



**S-38.201 ATM JA MULTIMEDIA
SEMINAARI, KEVÄT -97**

**PNNI-PROTOKOLLAN MUKAINEN
YHTEYDENMUODOSTUS**

17.02.1997

Mika Loukola
S, 41733L
Mika.Loukola@hut.fi

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
LYHENTEET.....	4
KUVALUETTELO.....	5
TAULUKKOLUETTELO.....	6
JOHDANTO.....	7
1. PRIVATE NETWORK-TO-NETWORK INTERFACE.....	8
1.1 ATM SOLUJEN KYTKEMINEN	8
1.2 YLEISTÄ PNNI PROTOKOLLASTA	9
1.3 PNNI HIERARKIA	10
1.4 TOPOLOGIATIEDON JAKAMINEN JA PNNI HIERARKIAN MUODOSTUMINEN	11
1.4.1 Hello protokolla.....	11
1.4.2 Neighboring Peer tilakone.....	13
1.4.3 Peer Group Leader Election tilakone	14
1.4.4 Flooding.....	14
1.5 PNNI SIGNALOINTI	15
1.6 GENERIC CALL ADMISSION CONTROL.....	17
2. HIERARKIAN RAKENTUMINEN.....	19
2.1 TILANNE 1.....	19
2.2 TILANNE 2.....	19
2.3 TILANNE 3.....	20
2.4 TILANNE 4.....	21
3. YHTEYDENMUODOSTUS	22
3.1 TILANNE 1.....	23
3.2 TILANNE 2.....	24
3.3 TILANNE 3.....	25
3.4 TILANNE 4.....	26
4. YHTEENVETO	27
LÄHTEET	28

TIIVISTELMÄ

PNNI protokolla on ensimmäinen yritys muodostaa valmistajariippumatonta ATM protokollaa, joka tukisi QoS laatuparametreihin perustuvaa ATM reititystä ja yhteydenhallintaa. ATM Forum julkaisi PNNI 1.0 protokollan osana UNI 4.0 määrittelyä kesäkuussa 1996.

Esitys pohjautuu suurelta osin ATM Forumin dokumentteihin. Nämä dokumentit ovat PNNI tietouden kannalta tiedon alkuperäinen lähde. Näiden dokumenttien perusteella eri valmistajat ovat rakentaneet ATM solmunsu PNNI protokollan mukaisiksi.

PNNI 1.0 protokollan laatuparametrit ovat hyvin kattavat. Nämä mahdollistavat sen, että esimerkiksi Video on Demand käyttäjät voivat katsoa lähetyksiä eri laatuina riippuen asiakkaan maksukyvyistä ja haluamasta laadusta. Jos maksimiviivelle annetaan suurempi arvo, kuva voi nykiä silloin kun solut viivästyvät maksimiajan. Toisaalta tällaisen laatuparametrin suurentaminen pienentää huomattavasti palvelun hintaa.

Esityksen lopussa on esimerkit PNNI protokollan hierarkian rakentumisesta ja PNNI protokollan mukaisesta yhteydenmuodostuksesta. Näiden esimerkkien tarkoituksena on helpottaa protokollan käyttäytymisen ymmärtämistä. Esimerkit ovat ohjelmoivastani PNNI emulaattorista, joka emuloi PNNI verkkoa. Emulaattorilla voidaan rakentaa verkkotopologioita, käynnistää PNNI protokolla ja katso kuinka PNNI hierarkia rakentuu sekä antaa yhteydenmuodostuspyyntöjä ja optimoida omia ryhmän sisäistä reititystä käsitteleviä algoritmeja.

PNNI protokollasta on tullut melko vaikeasti implementoitava protokolla. Tästä johtuen valmistajat saavat apua ATM Forumilta protokollien yksityiskohtien ymmärryksessä. Toistaiseksi noin kymmenellä valmistajalla on tuotteita PNNI 1.0 protokollasta ja arviolta yhtä monta valmistajaa on juuri saamassa tuotteensa myyntiin.

LYHENTEET

ABR	Available Bit Rate
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AW	Administrative Weight
CAC	Call Admission Control
CBR	Constant Bit Rate
CDV	Cell Delay Variation
CDVT	Cell Delay Variation Tolerance
DTL	Designated Transit List
ID	Identifier
maxCTD	Maximum Cell Transfer Delay
MBS	Maximum Burst Size
MCLR	Maximum Cell Loss Ratio
MCR	Minimum Cell Rate
PCR	Peak Cell Rate
PGL	Peer Group Leader
PGLE	Peer Group Leader Election
PNNI	Private Network-to-Network Interface
PTSE	PNNI Topology State Element
QoS	Quality of Service
SCR	Sustainable Cell Rate
UBR	Unspecified Bit Rate
VBR	Variable Bit Rate
VCI	Virtual Channel Identifier
VoD	Video on Demand
VPI	Virtual Path Identifier

KUVALUETTELO

KUVA 1-1. ATM SOLUJEN KYTKEMINEN	8
KUVA 1-2. TRANSMISSIO KANAVA [3, s. 24].	8
KUVA 1-3. PNNI HIERARKIA	10
KUVA 1-4. PNNI HIERARKIAN MUODOSTUMINEN.....	12
KUVA 1-5. HELLO PROTOKOLLAN TILAKONE	12
KUVA 1-6. NEIGBORING PEER TILAKONEEN TOIMINTA	13
KUVA 1-7. PEER GROUP LEADER ELECTION TILAKONEEN TOIMINTA.....	14
KUVA 2-1 HIERARKIAN RAKENTUMINEN 1.....	19
KUVA 2-2 HIERARKIAN RAKENTUMINEN 2.....	19
KUVA 2-3 HIERARKIAN RAKENTUMINEN 3.....	20
KUVA 2-4. HIERARKIAN RAKENTUMINEN 4.....	21
KUVA 3-1. SOLMUN A.1.1 SAAMAN YHTEYDENMUODOSTUSPYYNNÖN LIKENNEPARAMETRIT	22
KUVA 3-2 YHTEYDENMUODOSTUS 1	23
KUVA 3-3. DTL 1	23
KUVA 3-4. YHTEYDENMUODOSTUS 2	24
KUVA 3-5. DTL 2.....	24
KUVA 3-6. YHTEYDENMUODOSTUS 3	25
KUVA 3-7. DTL 3.....	25
KUVA 3-8. YHTEYDENMUODOSTUS 4	26
KUVA 3-9. DTL 4.....	26
KUVA 4-1. PNNI HIERARKIAN SKAALAUTUVUUS	27

TAULUKKOLUETTELO

TAULUKKO 1-1. HELLO PAKETIN KENTÄT	11
TAULUKKO 1-2. LIIKENNE- JA LAATUPARAMETRIT [4, s.12]	15
TAULUKKO 1-3. PTSE:N KENTÄT	16
TAULUKKO 1-4. GENERIC CAC PARAMETRIT VBR LIIKENTEEN KAISTANLEVEYDEN LASKEMISEEN	17

JOHDANTO

Lähitulevaisuudessa Asynchronous Transfer Mode (ATM) verkot tulevat muodostamaan suurimman osan laajoista runkoverkoista. Useat uudet palvelut kuten Video on Demand (VoD) tarvitsevat suurta kaistanleveyttä ja globaalia reititystä palveluntarjoajalta asiakkaalle.

ATM tarjoaa hyvän alustan tällaisille palveluille. Se tarjoaa yhteydellisiä yhteyksiä, jotka takaavat lähetetyn tiedon saapumisen perille lähetysjärjestyksessä. CCITT (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique) valitsi ATM tekniikan B-ISDN (broadband integrated services digital networks) palveluiden implementointitekniikaksi.

Suuri kiinnostus ATM tekniikkaa kohtaan johti ATM Forumin perustamiseen vuonna 1991. Nykyisin ATM Forumin jäseninä on yli 750 yritystä, jotka toimivat telekommunikaation eri alueilla. ATM Forum antaa suosituksia siitä, miten ATM tekniikkaa tulisi implementoida, jotta eri valmistajien rakentamat laitteet olisivat yhteensopivia.

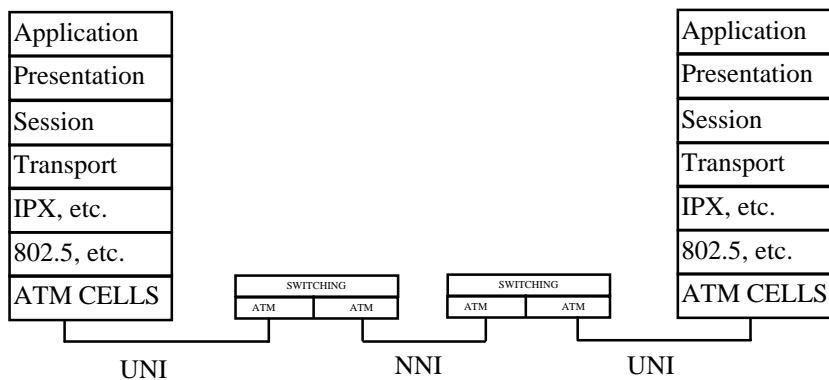
Ennen vuotta 1996 eri valmistajien ATM kytkimet eivät voineet toimia keskenään, koska niiltä puuttui yhteinen kieli. ATM Forumin Technical Committee PNNI Subcommittee julkaisi kesäkuussa 1995 esityksen siitä, miten ATM reititys tulisi järjestää [1]. Seuraavana vuonna 1996 tämän esityksen pohjalta julkaistiin UNI 4.0 protokolla, joka sisältää PNNI 1.0 reititysprotokollan [2].

Tämän esitelmän tarkoitus on selvittää ATM-Forumien UNI 4.0 [2]sisältämän Private Network-to-Network Interface (PNNI) protokollan mukainen ATM-reititys.

1. PRIVATE NETWORK-TO-NETWORK INTERFACE

1.1 ATM solujen kytkeminen

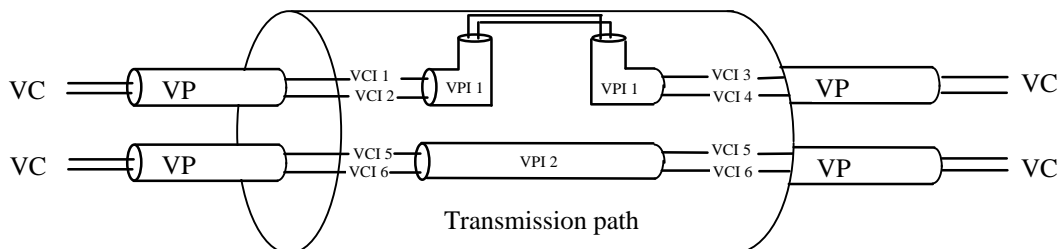
ATM solujen reititys ATM kytkimessä täytyy voida tehdä erittäin nopeasti. Verkkosolmu välittää soluja pakettien kytkemisen sijaan. Verkkosolmut välittävät verkon läpi soluja, joten ISO:n OSI-mallin toisesta kerroksesta tulee päästä päähän kerros. Tämä on esitetty kuvassa 1-1 [6, s. 61-62].



UNI = User-to-Network Interface
NNI = Network-to-Network Interface

Kuva 1-1. ATM solujen kytkeminen

ATM kytkimen täytyy voida konvertoida tulevat VPI (Virtual Path Identifier) ja VCI (Virtual Channel Identifier) parit lähteviksi VPI/VCI pareiksi. Konversio tehdään look-up taulukon avulla. Täten ATM kytkimet tekevät reitityspäätöksensä look-up taulun sisällön perusteella. Kts. kuva 1-2.



Kuva 1-2. Transmissio kanava [3, s. 24].

1.2 Yleistä PNNI protokollasta

Mutta miten look-up taulun sisältöön päästään vaikuttamaan. Aikaisemmin jokaisella valmistajalla oli oma protokolla, joka päivitti ATM kytkimien look-up tauluja yhteydenmuodostuspyyntöjen perusteella. Osa kytkimistä voitiin konfiguroida ainoastaan manuaalisesti.

Uusi signaalointiprotokolla Private Network-to-Network Interface (PNNI) voi aikaansaada, ylläpitää ja lopettaa yhteyksiä. Liikenneparametrien lisäksi se osaa ottaa huomioon käyttäjän antamat Quality of Service (QoS) laatuparametrit neuvotellessaan verkon kanssa yhteydestä.

Toisin kuten nimi Private Network-to-Network Interface antaa ymmärtää kysymys ei ole ainoastaan lähiverkkoprotokollasta, vaan globaalista reititysprotokollasta. PNNI protokollan avulla voidaan muodostaa yhteys globaalisti paikasta A paikkaan B.

PNNI sisältää itse asiassa kaksi erillistä protokollaa.

- ◆ Ensimmäinen protokolla on määritelty topologiatiedon jakamiseen verkon eri kytkinten välillä. Tätä tietoutta tarvitaan, jotta verkkosolmu voisi muodostaa polun PNNI verkon lävitse. Topologiatietoutta jaetaan kaikille naapureille silloin, kun itse saadaan uutta tietoa muualta verkosta. [5, s.3].
- ◆ Toinen protokolla tarvitaan signointiin. Siihen sisältyy mekanismeja kuten source routing, crankbacks ja vaihtoehtoisen reitin löytäminen silloin, kun alkuperäinen reitti ei kata kaikkia yhteydeltä vaadittuja ominaisuuksia [1, s.11].

1.3 PNNI hierarkia

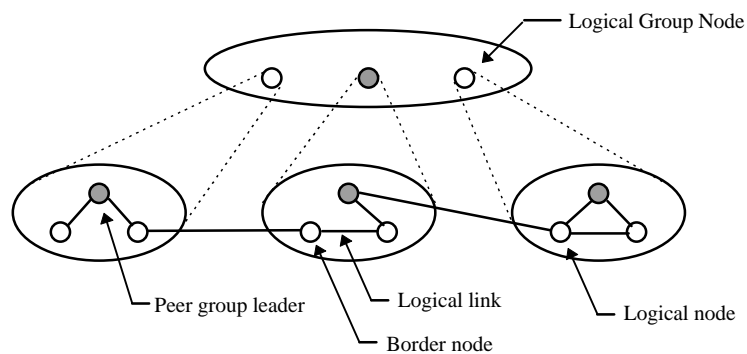
PNNI käsittää verkon ryhmien joukkona. Kaikki solmut, joilla on sama peer group ID kuuluvat samaan ryhmään. Kaikilla ryhmän jäsenillä on identtinen näkemys verkosta. Peer Group ID konfiguroidaan solmuun sen käyttöönoton yhteydessä.

Jokaisella solmulla on topologiatietokonta. Solmut tutkivat verkkoa tämän tietokannan tietueiden perusteella.

Ryhmän johtaja (Peer Group Leader, PGL) edustaa ryhmää seuraavalla hierarkiatasolla. Seuraavalla hierarkiatasolla useammat ryhmänjohtajat muodostavat uuden ryhmän. Ryhmänjohtajalla on erityisasema topologiatiedon välityksessä.

Ryhmän jäsenet äänestävät itse demokraattisesti ryhmälleen johtajan. 2/3 äänen enemmistön saaneesta solmusta tulee ryhmänjohtaja.

Kuva 1-1 esittää muodostunutta PNNI hierarkiaa. Viivat solmujen välillä kuvaavat todellisia linkkejä niiden välillä. Ryhmien välillä olevat viivat esittävät reunanaapurien välisiä linkkejä. Kts. Kuva 1-3.



Kuva 1-3. PNNI hierarkia

1.4 Topologiatiedon jakaminen ja PNNI hierarkian muodostuminen

Jokainen verkon solmu pitää topologiatietoudensa verkosta topologiatietokannassa. Tätä tietoutta jakaa solujen välillä Hello protokolla ja Flooding [1, s.156].

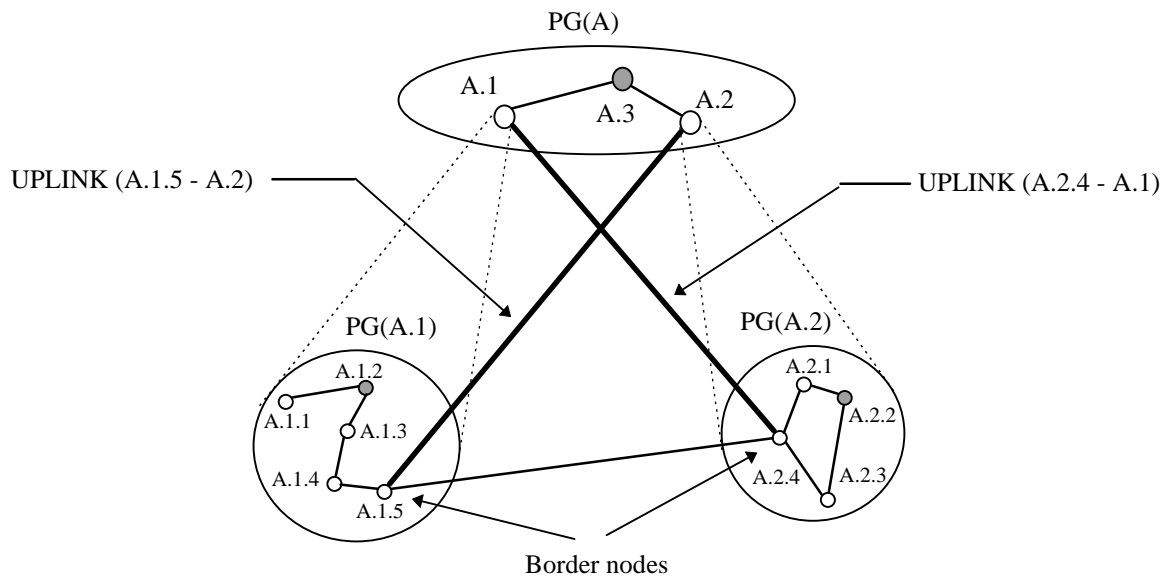
1.4.1 Hello protokolla

Hello protokollalla on instanssi jokaisella linkillä. Heti kun verkkosolmu laitetaan päälle, Hello protokolla alkaa lähettää Hello paketteja naapureille. Näissä paketeissa solmu kuvaa itseään taulukossa 1-1 olevilla kentillä [1, s.28].

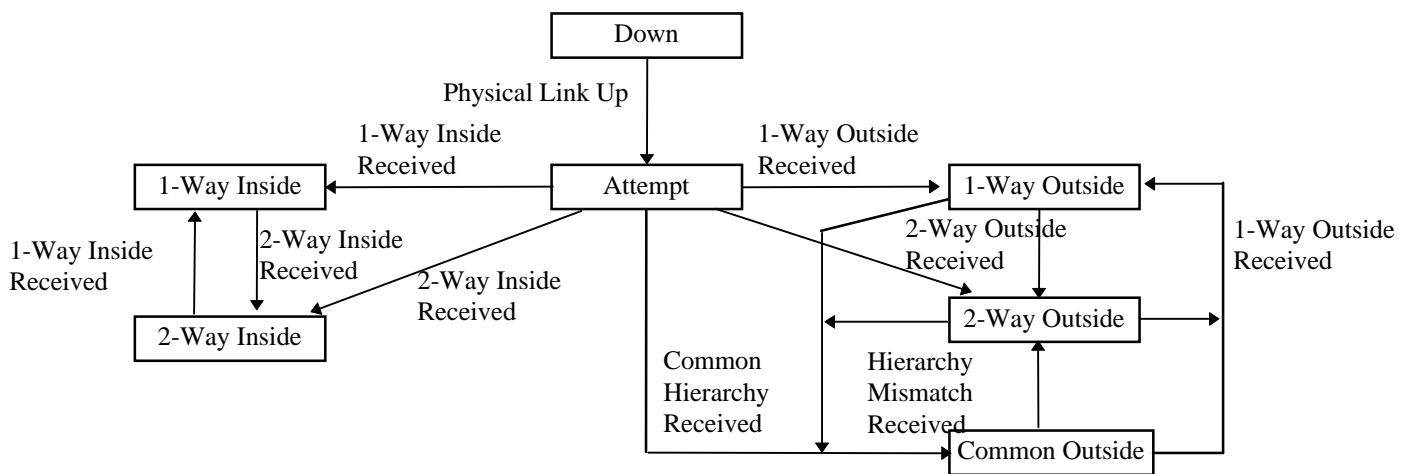
kentän koko tavuissa	kentän nimi
8	PNNI Header
2	Flags
22	Node ID
20	Private ATM Address
14	Peer Group ID
22	Remote node ID
4	Port ID
4	Remote Port ID
2	Hello Interval
2	Reserved

Taulukko 1-1. Hello paketin kentät

Kun solmu vastaanottaa toisen naapurisolmun lähettämän Hello paketin, se voi päätellä kuuluvatko he naapurin kanssa samaan peer group:iin vai ei. Ne solmut, joilla on sama peer group ID kuuluvat samaan ryhmään. Jos naapurin lähettämästä Hello paketissa on eri peer group ID, niin solmut ovat omien ryhmiensä reunasolmuja (border nodes). Kaikki paketit muodostuvat tietenkin ATM soluista.



Kuva 1-4. PNNI hierarkian muodostuminen.



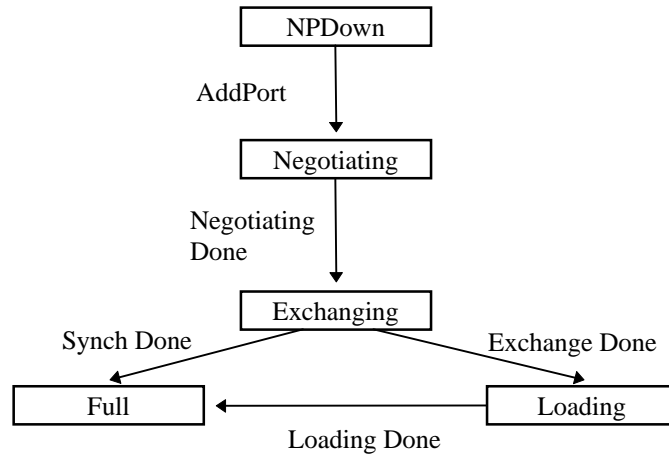
Kuva 1-5. Hello protokollan tilakone

Kuvassa 1-5 on esitetty Hello protokollan tilakoneen toiminta. Kun fyysinen linkki muodostuu kahden solmun välille, tilakone siirtyy tilaan *Attempt*. Tässä tilassa ollessaan solmu lähettää naapurilleen Hello paketteja ja odottaa naapurin Hello paketin saapumista.

Vastaanottaessaan saman ryhmän sisältä Hello paketin tilakone siirtyy tilaan *2-Way Inside*. Jos Hello paketti oli toisesta ryhmästä tilakone siirtyy lopulta tilaan *Common Outside*.

1.4.2 Neighboring Peer tilakone

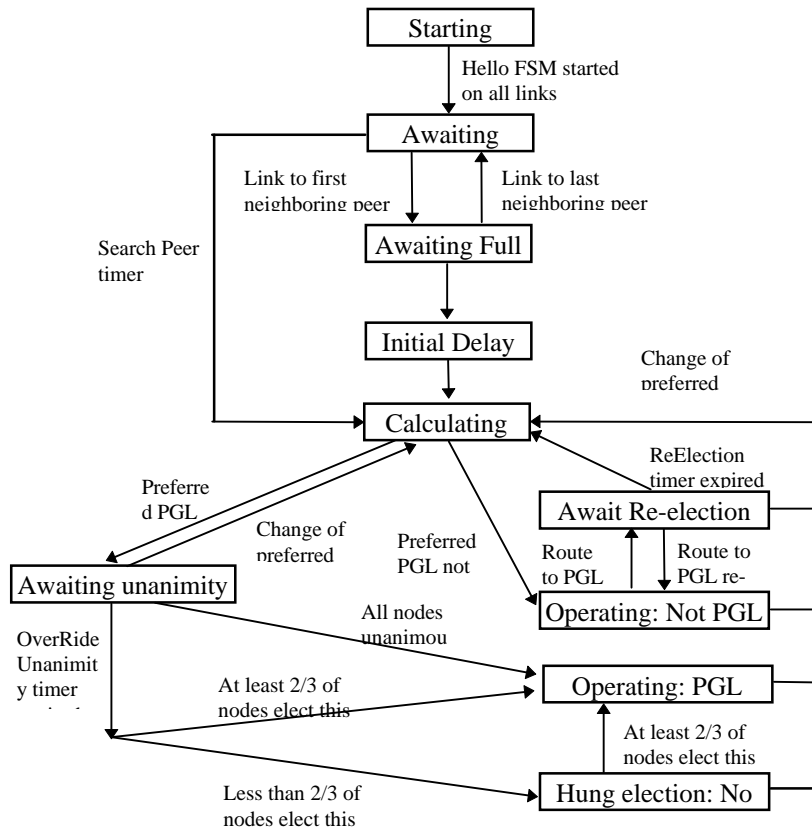
Jos viereiset solmut ovat osoittautuneet kuulumaan samaan ryhmään Hello tilakone on siirtynyt tilaan *2-Way Inside*. Tällöin Neighboring Peer tilakoneen instanssi alkaa toimia linkillä. Tämän tilakoneen avulla saman ryhmän solmut vaihtavat topologiatietokannan PTSE:t (PNNI Topology State Element) toistensa kanssa niin, että lopulta kaikilla on uusimmat tiedot kaikista topologiaelementeistä.



Kuva 1-6. Neighboring Peer tilakoneen toiminta

1.4.3 Peer Group Leader Election tilakone

Peer Group Leader (PGL) Election tilakone algoritmi valitsee dynaamisesti ryhmälle johtajan, joka edustaa ryhmää ylemmällä hierarkiatasolla. PGL Election alkaa kun Hello protokolla on alkanut kaikilla linkeillä. Tämä tilakone on solmukohtainen [7, s.231].



Kuva 1-7. Peer Group Leader Election tilakoneen toiminta

1.4.4 Flooding

Flooding eli virtaus mainostaa linkejä eri solmujen välillä. Flooding on luotettava PTSE:den hop-by-hop tyyppinen levittämismenetelmä [1, s.29]. Se takaa, että kaikilla saman ryhmän jäsenillä on identtinen kuva verkosta.

1.5 PNNI signalointi

Signalointi protokollia tarvitaan yhteydenmuodostukseen. PNNI protokolla mahdollistaa dynaamisen yhteydenmuodostuksen.

Taatakseen, ettei silmukoita tule PNNI rakentaa valmiin source route:n Designated Transit List (DTL) pinomuotoon [5, s.5].

Koko kompleksinen reititysongelma jakautuu pienempiin ongelmiin, eli reititykseen ryhmän läpi. Tämän ongelman implementointi ei ole osa PNNI protokollaa, vaan sen ratkaisu on jätetty vapaasti implementoitavaksi.

Solmu, joka saa yhteydenmuodostuspyynnön, tutkii topologiatietokantaansa ja yrittää etsiä halutunlaatuista reittiä. Solmun tulee ainoastaan kyetä löytämään yksityiskohtainen reitti seuraavaan ryhmään ja loppu reitti seuraaviksi DTL listoksi. Solmu forwardoi yhteydenmuodostuspyynnön päällimmäisen DTL:n seuraavalle solmulle.

Yhteydenmuodostuksen yhteydessä pitää määrittää halutut liikenne- ja laatuparametrit. Tietyillä liikenneluokilla on käytössä vain osa liikenne- ja laatuparametreista. Tämä ilmenee taulukosta 1-2.

Attribute	ATM Layer Service Category				
	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	UBR	ABR
Traffic Parameters:					
PCR	x	x	x	see note 1	x
SCR	no	x	x	no	no
MBS	no	x	x	no	no
MCR	no	no	no	no	x
CDVT	x	x	x	x	x
QoS Parameters and Guarantees:					
peak-to-peak CDV	x	x	no	no	no
maxCTD	x	x	no	no	no
CLR	x	x	x	no	see note 2
Bandwidth	x	x	x	no	x
Administrative Weight (AW)	x	x	x	x	x
Other Attributes:					
Feedback	no	no	no	no	x

Notes:

1. The network may or may not apply PCR for CAC and UPC functions.
2. CLR is low for sources that adjust cell flow in response to control information.

Taulukko 1-2. Liikenne- ja laatuparametrit [4, s.12]

Linkin parametrit ovat joko *rajoittavia* tai *lisättäviä*. Jos polku p sisältää linkit *ab* ja *bc*, niin polun p parametrin arvo saadaan:

- ◆ $d(p) = \min[d(ab), d(bc)]$, kun linkin parametrit ovat *rajoittavia*, esim. PCR
- ◆ $d(p) = d(ab) + d(bc)$, kun linkin parametrit ovat *lisättäviä*, esim. maxCTD

Solmut tekevät reitityksen topologiatietokannan alkioiden, PTSE:iden pohjalta. PTSE:n sisältö nähdään taulukosta 1-2.

kentän nimi	kentän koko tavuissa
PTSP Header	42
PTSE Header	20
Nodal State Parameter IG	204
Node Identification IG	108
Internal Reachable ATM Address (IRA) Prefix	A
IRA IG Overhead	8
Exterior Reachable ATM Address (ERA) Prefix	B
ERA IG Overhead	402
Horizontal Links IG	228
Uplink IG	262

Taulukko 1-3. PTSE:n kentät

Horizontal Links IG kenttä sisältää alkion edustaman solmun yhteyksiä oman ryhmänsä sisällä. Sen sisältö on yksityiskohtaisemmin alla. Vastaavanlainen sisältö on myös Uplink IG kentällä, joka esittää ryhmien välisiä yhteyksiä.

```

type
  Horizontal_Links_IG = record
    VP_Capability: boolean;
    Remote_Node_ID: string;
    Remote_Node_Order: integer;
    Remote_Port_ID: integer;
    Local_Port_ID: integer;
    CBR: Outgoing_Resource_Availability_IG;
    rt_VBR: Outgoing_Resource_Availability_IG;
    nrt_VBR: Outgoing_Resource_Availability_IG;
    ABR: Outgoing_Resource_Availability_IG;
    UBR: Outgoing_Resource_Availability_IG;
  end;

```

```

type
  Outgoing_Resource_Availability_IG = record
    Flag: Traffic_Class;
    Reserved: boolean;
    Cell_Loss_Ratio: integer;
    Maximum_Cell_Rate: integer;
    Available_Cell_Rate: integer;
    Cell_Transfer_Delay: integer;
    Cell_Delay_Variation: integer;
    Administrative_Weight: integer;
    Cell_Rate_Margin: integer;
    Variance_Factor: integer;
  end;

```


1.6 Generic Call Admission Control

PNNI reitityksessä linkin parametrit ilmaistaan generic CAC parametreinä. Näitä parametrejä ovat:

- ◆ Available Cell Rate
- ◆ Cell Rate Margin
- ◆ Variance Factor

Kun parametrit ovat saaneet arvonsa yhteydenmuodostuspyynnössä generic CAC suorittaa vertailua linkin parametrien ja yhteydenmuodostuspyynnön parametrien välillä.

Jos tarvittavaa kaistanleveyttä tai jotain QoS laatuparametria ei voida taata, yhteyttä ei voida muodostaa jolloin crankback viesti lähetetään edelliselle solmulle vastavirtaan.

Yhteydenmuodostuspyynnön ja allokoitavan kaistanleveyden välillä on voimassa seuraavat relaatiot [1 ,s.148]:

CBR:

$Setup^{\wedge}.Forward_Bandwidth := Setup^{\wedge}.Forward_PCR;$

nrt_VBR ja rt_VBR:

$X := Setup^{\wedge}.Forward_PCR / Setup^{\wedge}.Forward_SCR;$
if $X > 39$ then
 $C := Setup^{\wedge}.Forward_SCR * ((0.0145 * X) + 4.22)$
else
 if $X > 5$ then
 $C := Setup^{\wedge}.Forward_SCR * ((0.042 * X) + 3.14)$
 else
 $C := Setup^{\wedge}.Forward_SCR * ((0.48 * X) + 0.52);$
 $Setup^{\wedge}.Forward_Bandwidth := round(C);$

Vaihtelevanopeuksisessa yhteyksessä kaistanleveyteen vaikuttavia parametrejä ovat PCR ja SCR. Taulukossa 1-4 nähdään esimerkkirelaatioita näiden parametrien välillä.

PCR	SCR	BW
40	20	30
100	10	36
1000	10	57

Taulukko 1-4. Generic CAC parametrit VBR liikenteen kaistanleveyden laskemiseen

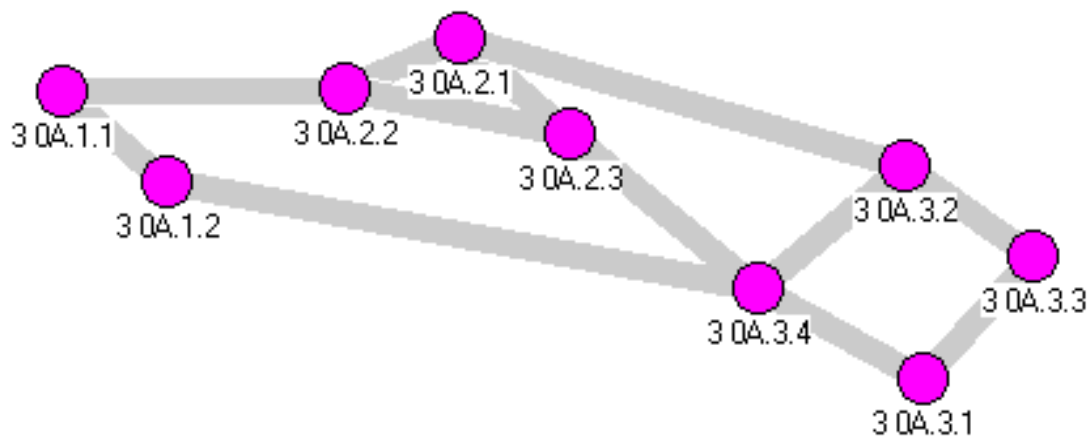
Jos kaistanallokointi on ollut huomattavaa, niin oma PTSE täytyy lähettää kaikille naapureille (=flooding).

2. HIERARKIAN RAKENTUMINEN

Seuraava kuvasarja kuvaa PNNI hierarkian rakentumista. Kuvat ovat tekemstäni PNNI emulaattorista.

2.1 Tilanne 1.

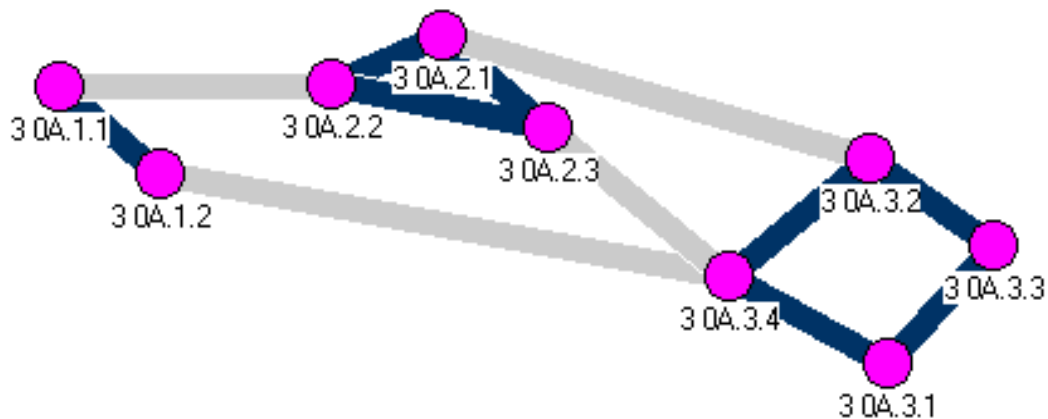
Kaikkiin solmuihin laitetaan virrat päälle yhtäaikaan. Kaikilla solmuilla on topologiatietokannassaan ainoastaan tietue itsestään. Hello paketteja lähetetään kaikille naapureille, mutta kukaan ei ole vastaanottanut vielä yhtään pakettia.



Kuva 2-1 Hierarkian rakentuminen 1

2.2 Tilanne 2.

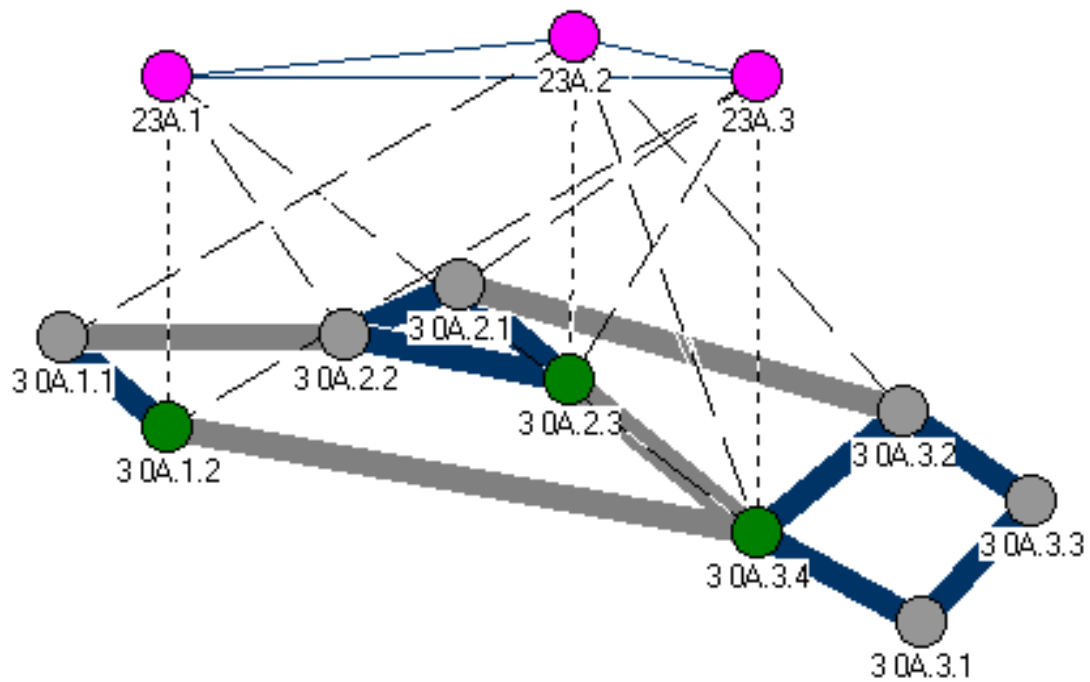
Solmut ovat saaneet naapureiltaan Hello paketit ja ovat näin todenneet kuuluvansa joko samaan tai eri ryhmään. Samaan ryhmään kuuluvien solmujen väliset linkit ovat kuvassa 2-2 tummempia.



Kuva 2-2 Hierarkian rakentuminen 2

2.3 Tilanne 3.

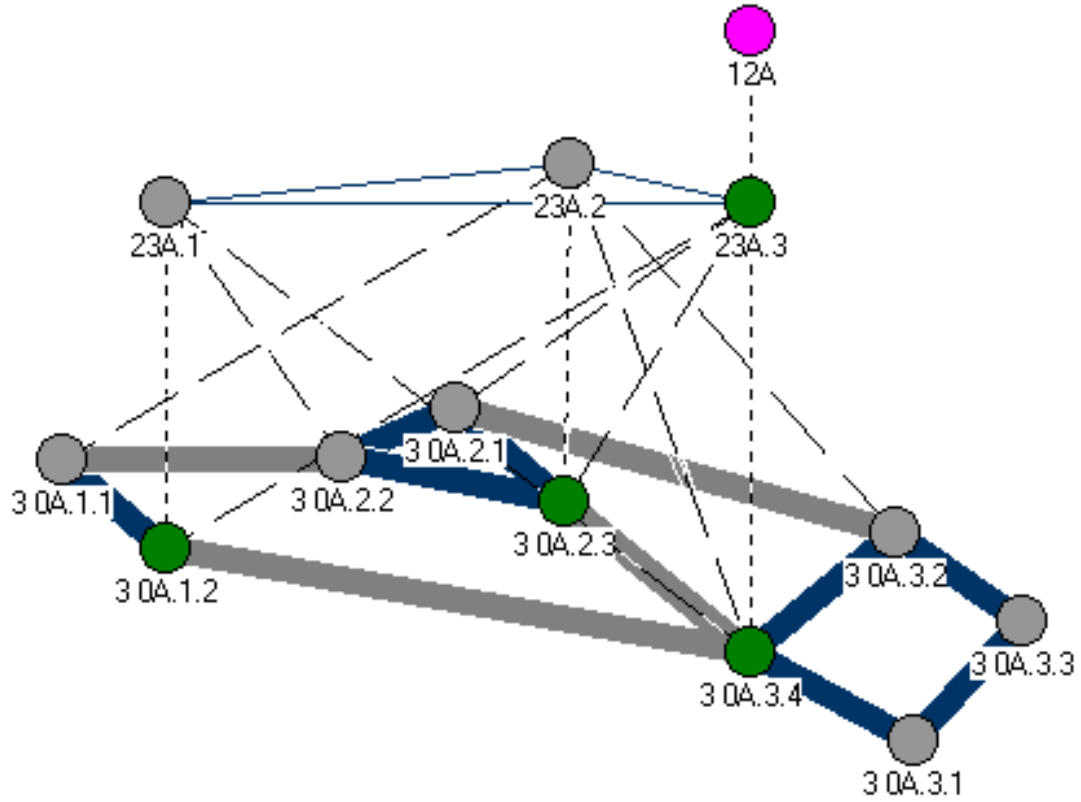
Solmut ovat vaihtaneet PTSE:t toistensa kanssa Neighboring Peer tilakoneen avustuksella ja kukin ryhmä A1, A2 ja A3 on valinnut itselleen edustajansa ylemmälle hierarkiatasolle. Solmuista A.1.2, A.2.3 ja A.3.4 on tullut ryhmiensä johtajia.



Kuva 2-3 Hierarkian rakentuminen 3

2.4 Tilanne 4.

Ylemmällä hierarkiatasolla on käyty läpi Hello pakettien lähetykset ja PTSE:den vaihto sekä ryhmänjohtajanvalinta.

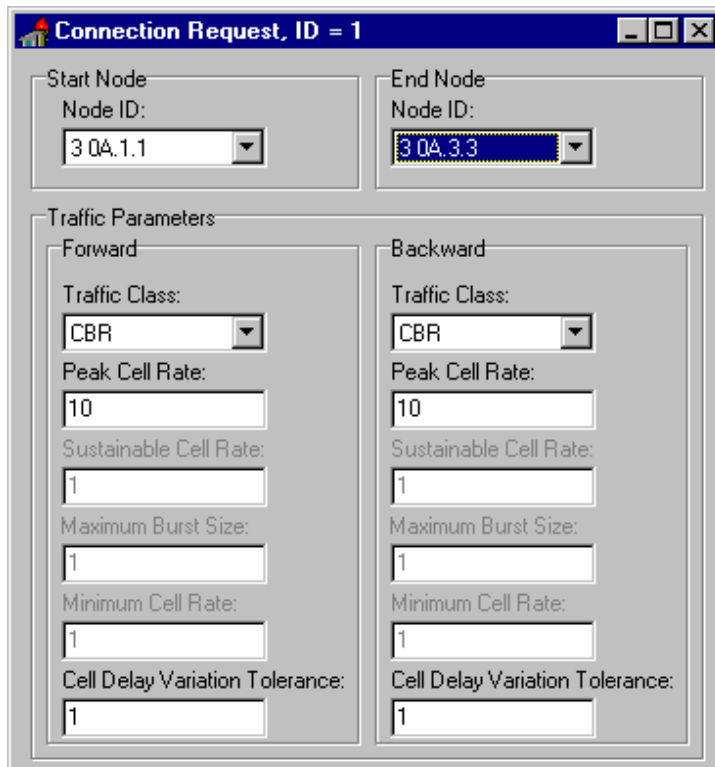


Kuva 2-4. Hierarkian rakentuminen 4

3. YHTEYDENMUODOSTUS

Kun PNNI hierarkia on valmis, solmut ovat valmiita palvelemaan niihin liitettyjä asiakkaita.

Solmuun A.1.1 liittynyt asiakas haluaa yhteyden solmuun A.3.3 tai siihen liitettyyn toiseen asiakkaaseen.

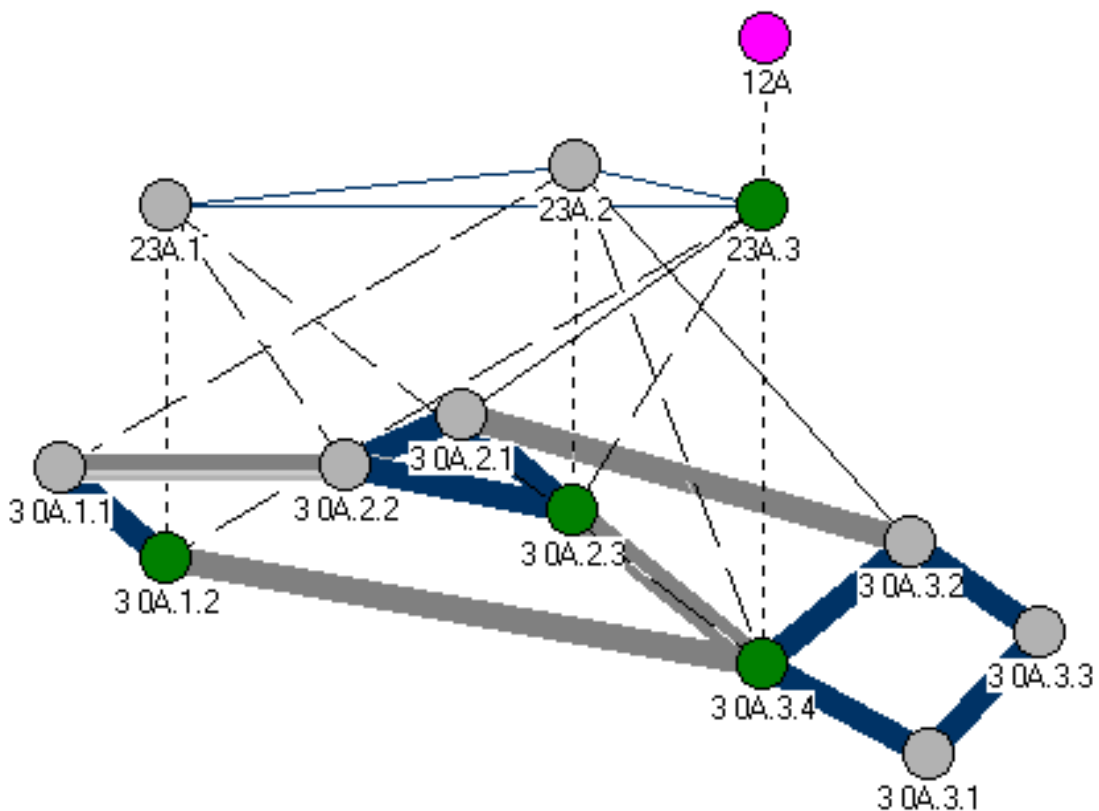


The screenshot shows a window titled "Connection Request, ID = 1". It contains two main sections: "Start Node" and "End Node", and a "Traffic Parameters" section. The "Start Node" section has a "Node ID" dropdown menu with "3 0A.1.1" selected. The "End Node" section has a "Node ID" dropdown menu with "3 0A.3.3" selected. The "Traffic Parameters" section is divided into "Forward" and "Backward" sub-sections. Each sub-section has a "Traffic Class" dropdown menu with "CBR" selected, and five input fields: "Peak Cell Rate" (10), "Sustainable Cell Rate" (1), "Maximum Burst Size" (1), "Minimum Cell Rate" (1), and "Cell Delay Variation Tolerance" (1).

Kuva 3-1. Solmun A.1.1 saaman yhteydenmuodostuspyynnön liikenneparametrit

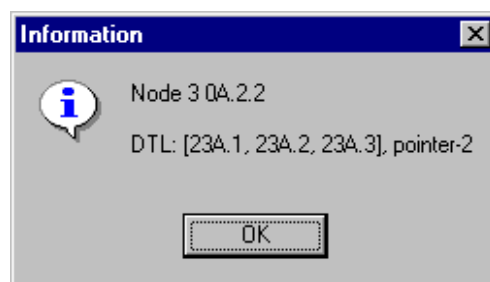
3.1 Tilanne 1.

Solmu A.1.1 on löytänyt reitin solmuun A.3.3. Reitti kulkee ryhmien A.2 ja A3 kautta. A.1.1:n tehtäväksi jää löytää reitti ryhmästä A.1, johon se itse kuuluu ryhmään A.2. A.1.1:llä sattuu olemaan suora yhteys solmuun A.2.2, joka kuuluu ryhmään A.2, joten A.1.1 forwardoi yhteydenmuodostuspyynnön solmulle A.2.2



Kuva 3-2 Yhteydenmuodostus 1

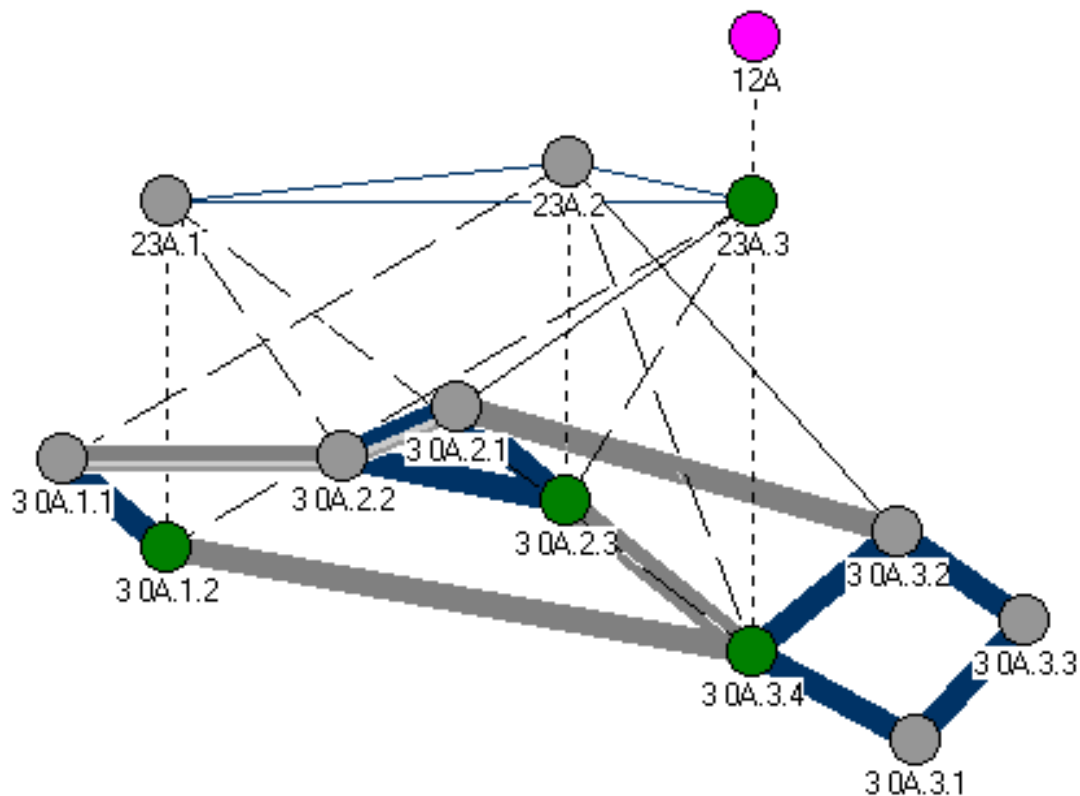
A.2.2 vastaanottaman yhteydenmuodostuspyynnön DTL pino:



Kuva 3-3. DTL 1

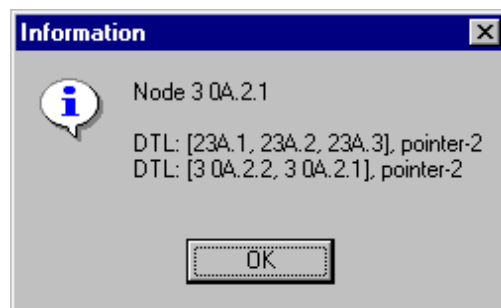
3.2 Tilanne 2.

A.2.2 huomasi, että sen tulee löytää reitti ryhmään A.3. Sillä ei ole suoraa yhteyttä tämän ryhmän jäseneseen, joten se lisää uuden DTL:n DTL pinoon, jolla päästäisiin ryhmään A.3. A.2.2 forwardoi yhteydenmuodostuspyynnön päällimmäisen DTL:n seuraavalle solmulle, eli solmulle A.2.1



Kuva 3-4. Yhteydenmuodostus 2

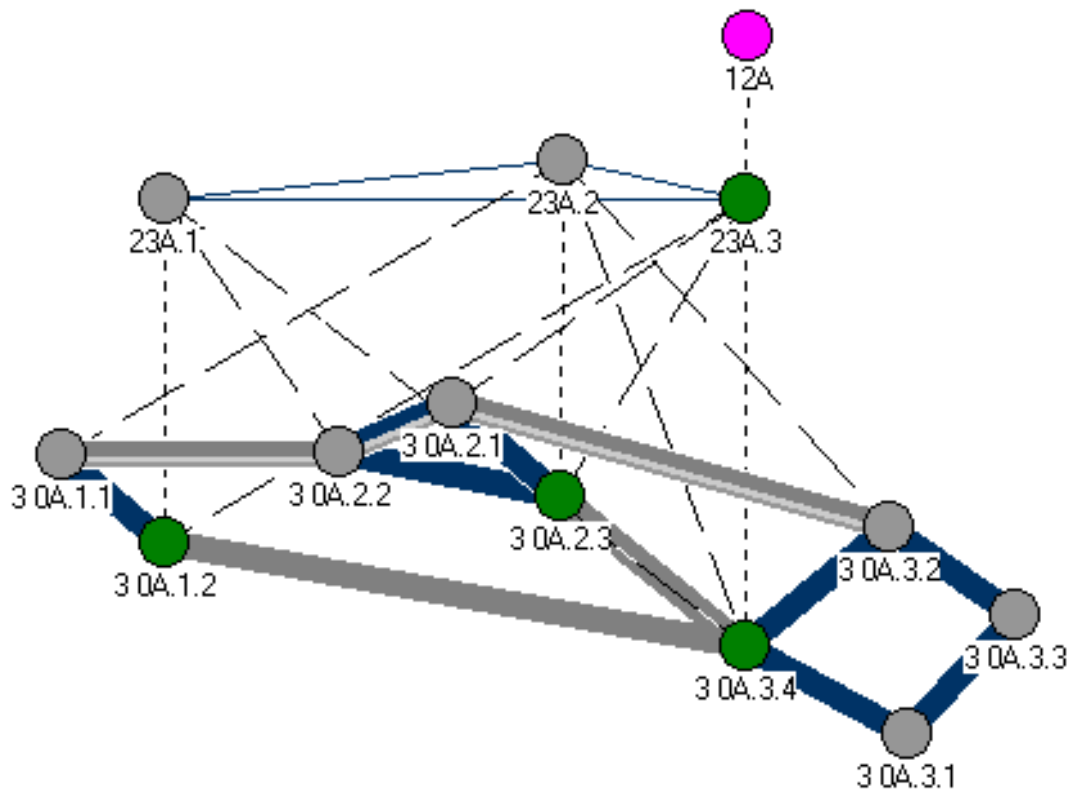
A.2.1 vastaanottaman yhteydenmuodostuspyynnön DTL pino:



Kuva 3-5. DTL 2

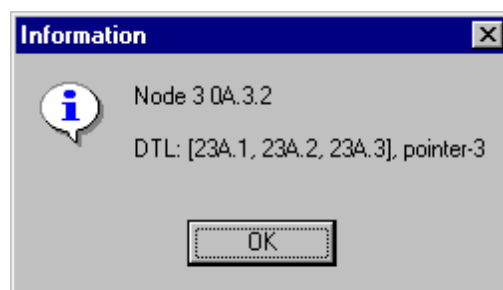
3.3 Tilanne 3.

A.2.1 huomaa, että se on päällimmäisen DTL:n viimeinen solmu, joten se poistaa päällimmäisen DTL:n pinosta. Uudessa päällimmäisessä DTL:ssä on seuraavana ryhmä A.3. A.2.1 etsii reitin ryhmään A.3. Se huomaa, että sillä on suora yhteys solmuun A.3.2, joka kuuluu ryhmään A.3, joten A.2.1 forwardoi yhteydenmuodostuspyynnön solmulle A.3.2.



Kuva 3-6. Yhteydenmuodostus 3

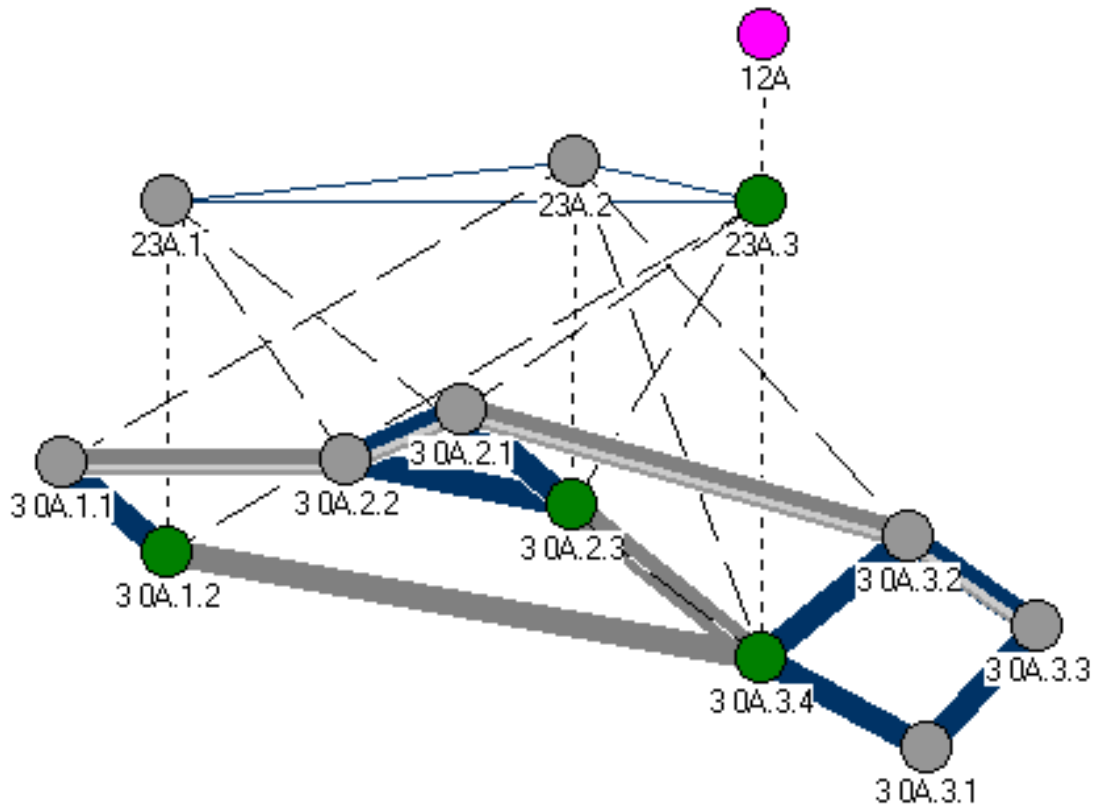
A.3.2 vastaanottaman yhteydenmuodostuspyynnön DTL pino:



Kuva 3-7. DTL 3

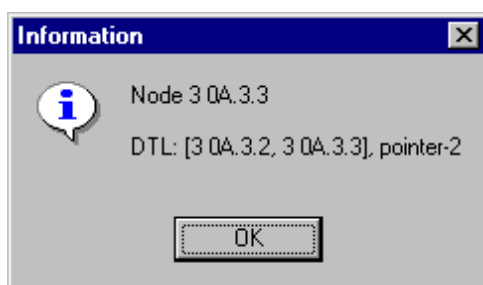
3.4 Tilanne 4.

Solmu A.3.2 vastaanottaa yhteydenmuodostuspyynnön ja huomaa olevansa päällimmäisen DTL:n viimeinen solmu, joten se poistaa päällimmäisen DTL:n ja etsii reitin samassa ryhmässä olevalle solmulle A.3.3, joka on yhteydenmuodostuspyynnössä oleva päätesolmu. A.3.2 huomaa solmun A.3.3 olevan naapurisolmu, joten se tekee DTL:n itsestään solmuun A.3.3 ja forwardoi yhteydenmuodostuspyynnön sille.



Kuva 3-8. Yhteydenmuodostus 4

A.3.3 vastaanottaman yhteydenmuodostuspyynnön DTL pino:

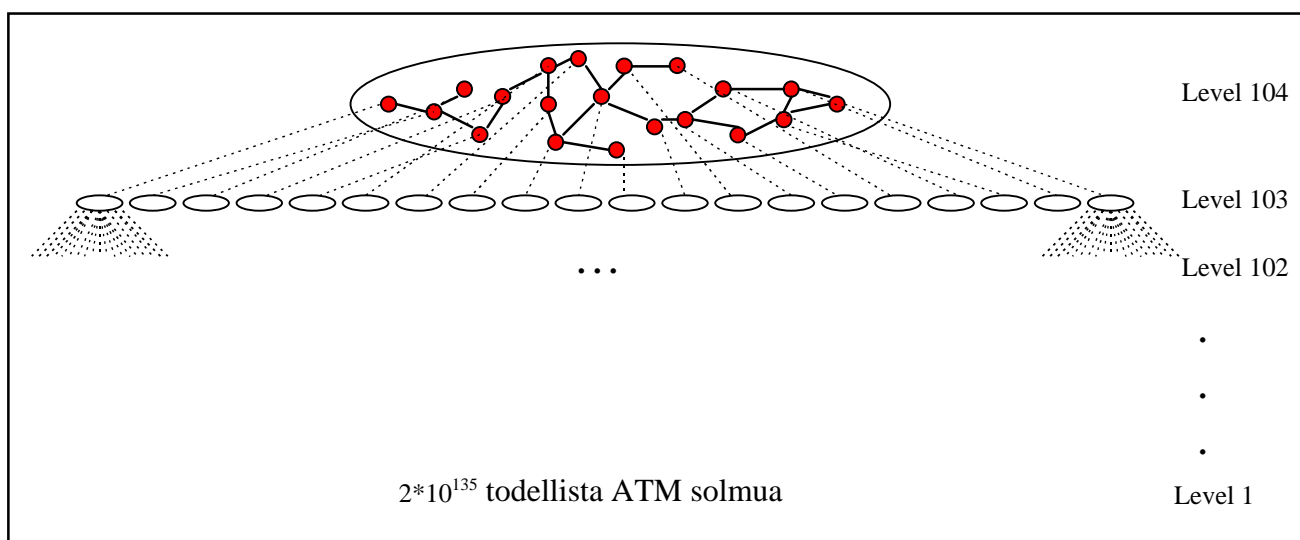


Kuva 3-9. DTL 4

4. YHTEENVETO

PNNI 1.0 on osoittautunut suureksi menestykseksi. Kymmenien valmistajien uudet ATM solmut on rakennettu PNNI protokollan mukaisiksi.

PNNI hierarkia takaa, että protokolla skaalautuu hyvin maailmanlaajuisiin ATM verkkoihin. PNNI protokolla hierarkiassa voi olla 104 hierarkiatasoa. Olettakaamme, että jokaisessa ryhmässä on 20 solmua. Tällöin todellisten solmujen kokonaismäärä voi olla maksimissaan $20^{104} = 2 \cdot 10^{135}$ solmua koko PNNI domainissa. Tämä voidaan nähdä kuvasta 4-1. Maailman laajuiset ATM verkot voidaan rakentaa helposti kymmenellä hierarkiatasolla [2, s.27].



Kuva 4-1. PNNI hierarkian skaalautuvuus

PNNI protokolla mahdollistaa sen, että useat uudet sovellukset voivat vallata verkon luoman uuden markkina-alueen. Vihdoin interaktiivinen multimedia on löytänyt työalustan, joka mahdollistaa dynaamisen ja laajakaistaisen verkon resurssien allokoinnin.

ATM Forum julkistaa muutaman kuukauden päästä PNNI 2.0 protokollan, jossa on uusia QoS laatuparametrejä. Nämä uudet laatuparametrit antavat vielä enemmän mahdollisuuksia ATM verkoissa oleville palveluille.

LÄHTEET

- [1] ATM Forum, The ATM Forum 94-0471R15 PNNI Signaling Description, 1994, p. 363
- [2] ATM Forum, Private Network-Network Interface Specification Version 1.0, 1996, p. 366
- [3] Rainer Händel, Manfred N. Huber, Stefan Schröder, ATM Networks, ed. 2, Addison-Wesley, 1994, p. 287
- [4] Matti Tommiska, "Optimization of ATM routing with an FPGA-based hardware accelerator", Master's Thesis, TKK 1996, p. 12
- [5] Joel M. Halpern , The Architecture and Status of PNNI, Newbridge Networks Inc., 1995, pp. 1 - 8
- [6] Walter J. Goralski, Introduction to ATM Networking, McGraw-Hill, 1995, p. 384
- [7] Gurdip Singh, "Leader Election in the Presence of Link Failures", IEEE Transaction on Parallel and Distribution Systems, Vol. 7, 1996, No. 3, pp. 231-236
- [8] Harry J.R. Dutton, Peter Lenhard, Asynchronous Transfer Mode (ATM), ed. 2, Prentice Hall PTR, 1995, p. 264