevaa ja vuot keskimäärin pieniä.

Leimakytkennässä leimoihin perustuvat 'loogiset yhteydet' voidaan luoda myötä- tai vastavirtaan, kun ARIS hoitaa tämän tiedonvälityksen aina vastavirtaan.

Leimakytkennän kehittäminen on pitemmällä kuin ARIS:in. Kun edellämaitusta on tehty kymmenkunta I-D/RFC dokumenttia, on ARIS:ista laadittu neljä. IBM tuntuu luottavan enemmän ATM-tekniikkaan, kun se hyödyntää virtuaalikanavia. Reitittimien markkinajohtaja Cisco käyttää ennakkoluulottomammin ja vähemmän 'oikeaoppisesti' ATM-kytkimiä. Alan julkisessa MPLS-keskusteluryhmissä on epäilty varsinkin ARIS:in skaalautuvuutta. Jos ARIS koostuu ATM-kytkimistä, jotka kaikki pystyvät yhdistämään virtuaalikanavia (VC merge), virtuaalikanavat riittävät pitkälle, eikä skaalautuvuudelle ole esteitä.

Japanilainen Masataka Ohta on väittänyt, ettei Leimakytkennän hierarkinen leimapino toimi, sillä L3-leiman antanut reititin ei tunne kohdeverkon topologiaa.

7.3 Topologia- ja vuopohjaisten menetelmien vertailu

Vuopohjaisessa menetelmässä hieman epäilyttä se, että vuon alkupää, noin 10 pakettia joudutaan normaalisti reitittämään eli kuljettamaan eri reittiä kuin loppuosa, joka pikakytketään kun vuo on ehditty muodostaa. Toisaalta lyhyille viiveherkille lähetyksille on etua siitä, että siinä vaiheessa kun normaali ATM:n VC luodaan, IP-kytkennän ensimmäiset solut ovat jo perillä ja 'lennosta' on luotu nopea ohikytkevä lopuille soluille.

IP-kytkentä ottaa laitteena erittäin nopean ATM-kytkimen suoraan haltuunsa korvaamalla ATM:n ylempät ohjaustoiminnot omalla GSMP-protokollaohjelmistollaan. Leimakytkennässä puolestaan ATM-kytkimestä voidaan muokata leimakytkinreititin lisäämällä siihen reititysprotokollien ja leimanjakoprotokollan käsittely.

Ipsilon jäänee ainoaksi vuopohjaisen menetelmän kannattajaksi, kun Toshibaakin siirtynee leimapohjaisuuteen. IP-kytkennälle on ominaista vuojatteluun lisäksi yksinkertainen-ona-kaunista filosofia, jossa pyritään välttämään ATM:n raskaahko merkinanto ja kansainvälisessä standardoinnissa eli ATM Forumissa syntyneet raskaat joskin monipuoliset protokollat kuten PNNI. Rintamalinja näyttää siis osin kulkevan myös välillä yksinkertainen ja tehokas vastaan monipuolinen, standardien mukainen ja raskaampi.

Topologia/leimapohjainen menetelmä näyttää saavan ainakin laitevalmistajien kannatuksen. Suuret valmistajat kuten Cisco ja IBM työstävät rinta rinnan IETF:lle uutta MPLS-standardia, jossa aluksi vuopohjaisella CSR-versiollaan liikkeelle lähtenyt Toshibaakin on mukana. Ipsilon ehti aikaisemmin markkinoille ja IP-kytkentä on ollut saatavilla jo vuoden ennen kuin ensimmäiset leimapohjaiset menetelmät ovat yleisesti saatavilla aikaisintaan ensi kesänä.

.

8. Yhteenveto

Yhteisiä hyviä puolia kaikilla näillä ratkaisuilla ovat mm. reititystietämyksen hajautus, alla olevan kytkinverkon tehokas hyödyntäminen ja teollisuuden selvä tuki. Yhteisiä haittoja ovat puolestaan uusien protokollien tarve, standardoinnin keskeneräisyys ja puolueettomien suorituskykytestien puuttuminen. Kaksi viimemainittua todennäköisesti korjaantuvat ajan myötä: tekniikat vain ovat kovin uusia, standardeja sinänsä valmistellaan niille nopeasti. Kunhan uudet menetelmät valmistuvat, puolueettomiakin testejä tehtänee.

Vuoden vaihteessa -96/-97 IETF:n alaisuuteen perustettiin leimapohjaisen kytkennän standardointia edistämään Ciscon ja IBM:n edustajien vetämä Multiprotocol label switching MPLS-työryhmä, jonka nopeana tavoitteena on saada RFC-dokumentit valmiiksi jo kevätkesällä -97 ja pääosa standardeista vuoden -97 loppuun mennessä. Toshiba edustajat ovat myös aktiivisesti mukana työryhmissä, joten leimapohjaisella ratkaisulla on ainakin laitevalmistajien voimakas tuki takanaan, mikä tälläkin alalla yleensä merkitsee markkinoiden valtaamista ennemmin tai myöhemmin.

Laite- ja ohjelmistovalmistajille aukeavat huikeat markkinanäkymät eivät anna aikaa odottaa MPLS-työryhmän raporttien valmistumista vuoden loppuun. Niinpä esimerkiksi Cisco tuo Leimakytkentäteknikkansa ensimmäiset versiot myyntiin jo kesällä -97.

9. Lähdeluettelo

Kirjat

T.M. Chen ja S.S. Liu: ATM switching systems, Artech House Inc. 1995

Mika Ilvesmäki: ATM-tekniikan käyttö internet-liikenteen välityksessä, DI-työ TKK 1996

Kalevi Kilkki: Tiedonvälitystekniikka II:n opetusmoniste, TKK 1996

W. Roberts: Performance evaluation and design of multiservice networks, COST 224, 1991

Kari Saarelainen: Lähiverkkojen tekniikka, Yritysmikrot 1993

Muut dokumentit

Cisco

Tag switching architecture overview, Cisco's, RFC 2105 2/97

Use of tag switching with ATM, Cisco's I-D: davie-tag-switching-ATM-01, 1/97

Tag switching support for classes of service, Cisco's I-D: draft-lin-tags-cos-00, 12/96

Cisco's new tag switching technology fuse routing and switching for scalable, high performance networks, News release 16.9.96

Scaling the Internet with tag switching, White paper 16.9.96

IBM

ARIS: Aggregate route-based IP switching, I-D: woundy-aris-ipswitching-00 11/96

Ipsilon

IP switching: ATM under IP, Newman, Minshall, Lyon Ipsilon Networks Inc., 96

Toshiba

Toshiba's router architecture extension for ATM: Overview, RFC 2098, 2/97

Cell switch router, version 1.0, White paper 11/96

Comparison of Tag switching and Cell switch router, I-D: ohba-tagsw-vs-csr-00.txt, IETF MPLS work group, 4/97