2 KYTKENTÄLAITTEET JA NIIDEN RAKENNE

ATM-verkko perustuu samanlaisiin kytkentälaitteisiin kuin perinteinen puhelinverkko. Peruselementtejä julkisessa ATM-verkossa ovat ristikytkentälaitteet ja keskukset. Tilaajan puolella, yksityisissä ATM-verkoissa, käytetään vaihteita ja työryhmäkeskittimiä.

Ristikytkentälaitteet ovat ensivaiheen ATM-verkon toteuttajia. Niillä muodostetaan kiinteitä *(Permanent Virtual Circuit ~ PVC)* yhteyksiä eri päätelaitteiden välille. Ristikytkentälaitteet toimivat usein VP *(Virtual Path)* -tasolla, eli ne kytkevät virtuaaliväyliä eivätkä ota kantaa väylillä kulkeviin kanaviin. Ristikytkentälaitteita hallitaan erillisiltä verkonhallintapäätteiltä, siksi yhteyden muodostus- ja kestoajat ovatkin tyypillisesti useita tunteja.

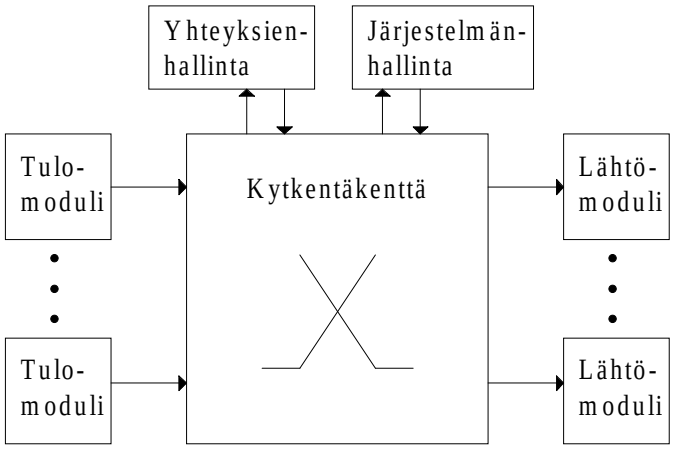
ATM-keskuksilla toteutetaan toisen vaiheen ATM-verkkoja. Keskukset ovat merkinanto-ohjattuja kytkimiä, jotka muodostavat kytkentäisiä *(Switched Virtual Circuit ~ SVC)* yhteyksiä. Keskukset toimivat VP- ja VC-tasoilla eli ne hallitsevat sekä virtuaaliväyliä että virtualikanavia. Keskuksien hallinta- ja ohjausmekanismit perustuvat keskuksen sisäisiin ohjaus- ja hallintalohkoihin. Nämä lohkot kykenevät itsenäisesti reagoimaan verkon eri tiloihin.

ATM-vaihteet ovat kapasiteetiltaan pienikokoisia keskuksia. Niissä on keskuksiin verrattuna monia yhteneviä piirteitä. Ne ovat merkinanto-ohjattuja, suorittavat liikenteenhallintaa ja toimivat usein sekä VP- että VC-tasoilla. ATM-vaihteilla toteutetaan ensivaiheessa myös julkisia merkinanto-ohjattuja ATM-verkkoja.

2.1 ATM-KYTKENTÄLAITE

ATM-kytkentälaite voidaan jakaa toiminnallisiin lohkoihin, joilla kullakin on oma tehtävänsä. Lohkojen välinen kommunikaatio voi tapahtua solupohjaisesti kytkentäkenttää hyväksikäyttäen tai oman sisäisen väylän kautta. ATM-kytkentälaitteen tehtävät ovat perinteiseen puhelinkeskukseen rinnastettavia. Kytkentälaitteen tulee huolehtia yhteyksien muodostamisesta, valvomisesta ja laskutuksesta. Lisäksi olennainen osa on verkon rakenteen ja toiminnan tarkkailu ja vikatilanteisiin reagointi. Nämä tehtävät on jaettu eri tasoille mutta päävastuu on järjestelmän hallinnalla. Tässä työssä käsitellään kytkentälaitetta keskitettynä kokonaisuutena, koska se on mittausten mieltämisen kannalta helpompi tapa.

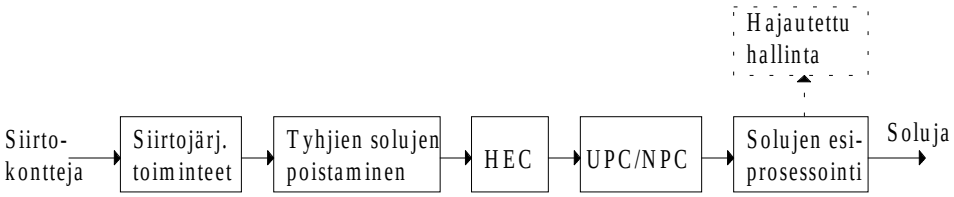
Lohkot, ennen kaikkea yhteyksien- ja järjestelmänhallinta, voitaisiin hajauttaa kytkentälaitteen sisällä, kuten usein tehdäänkin. Näin vältetään yksittäisten lohkojen muodostuminen pullonkaulaksi laitteen sisällä.



Kuva 2-1 ATM-kytkentälaitteen lohkokaavio [1]

2.2 TULOMODUULI

Tulomoduuli on ehkä monimutkaisin ATM-kytkentälaiteen osa. Sen tehtäviin kuuluu siirtotien päättäminen sekä solujen esiprosessointi. Protokollaviitemallin mukaisesti tulomoduuli suorittaa fyysisen kerroksen tehtäviä sekä osittain ATM-kerrokselle kuuluvia toimintoja.

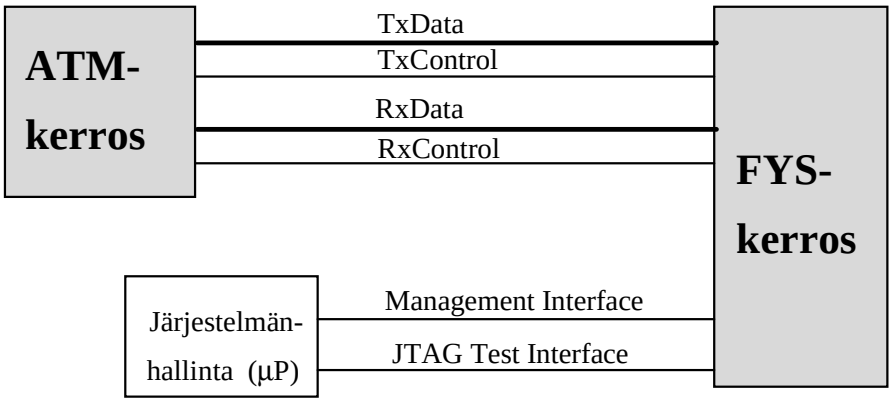


Kuva 2-2 Tulomoduulin lohkokaavio

Fyysisen kerroksen toiminnot jakautuvat kahtia. Siirtojärjestelmätasolla suoritetaan mahdolliset signaalitason muunnokset, bittivirran virheenkorjaus, siirtojärjestelmän tietoyksiköiden kokoaminen, siirtojärjestelmän tietoyksikön otsikkotietojen prosessointi, soluvirtaan tahdistuminen sekä solunopeuden sovitus. Solutasolla suoritetaan solujen otsikkotietojen tarkistus (HEC). [30, 36]

ATM-kerroksen toiminnoista tärkeimpiä ovat VPI/VCI -arvojen muunnokset, merkinanto- ja hallintasolujen erottaminen sekä yhteysparametrien valvonta. Tämän lisäksi tulomoduuli lisää jokaiseen soluun sisäisen reititystunnuksen, jota kytkentäkenttä käyttää solun reititykseen oikeaan lähtöporttiin. [27, 36]

Fyysisen tason siirtojärjestelmiä on monia ja siksi tulomodulejakin joudutaan suunnittelemaan useista lähtökohdista. Yleisessä verkossa käytetään pääasiassa PDH- ja SDH-pohjaisia ratkaisuja, joiden hyötykuormaan ATM-solut asetellaan. Jotta koko tulomoduuli ei riippuisi siirtojärjestelmätason toteutuksesta ja jotta kaikissa kytkentälaitteissa ja siirtojärjestelmissä solujen siirtyminen ATM-kerrokselle tapahtuisi yhtenevän proseduurin kautta on standardoitu UTOPIA-rajapinta *(Universal Test & Operations PHY Interface for ATM)*. Rajapinta sijaitsee fyysisen kerroksen ja ATM-kerroksen välillä. Rajapintamäärittely sisältää suosituksen sisäiselle väylälle sekä sen liikennöintitavalle. [34]

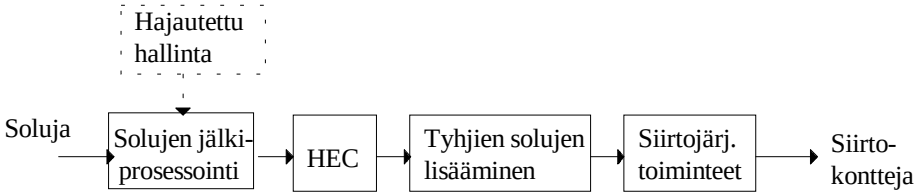


Kuva 2-3 UTOPIA-rajapinta [34]

UTOPIA-rajapinta soveltuu myös mittausrajapinnaksi suoritettaessa valmistuksenaikaista testausta ATM-kerroksen toiminnasta.

2.3 LÄHTÖMODUULI

Lähtömoduuli on tulomoduulin kanssa pitkälti yhteneväinen. Tosin prosessointia tarvitsevia toimintoja on paljon vähemmän. Lähtömoduuli poistaa kytkentäkentästä tulevista soluista sisäiset reititystunnisteen sekä suorittaa mahdollisen sisäisen virheenkorjauksen. Perustoimintoja ATM-kerroksella ovat OAM-solujen lisäys, järjestelmänhallinta- sekä merkinantosolujen lisääminen soluvirtaan. Fyysisellä kerroksella suoritetaan otsikon HEC-kentän generointi tyhjien solujen lisääminen ja siirtojärjestelmään sovitus.



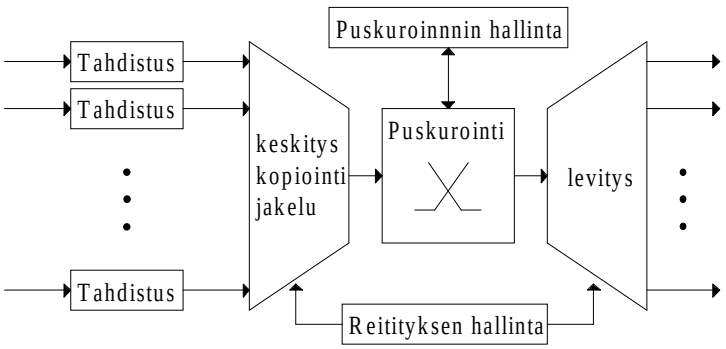
Kuva 2-4 Lähtömoduulin lohkokaavio

2.4 KYTKENTÄKENTTÄ

Kytkentäkenttä on kytkentälaitteen raakaa solunvälitystä suorittava yksikkö. Kytkentäkenttiä on rakennettu useilla erilaisilla topologioilla. Kaikkien tulee kuitenkin täyttää seuraavat ehdot: [1, 3, 4, 5]

- Suorittaa solutason puskurointia
- Suorittaa liikenteen keskittämistä ja kanavointia
- On varmistettu vikatilanteiden varalta
- Kykenee jakelu- ja ryhmäliikenteeseen
- Suorittaa hallittua solujen järjestelyä perustuen viiveprioriteetteihin
- Suorittaa hallittua solujen karsimista perustuen hukkaamisprioriteetteihin
- Suorittaa eston valvontaa ja hallintaa

Vaikka ATM onkin tahdistamaton toimintatapa, toimii kytkentäkenttä tiukasti tahdistettuna. Tämä takaa suuren läpäisyn suurilla nopeuksilla. Kytkentäkentät toimivat usein hyvinkin suurilla nopeuksilla, jolloin pienetkin virhetilat johtavat suuriin soluhukkiin.



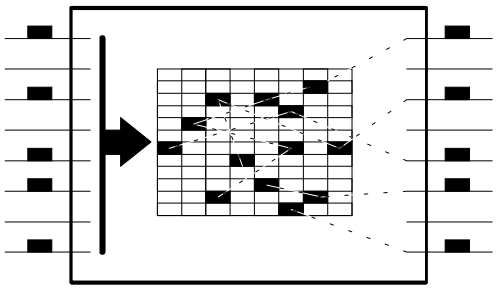
Kuva 2-5 Kytkentäkentän lohkokaavio

Kytkentäkenttiä suunniteltaessa perustoteutustapoja on neljä: jaettu muisti, jaettu media, täysin yhteenkytketty ja tilakytkentä. Kytkentäkenttien perustoteutustavoilla on kullakin omat rajoituksensa, jotka nykyinen teknologiataso asettaa. Nykyiset kytkentälaitteet ovat erilaisia sekoituksia perustavoista.

2.4.1 Jaetun muistin kytkentäkenttä

Jaettua muistia hyödyntävä kytkentäkenttä on periaatteessa yksi suuri muisti, jota dynaamisesti jaetaan tarpeen mukaan eri yhteyksille. Jaettu muisti pystyy hyödyntämään tehokkaimmin puskurointikapasiteettinsa, koska mitään kiinteää jakoa eri yhteyksille ei ole. Koska muistin tila muuttuu jatkuvasti, vaatii jaettu muisti tehokasta ohjauslogiikkaa. Kompleksisen logiikan lisäksi tulee muistin olla erittäin nopeaa. Nykyisiin muistipiireihin voidaan lukea ja kirjoittaa yksi solu kerrallaan - näin ollen, täytyy muistin toimia kytkentälaitteen maksimivälitysnopeudella.

Jakelu- ja ryhmäliikenteen solujen monistus on helppoa, sillä muistia voidaan lukea rajattoman monta kertaa peräkkäin. Tosin tämä lisää entisestään monimutkaista ohjauslogiikkaa.

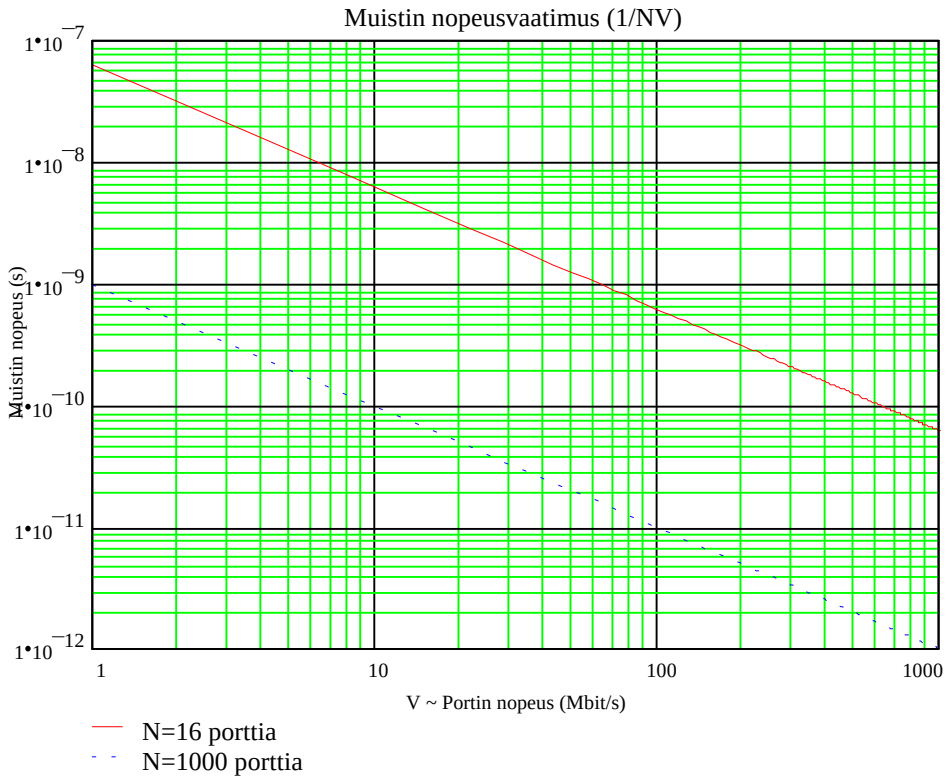


Kuva 2-6 Jaetunmuistin kytkentäkenttä [10]

Jaetun muistin kytkimessä on tulomoduulien takana keskitin, joka kerää solut muistiväylälle. Väylän on oltava riittävän leveä, jotta väylän nopeus ei muodostu ongelmaksi. Lähtöpuoli on tulopuolta vastaava.

Kuva 2-7 osoittaa selvästi sen kuinka rajoittunut jaetunmuistin tekniikka on. Pienet 16 portin kytkimet ovat mahdollisia mutta nekin vaativat useampia rinnakkaisia muistilohkoja, jos halutaan päästä 155Mbit/s porttinopeuteen.

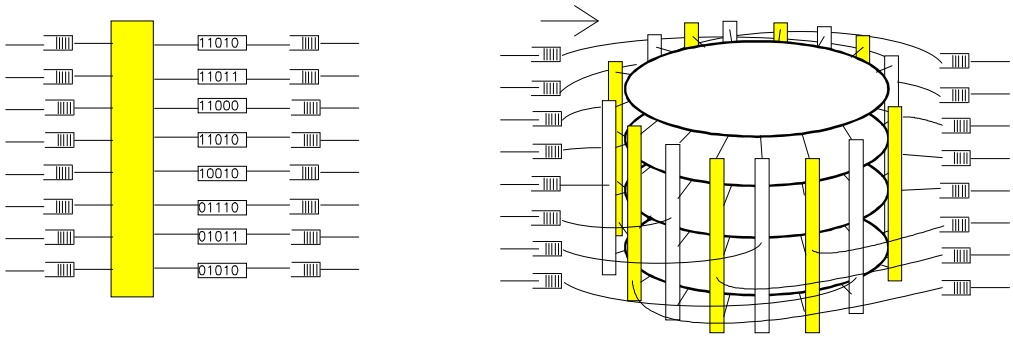
Jaetunmuistin kytkimiä on markkinoilla ainakin IBM NWAY'S tuoteperheessä sekä Hitachin ja AT&T:n prototyyppikytkimissä [1].



Kuva 2-7 Jaetun muistin nopeusvaatimus.

2.4.2 Jaetun median kytkentäkenttä

Jaetun median kytkentäkenttä on periaatteessa aikajakoinen väylä tai rengas. Tähän mediaan tulomoduulit välittävät soluja omalla vuorollaan. Lähtömoduulit tarkkailevat väylällä tapahtuvaa liikennettä ja kopioivat kaikki ne solut joissa on heille kuuluva tunniste. Jakelu- ja ryhmäliikenteessä solujen monistusta ei tarvita, koska jokainen solu on kaikkien nähtävänä yhteisellä väylällä. Mikäli kytkentäkentästä halutaan estoton täytyy kytkentäkentän toimia jaetun muistin muistin nopeudella, eli kytkentälaitteen maksimivälitysnopeudella.

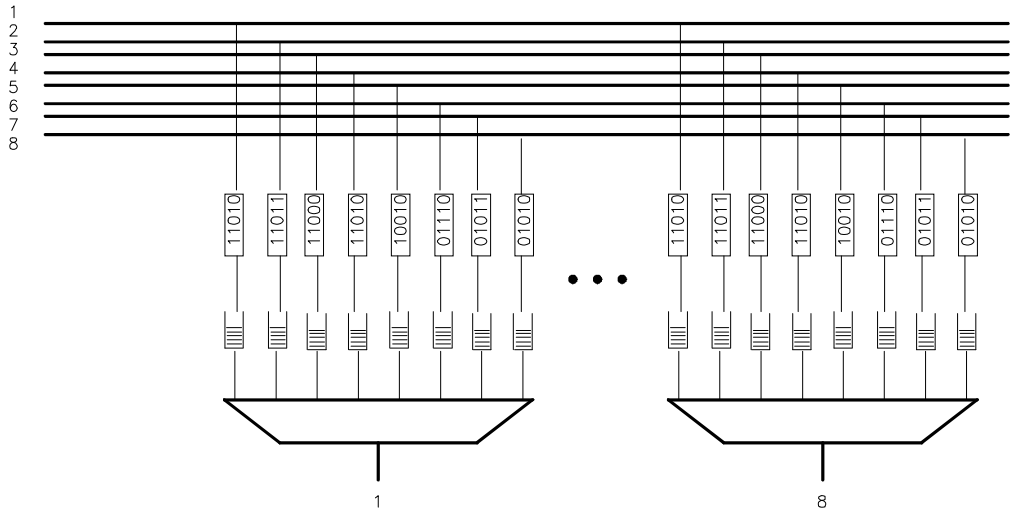


Kuva 2-8 Jaetun median kytkentäkenttiä [10]

Jaetun median kytkentäkentät ovat varsin suosittuja ATM-vaihteissa, niitä onkin IBM:n PARIS ja PLAnet prototyypeissä, Fore Systems'in ASX-100 ja ASX-200, NECin ATOM (~CISCO Hyperswitch A100) sekä Siemensin EWSM-kytkentälaitteissa [1].

2.4.3 Täysinkytketyt kytkentäkentät

Täysinkytketyssä kytkentäkentässä on jokaisesta sisääntulosta toisistaan riippumaton polku jokaiseen ulostuloon. Ratkaisuna voi olla esimerkiksi puskuroitu väyläratkaisu, jossa jokaisella tulomoduulilla on oma väylä, jolle lähettää solujaan. Jokainen lähtömoduuli tarkkailee kaikkia väyliä omien osoitesuodattimien kautta, kun sille tarkoitettu solu näkyy väylällä kopioidaan se puskuriin. Puskureita luetaan kiertävästi, jolloin kaikki saavat palvelua vuorollaan. Periaatteessa kyseissä ratkaisussa ei tarvita porttinopeutta suurempaa sisäistä nopeutta; edellyttäen, että jokainen tulomoduuli sisältää vain yhden portin. Yleensä kuitenkin sisäinen nopeus on nostettu 622Mbit/s, jolloin tulomoduulissa voi olla, joko yksi STM-4, 4*STM-1 tai N kpl hitaampia portteja. Rakenteen huono puoli on jokaisen lähtöjohdon oma puskuri, mikä asettaakin ainoan fyysisen rajoituksen kytkentälaitteen koolle. Tosin, jos käytetään Knock'out -kytkentää, jokaiselle väylälle ei tarjota omaa puskuria vaan ainoastaan useat väylät jakavat puskurin, ei kyseistä ongelmaa ole. Näin ollen esim. 8 tai 16 solun sallitaan saapuvan yhtäaikaisesti samalle lähtöjohdolle.



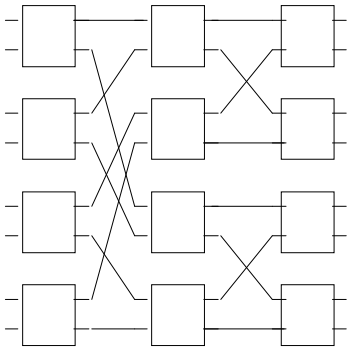
Kuva 2-9 Täysinkytketty kytkentäkenttä [1]

Täysinkytkettyjä kytkentäkenttiä voidaan laajentaa hyvinkin suuriin kokonaisuuksiin ilman piiriteknologian rajoituksia. Näin ovatkin tehneet ainakin Fujitsu ja GTE kytkentälaitteissaan [1].

2.4.4 Tilakytkentäinen kytkentäkenttä

Tilakytkentäinen kytkentäkenttä on perinteisistä puhelinkeskuksista tuttu ratkaisu. Pakettikytkentään tilakytkentää on sovellettu vasta viimevuosina, tarkemmin 90-luvun alussa. Tilakytkennän etuna on usein ohjauksen yksinkertaisuus sekä toteutuksen helppous. Tästä ääriesimerkkeinä ovat binääriverkot eritoten banyan-verkot. Tilakytkimen heikkopuoli on usein sisäinen esto, jonka poistaminen vaatii kytkentäkenttään redundanssia. Näistä paras esimerkki on CLOS-verkot, joiden soveltaminen suurempiin kytkentälaitteissiin onkin taloudellista.

Binääriverkko muodostetaan kytkentämoduleista, joissa kaksi sisääntuloa ja kaksi ulostuloa. Kytkimellä on kaksi tilaa: suora ja risti. Näin ollen ohjaukseen tarvitaan ainoastaan yksi bitti. Perusmoduleita ryhmittelemällä voidaan muodostaa kompleksisia kytkentäkenttiä, joiden ohjaus perustuu täysin binääriseen lähtöportin tunnukseen.



Kuva 2-10 Tilakytketty kytkentäkenttä [4]

Tilakytkentää käyttäville kytkentälaitteille ei ole muita rajoituksia kuin fyysisen koon kasvaminen kohtuuttoman suureksi, kun portteja lisätään kytkentään.

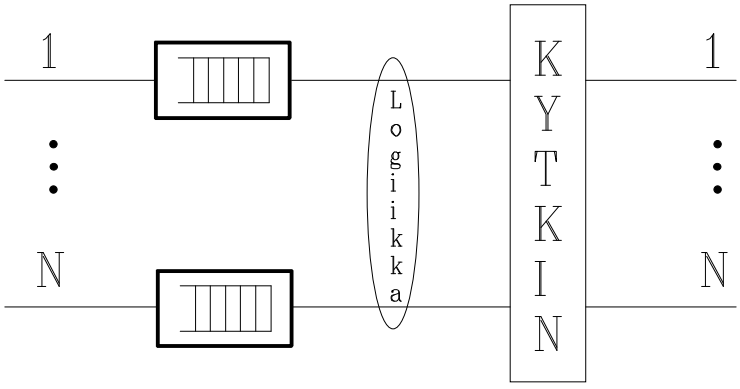
Tilakytkentää käyttää ainakin Bay Networks Lattiscell-sarjassaan.

2.5 PUSKUROINTI

Kytkentätekniikoiden lisäksi tarvitaan puskurointia, jonka järjestämiseen on kolme perustapaa: tulopuskurointi, lähtöpuskurointi ja jaettupuskurointi. Näillä kullakin on omat rajoituksensa ja siksi niitä käytetäänkin jonkinlaisina kombinaatioina.

2.5.1 Tulopuskurointi

Tulopuskurointia (kuva 2-11) käytetään, kun halutaan poistaa eston vaikutusta kytkimen tuloporteissa. Jokainen kytkimen tuloportti sisältää oman rajallisen puskurin, jonka tyhjentämisestä huolehtii erillinen logiikka. Logiikka lukee puskureista ensimmäisen solun ja ohjaa sen kytkimen läpi lähtöporttiin. Tämä kytkentä tapahtuu estottomasti. Lukutapahtumaa ohjaava logiikka on yksinkertaisimmillaan kiertokytkin, jonka nopeus on N * tuloportin nopeus.

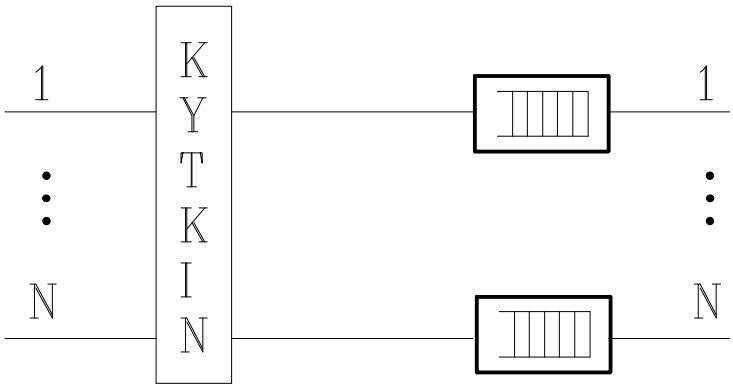


Kuva 2-11 Tulopuskuroitu kytkin [3]

Tulopuskurointi on puskuroinneista yksinkertaisin toteuttaa. Se ei vaadi muistipiireiltä erityistä nopeutta vaan on toteutettavissa kaupallisilla muistipiireillä. Toisaalta tulopuskurointi toteutettuna FIFO *(First In First Out)*-kurilla aiheuttaa helposti HOL *(Head-Of-Line)*-esto efektiä [jonossa ensimmäisenä oleva estynyt solu estää jonossa takana olevia soluja pääsemästä tyhjille johdoille]. Tämä efekti johtaa huonoon suoritustasoon, jos pääasiallinen puskurointitapa on kyseinen.

2.5.2 Lähtöpuskurointi

Lähtöpuskuroinnissa (kuva 2-12) lähtökohtana on kytkin, jonka nopeus on N * tuloportin nopeus. Tällainen kytkentä saattaa aiheuttaa estotilanteen lähtöporttiin, jos useammasta tuloportista pyritään samaan lähtöön. Mahdollinen esto on ratkaistu puskuroinnilla lähtöportissa. Jokaisella lähtöportilla on oma rajallinen puskurinsa, jonka tyhjentymistä ohjaa FIFO-kurilla lähtevän linkin nopeus.



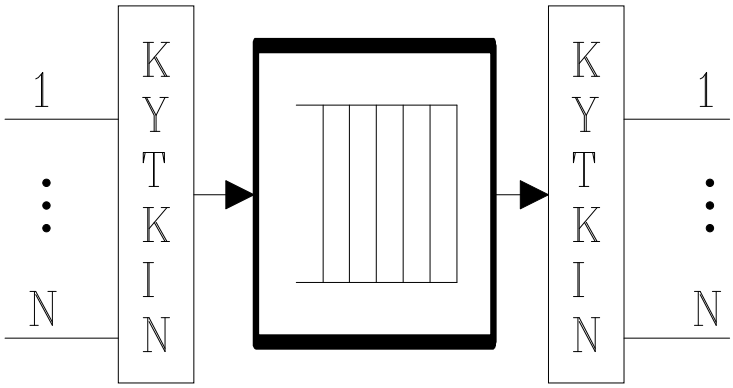
Kuva 2-12 Lähtöpuskuroitu kytkin [3]

Lähtöpuskurointi vaatii käytettävältä muistilta enemmän kuin tulopuskurointi. Lähtöpuskuroinnissa on jokaiseen puskuriin pahimmassa tapauksessa voitava kirjoittaa N-solua yhden syklin aikana.

2.5.3 Jaettu puskurointi

Jaetussa puskuroinnissa (kuva 2-13) solut välitetään ensimmäisen kytkimen läpi puskurimuistiin, joka on fyysisesti yhtenäinen mutta loogisesti sisältää erilliset puskurit. Tämä vaatii käytettävältä muistilta ja ohjauslogiikalta paljon enemmän

kuin edeltävät versiot. Muistiin on kyettävä kirjoittamaan ja lukemaan N-solua yhden syklin aikana ja lisäksi on logiikan pidettävä kirjaa kunkin portin solujen järjestyksestä, jotta FIFO-kuri pysyisi yllä.



Kuva 2-13 Jaetulla puskurilla toteutettu kytkin [3]

2.6 YHTEYKSIEN HYVÄKSYMINEN JA HALLINTA

Pakettikytkentäisen verkon tila on tilastollisesti vaihteleva prosessi, jonka hallintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota, mikäli verkkoa aiotaan hyödyntää edes kohtuullisella hyötysuhteella. Verkon tilan hallinnan keskeinen komponentti on yhteyden hyväksymismenettely *(Connection Admission Control ~ CAC)*. Hyväksymismenettely suoritetaan aina uuden kutsun saapuessa verkkoon sekä vanhan yhteyden halutessa muuttaa yhteysparametrejaan. Hyväksymismenettelyssä jokainen yhteyden VC-tasolla kytkentää suorittava kytkentälaite tarkastelee päätelaitteelta saamiaan liikenneparametreja omaa kapasiteettiaan vastaan. Mikäli kytkentälaitteet kykenevät tarjoamaan yhteydelle sen pyytämän palvelun ilman olemassa olevien yhteyksien laadun heikentämistä alle niiden pyytämän palvelutason, hyväksytään kutsu.

Jotta hyväksytyt yhteydet pysyisivät liikennesopimuksen rajoissa, täytyy niitä valvoa. Tämä on pakollinen proseduuri jokaisessa tilaajaliittymässä. Yhteyksien valvontamekanismi perustuu jokinlaiseen algoritmiin, joka täyttää ITU-T:n vaatimukset valvonnan tarkkuudelle. Algoritmit tunnetaan yleensä ‘vuotavan ämpärin’ nimellä, koska vuotavan ämpärin idea kuvastaa hyvin tapahtumaa.

2.7 JÄRJESTELMÄNHALLINTA

ITU-T on määritellyt B-ISDN -verkolle ja sen kytkentälaitteille kuuluvia hallintaproseduureja suosituksessa I.610. Hallintaproseduureilla pyritään ylläpitämään verkon kytkentälaitteiden suorituskykyä sekä yhteyksien laatua. [31]

2.7.1 Konfiguraatio

Konfiguraation hallinta käsittää kytkentälaitteen, siihen liitettyjen päätelaitteiden sekä verkon konfiguraation hallinnan. Koska ATM-verkossa hyödynnetään monia fyysisiä liityntätapoja, täytyy kytkentälaitteen pitää liitynnöistään erityistä kirjaa. Lisäksi, koska fyysisten liityntöjen päälle voidaan rakentaa virtuaalisia verkkoja hyödyntämällä virtuaaliväyliä ja kanavia. Näiden merkitys liikenteen hallintamekanismeina on varsin suuri. Järjestelmäkonfiguraation tuntemus suoritettaessa yhteyksille hyväksymismenettelyjä mahdollistaa eri liityntöjen ominaisuuksien tehokkaamman huomioinnin paljon lyhyemmässä ajassa.

2.7.2 Verkkotopologia

Kytkentälaitteen on pidettävä tietokantaa ympäröivästä verkosta. Tämä siksi, että yhteyksien muodostaminen pakettipohjaisessa verkossa, jossa yhteystunnisteet ovat paikallisia, johtaa helposti yhteyden silmukoitumiseen. Ratkaisua ongelmaan on haettu yhteyden muodostuksessa käytettävästä SETUP-solusta. SETUP-solun erityiseen kenttään asetetaan jokaisen kauttakulkukeskuksen verkkotunnus, näin tunnistetaan yhteyden silmukoituminen.

ATM-verkossa, jossa on mahdollista muodostaa virtuaalisesti moninaisia verkkoja, on verkkotopologialla kolme tasoa: fyysinen-, virtualiväylä- ja virtuaalikanavaverkko. Virtuaalisilla väylillä ja kanavilla muodostetut topologiat ovat kuitenkin enemmän konfiguraatio-ongelmia kuin topologisia. Liikenteen hallinnassa on kuitenkin etua verkon loogisen rakenteen tietämisellä.

2.7.3 Yhteyksien seuranta

ATM-kytkentälaite pitää yllä tietokantaa olemassaolevista yhteyksistä sekä niiden liikennesopimuksista. Tämä tietokanta on perustana, kun uusia yhteyksiä arvioidaan yhteyden hyväksymismenettelyssä. Koska liikennesopimus on vain tilaajan antamien liikenneparametrien varassa, täytyy sopimuksen täyttymistä valvoa. Kuten määrittelystä I.371 on huomattavissa, parametrivalvontaa tapahtuu

vain julkisen verkon kytkentälaitteissa. Valvontakykyä ei oleteta olevan yksityisissä vaihteissa, mikä johtaakin niiden järjestelmän hallinnan huomattavasti pienempään prosessointitarpeeseen. Toisaalta, jotta liikenne yksityisestä verkosta julkiseen verkkoon pysyisi jotakuinkin sopimusten rajoissa, tarvitaan yksityisen verkon vaihteissa jonkinlaista parametrivalvontaa ja/tai liikenteen muokkauskykyä.

2.7.4 Suorituskyky

Suorituskyvyn seurantaan on suosituksessa I.610 määritelty OAM-solu, jolla pystytään valvomaan yhteydelle keskeisiä suorituskykyarvoja. OAM-solulla kyetään havaitsemaan virheelliset solut sekä siirtoviive. Tämä perustuu OAM-solujen säännölliseen lähettämiseen eri yhteystasoilla.

Jokainen ATM-verkon kytkentälaite pitää kirjaa omien yhteyksiensä suorituskykyarvoista. Näin se kerää tietoa omasta kuormitustilastaan yhteyden hyväksymismenettelyä varten.

2.7.5 Laskutus

Laskutustietojen muodostuminen ATM-verkossa on vielä hyvin keskeneräinen asia. Kinasteluja käydään siitä, miten laskutus tulee suorittaa, millaisella tarkkuudella sen tulisi tapahtua ja mitkä yhteysparametrit siihen tulisi vaikuttaa.

Teknisesti ajatellen on laskutuksen problematiikka varsin suuri. B-ISDN -verkossa on tarkoitus välittää hyvinkin erityyppisiä palveluja ja verkon on tarkoitus ulottua jokaiselle saarelle ja kukkulalle. Tällaisessa verkossa yksinkertaisten laskutusmekanismien rakentaminen on mahdotonta. Toisaalta mekanismit eivät voi olla kovin monimutkaisia tai niiden taloudellinen käyttö ei ole perusteltua. Lisäksi jos laskentamenetelmien lukumäärä kasvaa kovin suureksi muodostuu laskutustietokannoista hyvin suuria ja vaikeasti hallittavia. Mikäli laskutustietokantoja ei voida nykyisestä yksinkertaistaa, tulee vastaan laskutusinformaation muodostumisnopeudesta johtuva raja-aita. Moni pakettipohjainen protokolla purkaa yhteyden verkossa mikäli sillä ei ole juuri kyseisellä hetkellä lähetettävää. Tämä saattaa johtaa kutsujen muodostamis- ja purkamiskierteeseen, jossa jokainen muodostettu yhteys aiheuttaa oman laskutustietueen. Mikäli näitä yhteyksiä on verkossa useita kasvaa

laskutustietokanta hetkessä satoihin megatavuihin. Jotta tällainen vaara vältetään täytyy laskutuksen perustua liikenneluokkiin ja yhteyden muodostamisesta tulee aiheutua suurempi lasku kuin sen hetkellisestä hukkakäytöstä.

CBR- ja VBR-tyyppisille yhteyksille laskutus voisi perustua jonkinlaiseen keskinopeuteen, joka määritellään yhteyden hyväksymisvaiheessa, ja tilaajan ongelmaksi jäisi siirtokaistan tosiasiallinen tehokas käyttö. Tämä saattaisi olla järkevää, sillä soluja ei tarvitsisi erikseen laskea, ja eri operaattorien verkkojen käytöstä johtuva lisälaskutus olisi helppoa muodostaa yhteyden muodostusreitin perusteella. Näin siirtokaistan varaus verkossa tulisi laskutettua suoraan tilaajalta. Toisaalta on esitetty myös lähetettyjen solujen lukumäärään perustuvia laskutustapoja. Nämä soveltuvatkin paremmin UBR ja ABR palveluluokkien liikenteelle, koska ei ole mitään keskiarvoa lähetettävälle liikenteelle. Solujen lukumäärää voidaan laskea liikenteen valvontapisteessä (UPC) virtuaalisella valvontamekanismilla.

2.7.6 Suojaus ja salaus

Hajautettujen järjestelmien kommunikaatiossa ovat virtuaaliset verkot entistä suositumpia. Virtuaalisen verkon toiminta edellyttää jonkinlaista tietojen suojausta ja salausta. Virtuaaliverkon toteuttaminen ATM:ssä perustuu yhteystunnisteilla muodostettuihin virtuaaliverkkoihin. Tietyt yhteystunnisteet on ryhmitetty hallintatietokannassa virtuaaliseksi verkoksi, jonka liikenne reititetään virtualiverkon sisällä läpinäkyvästi mutta muusta liikenteestä erillään. Tämä voi tapahtua esimerkiksi erillistä virtuaaliväylää käyttäen. Muuntyyppistä suojaus- ja salauskäytäntöä ei ole vielä määritelty. ATM Forum on tosin perustanut työryhmän tiedonsalaukselle ATM-verkossa mutta sen työn tuloksia ei vielä ole realisoitu mitenkään.

2.7.7 Vikatilanteiden hallinta

Hallintajärjestelmä on vastuussa kytkentälaitteen toiminnallisesta tarkastamisesta. Toiminnallinen tarkastus voi tapahtua testikutsun muodossa tai muuten havainnoimalla piirielinten toimintaa. Mikäli piirielin on vioittunut tai toiminta ei vastaa odotuksia tulisi kytkentälaitteen pyrkiä palauttamaan piirielimen toimintakunto. Tämä tapahtuu uudelleen käynnistyksen tai ohjelmiston uudelleen latauksen muodossa. Mikäli piirielin ei palaudu normaaliin tilaan tulisi se kytkeä

irti verkosta ja lähettää viesti hallintapäätteelle. Tämä on periaatteellinen toiminta mutta mitään varsinaista suositusta toiminnasta ei ole annettu.