



**ATM- ja Multimediaseminaari
17.2.1997**

ABR-palvelu ja sen vuonohjaus (rev 2.0)

Mika Ilvesmäki
S 36412K

Teknillinen Korkeakoulu, Teletekniikan laboratorio
Otakaari 5 A, 02150 ESPOO
lynx@luuri.hut.fi

TIIVISTELMÄ **1**

1. JOHDANTO **1**

2. ATM-VERKKOJEN LIIKENTEEHALLINTA JA ABR-PALVELULUOKKA **1**

2.1 YLEISTÄ	1
2.2 ATM-PALVELUARKKITEHTUURI JA PALVELUN TASO	1
2.3 LIKENNÖINTISOPIMUKSET	3
2.4 ATM-VERKKOJEN LIIKENTEEHALLINTA	4
2.4.1 CAC-MEKANISMI	5
2.4.2 UPC-MEKANISMI	5
2.4.3 LIIKENTEEHALLINTA MUOKKAUS	5
2.4.4 RUUHKAUTUMISEN ILMAISU	5
2.4.5 RESURSSIEN HALLINTA VIRTUAALIVÄYLIEN AVULLA	6
2.4.6 KEHYSHYLKÄYS	6

3. ABR-VUONOHJAUS **6**

3.1 RM-HALLINTASOLUT	6
3.2 VUONOHJAUS PÄÄTELAITTEISSA	7
3.2.1 LÄHETTÄVÄ PÄÄTELAITE	9
3.2.2 VASTAANOTTAVA PÄÄTELAITE	9
3.3 VUONOHJAUSMENETELMÄT ATM-KYTKIMISSÄ	9
3.3.1 EXPLICIT FORWARD CONGESTION INDICATION - EFCI	10
3.3.2 ENHANCED PROPORTIONAL RATE CONTROL ALGORITHM - EPRCA	10
3.3.3 NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY EFFICIENT RATE - NIST ER 11	

4. YHTEENVETO **13**

LÄHTEET **13**

TIIVISTELMÄ

Tässä esityksessä käsitellään ATM Forumin määrittelemää liikenteenhallinnan versiota 4.0 ja erityisesti sen ABR-liikenneluokkaa. Esityksessä käydään läpi pintapuolisesti läpi eri verkkoelementtien, lähettäjän, vastaanottajan ja välityslaitteiston, toimintaa. Lisäksi perehdytään lyhyesti kolmeen erilaiseen tapaan hallita ruuhkautumista ATM-kytkimissä. Tarkasteltavana ovat EFCI-merkintä, EPRCA- ja NIST ER -algoritmi. Kaksi jälkimmäistä algoritmiä toteuttavat tavan ehdottaa lähettävälle päätelaitteelle uutta lähetysnopeutta, joka paremmin käyttäisi hyödyksi kytkimen kapasiteettia hukkaamatta soluja yhteydellä. EFCI-merkintä toteuttaa ainoastaan tavan ilmaista päätelaitteille sen, että verkko on ruuhkautunut, mutta jättää uuden lähetysnopeuden määrittämisen kokonaan päätelaitteiden varaan.

1. JOHDANTO

ATM-verkoissa liikenteenhallinta muodostaa oleellisen osan ATM-tekniikan tuomista parannuksista verkon välityskykyyn. Eri sovelluksia - liikennelähteitä - varten ATM-verkkoihin on suunniteltu käytettäväksi erilaisia liikenneluokkia, jotka vaativat verkolta, eli pääte- ja välityslaitteilta, erilaisia ominaisuuksia. Tämä esitys pohjaa suurelta osin ATM Forumin keväällä 1996 valmistuneeseen dokumenttiin liikenteenhallinnan ja sen mekanismien määrittelystä /1/. Dokumentti esittelee uutena palveluluokkana ATM-verkossa ABR-palveluluokan, joka tarjoaa solutasolla tapahtuvaa vuonohjausta päätelaitteille. Dokumentti ei sinänsä ota kantaa erilaisiin vuonohjausmenetelmiin, mutta ABR-luokka tarjoaa mahdollisuudet hyvin monipuolisiin ratkaisuihin.

Eri laitevalmistajien ja standardoinnin ja tutkimuksen parissa työskentelevien tavoitteena on ollut kehittää sellaisia vuonohjausalgoritmeja, joissa yhdistyisivät helppo toteutettavuus, ruuhkatilanteiden ennaltaehkäisy, hallinta ja purku. Esityksessä tarkastellaan kolmea erilaista toteutusta näistä lähtökohdista.

Tämän esityksen tarkoituksena on esitellä ABR-palveluluokka ja muutama ATM-välityslaitteistoissa käytettävä vuonohjausmenetelmä ymmärrettävällä tasolla, joskin menetelmien monimuotoisuus ja suhteellinen raskaus on varmasti jättänyt jälkensä lopputulokseen.

2. ATM-VERKKOJEN LIIKENTEEHALLINTA JA ABR-PALVELULUOKKA

2.1 Yleistä

Seuraavassa perehdytään pintapuolisesti ATM-verkkojen liikenteenhallintaan. Tarkastelu aloitetaan palveluarkkitehtuurin kuvauksesta ja siitä edetään liikennöintisopimusten kautta liikenteenhallinnan erilaisten menetelmien pintapuoliseen kuvaukseen.

2.2 ATM-palveluarkkitehtuuri ja palvelun taso

ATM-liikennelähteet pyritään luokittelemaan johonkin taulukossa 2-1 esitettyyn viiteen palveluluokkaan.

Taulukko 2-1: ATM-palveluluokat /1/

Palveluluokka	Käytännön sovellukset
CBR, Constant Bit Rate	Videokonferenssi, VoD ja puhelin.
rt-VBR, real-time Variable Bit Rate	Kompressoitu kuva ja ääni sekä muut tilastollista kanavointia hyödyntämään kykenevät sovellukset.
nrt-VBR, non-real-time Variable Bit Rate	Prosessinvalvonta.
UBR, Unspecified Bit Rate	Sähköposti, tiedonsiirto ja LAN-emulaatio.
ABR, Available Bit Rate	Tietoliikennesovellukset; Mitkä tahansa ABR-luokkaa tukevat sovellukset.

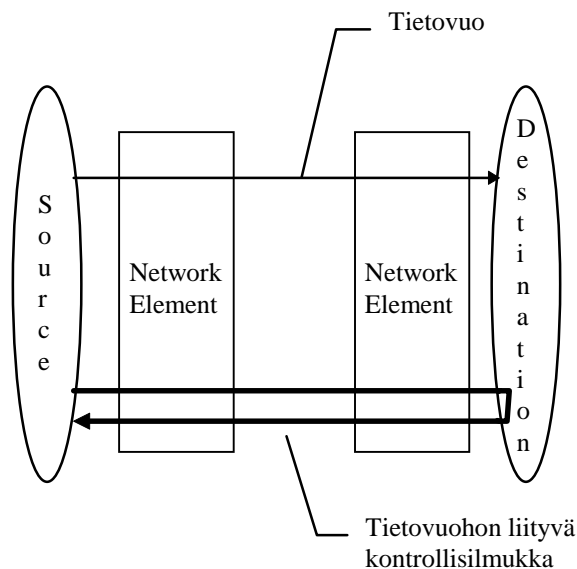
CBR-palveluluokka on tarkoitettu sovelluksille, jotka tarvitsevat pysyvästi jonkin tietyn siirtokapasiteetin verkosta käyttöönsä. Tämän siirtokapasiteetin suuruus kuvataan solunopeuden maksimiarvolla (PCR). Liikennelähde voi lähettää soluja millä tahansa nopeudella, jonka täytyy kuitenkin pysytellä alle solunopeuden maksimiarvon. Tällöin liikenteenhallinta pyrkii takaamaan sovitun palvelutason koko yhteyden keston ajan.

Reaaliaikainen vaihtuvanopeuksinen palveluluokka (rt-VBR) on tarkoitettu reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon, jossa siirtoviiveelle on annettu tiukasti määritellyt rajat. rt-VBR yhteydet määritellään PCR-, SCR- ja MBS-parametrien (kts. taulukko 2-2) avulla. Reaaliaikainen VBR-palveluluokka voi hyödyntää liikenteen tilastollista kanavoitumista.

Ei-reaaliaikainen VBR-palveluluokka vastaa rt-VBR -palveluluokkaa, mutta siirtoviiveen vaihtelulle ei ole asetettu rajoja.

UBR-palveluluokka on tarkoitettu sellaisille liikennelähteille, jotka eivät vaadi mitään tiettyä siirtoviivettä tai siirtoviiveen vaihtelurajoja. UBR-palveluluokan yhteydessä ei käytetä tarkkoja palvelutason määrittäjiä. Kaikki välitettävä tieto yhteyden liikenne- tai palveluparametreista on luonteeltaan tiedottavaa. On kuitenkin suotavaa, että yhteydelle määriteltäisiin edes viitteellinen arvo solunopeuden maksimiarvolle. Ruuhkautumisen ja eston hallinta suoritetaan UBR-palveluluokassa ylemmillä protokollakerroksilla.

ABR-liikenneluokassa yhteyden muodostuksessa sovittujen liikenneparametrien (kts. taulukko 2-2) arvot voivat muuttua yhteyden aikana. ABR-palvelu pyrkii tarjoamaan mahdollisimman nopean ja joustavan pääsyn verkossa vapaana olevalle kaistanleveydelle. ABR-luokassa on määritetty erityinen vuonohjausmekanismi, jonka avulla hallitaan liikennelähteen lähetystä. Vuonohjaus tapahtuu yhteyden päästä päähän kuvan 2-1 mukaan.



Kuva 2-1: ABR-vuonohjaus /1/

Tämä kontrollisilmukassa kulkeva vuonohjausinformaatio siirretään ATM-verkon hallintasoluissa (RM-soluissa, kts. myös kuva 3-1). Vuonohjausmekanismia totteleville liikennelähteille pyritään takaamaan hyvin pieni soluhukka ja oikeudenmukainen osuus (fair share) kaistanleveydestä. Yhteydenmuodostuksen yhteydessä määritellään PCR- ja MCR-parametrit (kts. taulukko 2-2). MCR määrittää pienimmän solunopeuden, jota lähettävä sovellus voi vielä hyödyntää. MCR:n arvo voi olla myös nolla. ABR-palveluluokalle tarjottava kaistanleveys voi vaihdella, mutta sen ei tulisi olla pienempi kuin MCR. ABR-palveluluokassa ei voida taata reaaliaikaista tiedonvälitystä.

Kuten edellä esitetystä on huomattu, kun ATM-verkoissa muodostetaan yhteyksiä, sovitaan yhteydenmuodostuksen aikana tietyistä liikenneparametreista verkon ja päätelaitteen välillä. Nämä parametrit on esitelty taulukossa 2-2.

Taulukko 2-2: Liikenneparametrit /1/

Parametri	Palveluluokka	Merkitys
PCR, Peak Cell Rate	Kaikki	Huippunopeus
SCR, Sustainable Cell Rate	rt-VBR ja nrt-VBR	Vaihtelevanopeuksisen lähteen keskinopeus.
MBS, Maximum Burst Size	rt-VBR ja nrt-VBR	Purskeen maksimikoko
MCR, Minimum Cell Rate	ABR	Vähimmäisnopeus
CDVT, Cell Delay Variance Tolerance	Kaikki	Soluviiheen vaihtelun sieto. CDVT:n arvoa ei välitetä verkossa merkinannon yhteydessä ja CDVT:lle voidaan määrittää erilaiset arvot PCR:n ja SCR:n yhteydessä.

Liikenneparametrit määrittävät liikennelähteen solutason lähetyksen. Näiden parametrien avulla verkko tietää millaista liikennettä sinne on tulossa ja pyrkii varaamaan resursseja tämän mukaan. Edellä esiteltyjen palveluluokkien palvelutaso määritetään taulukossa 2-3 esitettyjen neuvoteltavien parametrien mukaan liikennesopimusta muodostettaessa (CAC-mekanismi), eli ennen kuin yhteydellä aloitetaan varsinainen tiedonsiirto.

Taulukko 2-3: Palvelutason parametrit /1/

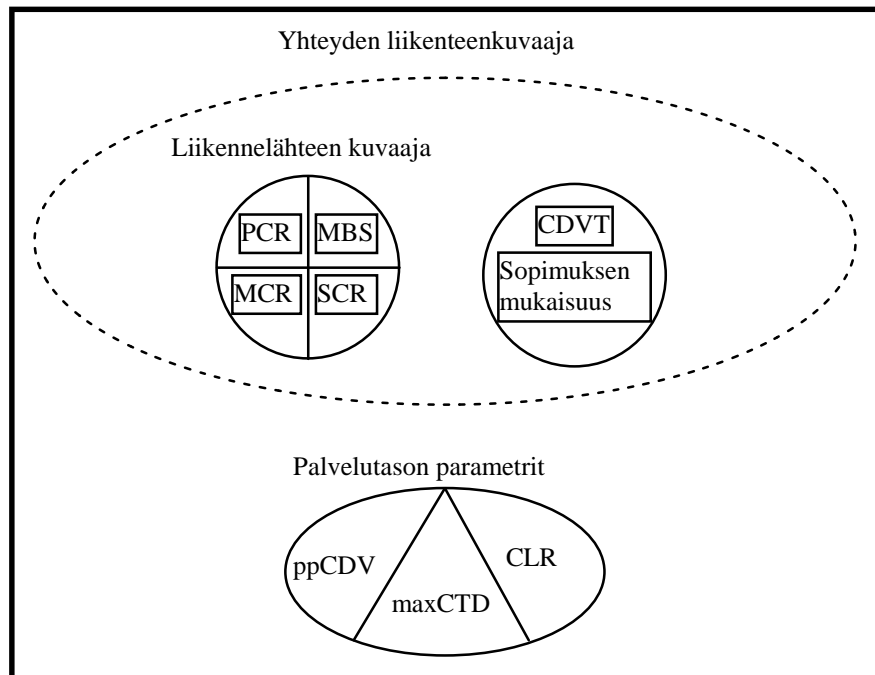
Neuvoteltavat (CAC)	Parametrit	Merkitys
	peak-to-peak CDV, Cell Delay Variation	Viiheen vaihtelu
	max CTD, Cell Transfer Delay	Siirtoviiheen maksimiarvo
	CLR, Cell Loss Ratio	Hukkuneiden solujen ja lähetettyjen solujen suhde. Huom ! Ei käytössä UBR-liikenneluokalle.
Ei-neuvoteltavat (havaitaan yhteydellä)		
	CER, Cell Error Ratio	Virhesolujen määrän suhde onnistuneesti siirrettyjen ja virheellisten solujen määrään
	SECBR, Severly-Errored Cell Block Ratio	Huomattavasti vahingoittuneiden soluryhmien suhde kaikkiin lähetettyihin soluryhmiin. Soluryhmän koko on erikseen määriteltävissä
	CMR, Cell Misinsertion rate	Väärässä paikassa lähetettyjen solujen määrä aikayksikössä

Palvelutason neuvoteltavien parametrien määrittämisellä pyritään selvittämään se pyydetty palvelun taso, jonka lähettäjä tai vastaanottaja havaitsee lähettäessään verkkoon liikennettä sovitettujen liikenneparametrien mukaan. Palvelutason parametrit, ja erityisesti havaittavat parametrit, ovat luonteeltaan todennäköisyyksiä; mikäli niitä ei yhteydellä saavuteta, pyritään verkon- ja liikenteenhallinnan menetelmien avulla vapauttamaan verkon resursseja siten, että määritetty palvelutaso toteutuisi. /1/

2.3 Liikennöintisopimukset

Liikennöintisopimukset rakentuvat kuvan 2-2 mukaisista osista. Sopimus määritellään aina yksisuuntaiselle yhteydelle ATM-verkossa.

Liikennöintisopimus



Kuva 2-2: Liikennöintisopimuksen rakenneosat /1/

Sopimuksenmukaisuuden määrittelyn avulla verkko päättää, mitkä liikennelähteen tuottamat solut hyväksytään, sekä millä UPC/NPC-menetelmällä soluvirtoja valvotaan (yleensä GCRA, Generic Cell Rate Algorithm). ABR-yhteyksillä sopimuksenmukaisuuden määrittely on monimutkaisempi ja ominainen vain ABR-liikennelähteille.

CAC-mekanismi käyttää yhteyden liikenteenkuvaajaa perusteena verkon resurssien varaamiseen yhteydelle ja johtaa tästä UPC-mekanismille valvontaparametrejä.

Kaikki liikennöintisopimukseen kuuluvat parametrit voidaan määrittellä yhteydenmuodostuksen aikana ja määrittelemättömille parametreille voidaan antaa liikenteenhallinnan määrittämät oletusarvot. /1/

2.4 ATM-verkkojen liikenteenhallinta

ATM-tekniikan tarkoituksena on tukea erityyppisiä sovelluksia ja mahdollistaa näiden tuottaman liikenteen välittäminen ATM-verkoissa siten, että sovelluksien kokema palvelun laatu on vakaa ja yksittäiselle sovellukselle sopiva.

ATM-verkkojen liikenteenhallinta näyttelee keskeistä osaa palvelun laadun muodostumisessa. Liikenteenhallinnan pääasiallisena tarkoituksena on suojata verkkoa ruuhkautumiselta ja estolta, jotta saavutettaisiin ja ylläpidettäisiin verkon suorituskyvyn haluttua tasoa. Lisäksi liikenteenhallinta voi auttaa saamaan verkkoresursseja tehokkaampaan käyttöön. Näiden tehtävien suorittamista varten liikenteenhallinnalla on käytössään erilaisia mekanismeja ja menetelmiä. Nämä mekanismit ja menetelmät on esitelty taulukossa 2-4. /1/

Taulukko 2-4: Liikenteen hallinnan mekanismit ja menetelmät /1/

Mekanismi	Toiminta
CAC, Connection Admission Control	CAC tekee päätöksen, siitä voidaanko yhteys ylipäätään muodostaa.
Takaisinohjaus	Verkon elementtien toimenpiteet liikenteen sääntelemiseksi. Perustuvat verkkoelementtien tilatietoihin.
UPC, Usage Parameter Control	UPC valvoo, ettei jo olemassaoleva yhteys riko liikennesopimusta.
CLP, Cell Loss Priority	ATM-solun otsikkokentässä oleva tieto siitä, onko solu hylättävissä.
Liikenteenmuokkaus, Traffic Shaping	Liikenteen luonteen muuttaminen.
NRM, Network Resource Management	Verkkoresurssien hallinta ja resurssien osoittaminen vain tietyn tyyppiselle liikenteelle. Virtuaaliväylät (VP) ovat oleellisessa osassa verkkoresurssien hallinnassa.
Kehyshylkäys	Ruuhkautunut verkko voi hylätä kokonaisia (AAL-) kehyksiä, eikä pelkästään ATM-soluja.
ABR-vuonohjaus	Vapana olevan kapasiteetin mukaan muuttuva solunopeus. Mekanismi toimii vain, mikäli kaikki yhteyden osapuolet tukevat ABR-vuonohjausta

Liikenteen hallinta pohjautuu käytännössä yhteen tai yleensä useampaan taulukossa 2-1 esitettyyn menetelmään. Seuraavassa esitellään tärkeimpiä näistä menetelmistä lyhyesti.

2.4.1 CAC-mekanismi

CAC-mekanismi määrittää ryhmäksi toimenpiteitä, joilla määritellään, onko yhteys mahdollista muodostaa vai täytyykö yhteys hylätä. Yhteys voidaan muodostaa vain, mikäli verkkoresursseja on riittävästi käytettävissä koko yhteydellä. CAC-mekanismi valvoo sekä PVC- että SVC-yhteyksiä. CAC-mekanismi toimii liikennöintisopimuksessa annettujen tietojen perusteella. /1/

2.4.2 UPC-mekanismi

UPC-mekanismi määrittää ryhmäksi toimenpiteitä, joilla valvotaan jo olemassaolevilla yhteyksillä välitettävää liikennettä. UPC-mekanismin päätarkoituksena on suojata verkkoresursseja virheellisesti käyttäytyviltä liikennesovelluksilta. UPC-mekanismi suorittaa liikenteenvalvontaa liikennelähteen kuvaajassa esiintyvien parametrien pohjalta. Havaitessaan sellaisia soluja, jotka eivät käytädy liikennelähteen kuvaajan parametrien mukaan, UPC-mekanismi voi hylätä solun, nostaa solun CLP-bitin arvoon '1' ja täten mahdollistaa solujen valikoivan hylkäyksen myöhemmin tai solu voidaan lähettää edelleen normaaliin tapaan. /1/

2.4.3 Liikenteen muokkaus

Liikenteen muokkauksella tarkoitetaan mekanisme, jossa yhteyden liikenteen ominaisuuksia muutetaan pyrittäessä saavuttamaan tehokkaampi verkkoresurssien käyttö tai liikennöintisopimukseen mukautuminen. Liikenteen muokkauksen tulee säilyttää solujärjestys yhteydellä. Liikenteen muokkauksen erilaisia menetelmiä ovat muun muassa solunopeuden (PCR) vähentäminen, purskeen pituuden rajoittaminen ja solujen välisen viiveen muokkaus. Päätös siitä sovelletaanko liikenteen muokkausta on yksilöllinen ja voi olla erilainen eri verkoissa. Liikenteen muokkaus voi perustua esimerkiksi UPC-mekanismin tekemiin päätöksiin tai liikenteen muokkausta voidaan soveltaa tietyillä yhteyksillä. Minkä tahansa yhteyden soluvirtaa voidaan siis muokata ATM-verkossa. /1/

2.4.4 Ruuhkautumisen ilmaisu

Verkkoelementti, joka havaitsee ruuhkautumista tai ruuhkautumisen uhan voi asettaa EFCI-bitin ATM-solussa ja näin ilmaista verkon tilan ruuhkautumisen osalta seuraavalle verkkoelementille. Sellainen verkkoelementti, joka ei ole ruuhkautunut tai jota ei ruuhkautuminen uhkaa ei poista EFCI-bitin asetusta. Vastaanottaja (pääte- tai välityslaite) voi EFCI-bitin havaittuaan soveltaa jotain erityistä menetelmää solunopeuden pienentämiseksi. On kuitenkin huomattava, että EFCI-bitin asetus ja sen havainnointi vastaanottajan päätelaitteessa ei välttämättä aiheuta mitään

toimenpiteitä, joten sen ei pitäisi olla ainoa liikenteenhallinnan menetelmä. Ainoastaan ABR-liikenneluokassa EFCI-bitin aiheuttamat toimenpiteet päätelaitteissa on määritelty erikseen. /1/

2.4.5 Resurssien hallinta virtuaaliväylien avulla

Virtuaaliväylät (VP) ovat tärkeä osa liikenteen ja resurssien hallintaa ATM-verkoissa. Virtuaaliväylien avulla voidaan esimerkiksi yksinkertaistaa CAC-mekanismia ja erotella tietyn palveluluokan virtuaaliyhteydet (VC) omalle virtuaaliväylälleen. Virtuaaliyhteydet voivat hyödyntää tilastollista kanavointia yhteisellä virtuaaliväylällä, mutta tällöin kaikkien yhteyksien väylällä täytyy pystyä mukautumaan mahdollisiin palvelun tason alenemisiin. Tästä seuraa myös se, että virtuaaliväylien käyttö estää tilastollisen kanavoinnin syntyminen muiden, väylälle kuulumattomien, yhteyksien kanssa. /1/

2.4.6 Kehyshylkäys

Jos verkkoelementin täytyy hylätä soluja, on monissa tapauksissa edullisinta hylätä soluja kehystason tietoon perustuen. Kehyksellä tarkoitetaan tässä AAL-kehysiä. Kehyshylkäystä voidaan soveltaa aina, kun on mahdollista havaita AAL-kehysten loppuminen. Kehyshylkäystä voidaan käyttää vain silloin, kun siitä on erikseen sovittu yhteydenmuodostuksen yhteydessä. /1/

3. ABR-VUONOHJAUS

3.1 RM-hallintasolut

ABR-yhteydellä lähettäjä muokkaa lähetysnopeuttaan oikean tai virtuaalisen vastaanottajan lähettämän palautteen mukaan. Palaute verkon tilasta kulkee RM-solujen kentissä. Vastaanottajan tehtävänä on tutkia ja muuttaa RM-solun kenttien arvoja ja lähettää nämä uudet arvot lähettäjälle arvojen muutosta varten. RM-solun kenttien arvoja voidaan muokata sekä vastaanottajan päätelaitteessa ja verkkoelementeissä (ATM-kytkimissä) siirtotien varrella. RM-solu on rakenteeltaan ATM-solun kaltainen. Se välitetään oletusyhteydellä (VPI=0, VCI=6) ja PTI-kenttä saa binääriarvon 110. RM-solun rakenne ja sen sisältämät tiedot on ABR-luokan osalta esitetty kuvassa 3-1. /1/

ATM-solun otsikko, jossa: VPI=0, VCI=6 ja PTI=110. (5 tavua)							
ID - Protokollan tunniste (1 tavu)							
DIR	BN	CI	NI	RA	Res.	Res.	Res.
ER (2 tavua) - Rajoittaa lähteen nopeuden johonkin tiettyyn arvoon (efficient rate).							
CCR (2 tavua) - Nykyinen ACR:n arvo. Käytetään ER:n laskennassa.							
MCR (2 tavua) - Minimisolunopeus, käytetään mm. verkkoresurssien jakamisen apuna.							
QL (4 tavua) - Queue Length. Ei käytössä ATM Forumin ABR-luokassa.							
SN (4 tavua) - Sequence Number. Ei käytössä ATM Forumin ABR-luokassa.							
Varattu (30 tavua + 6 bittiä)							
CRC-10 (10 bittiä)							

Kuva 3-1: RM-solun rakenne ja kenttien merkitys

ABR-luokassa käytetyssä RM-solussa seitsemän oktetin sisältämät tiedot on edelleen selvitetty taulukossa 3-1.

Taulukko 3-1: ABR RM-solun seitsemän oktetin sisältö /1/

Kenttä	Merkitys
DIR	Ilmaisee solun kulkusuunnan (backward tai forward).
BN	BECN, taaksepäin ilmaistava ruuhkautuminen.
CI	Ruuhkautumisen ilmaisu.
NI	ACR:n arvon kasvattamisen salliminen.
RA	Tämä ei ole käytössä ATM Forumin ABR-luokassa

RM-soluja lähetetään sekä eteenpäin tiedottamaan lähettäjän käyttämistä ABR-liikenteen parametriarvoista, että taaksepäin tiedottamaan verkon tilasta. RM-solujen tehtävä on siis ABR-luokan osalta toimia vuonohjauksen mahdollistavina viestinviejinä. Riippuen siitä vastaako päätelaite palautetta vastaanottamistaan RM-soluista tai tiedottaako päätelaite omasta tilasta kutsutaan RM-soluja taaksepäin tai eteenpäin kulkeviksi RM-soluiksi (bRM ja fRM). Solujen suunta voidaan yleensä katsoa siten, että lähettävästä päätelaitteesta lähtevät solut ovat fRM-soluja ja lähettävään päätelaitteeseen päin lähetetyt solut ovat bRM-soluja. ABR-päätelaitteet voivat lähettää soluja siten, että koko soluvirta päätelaitteelta pysyttelee liikennöintisopimuksen puitteissa. Tällaisia RM-soluja kutsutaan In-rate RM-soluiksi. Mikäli RM-solujen lähetys tapahtuu liikennöintisopimusta rikkoen kutsutaan näitä out-of-rate RM-soluiksi. /1/

3.2 Vuonohjaus päätelaitteissa

ABR-palveluluokassa lähettäjä muuttaa lähetyksenopeutta verkon vapaina olevien resurssien mukaan. Tieto verkon eri tiloista välitetään erityisten hallintasolujen avulla (katso edellinen kohta). Lisäksi päätelaitteiden ja yhteydellä sijaitsevien ATM-kytkinten täytyy tukea ABR-toimintoja. ABR-palveluluokassa on määritelty useita parametrejä, joiden avulla päätelaitteet voivat mukauttaa lähetyksenopeuttaan. /1/ Nämä parametrit ja niiden mahdolliset arvot on esitetty taulukossa 3-2.

Taulukko 3-2: ABR-vuonohjauksen parametrit päätelaitteessa /1/

Parametri	Kuvaus	Yksikkö ja arvoalue	Huomioitavaa
ACR	Allowed Cell Rate, solunopeus, jolla lähde saa lähettää.	Yksikkö solua/s.	Havaittava suure, joka on seurausta alla olevien parametrien vaikutuksesta liikenteen lähetykseen.
ADTF	ACR Decrease Time Factor, aika, jonka jälkeen nopeus lasketaan ICR:n osoittamaan arvoon.	Yksikkö s ja 0,01 - 10,23 s 10 ms välein, oletusarvo 0.5.	Voidaan välittää yhteydenmuodostuksen yhteydessä
CDF	Cutoff Decrease Factor, ohjaa ACR:n pienentymistä suhteessa CRM:iään.	0 tai $\frac{1}{2^n}$, jossa $0 \leq n \leq 6$, oletusarvo 0.0625 (n=4).	Voidaan välittää yhteydenmuodostuksen yhteydessä
CRM	Sallittu fRM-solujen määrä ilman vastaanotettuja bRM-soluja.	Kokonaisluku, oletusarvo sovellusriippuva, yleensä 32.	-
FRTT	Fixed Round Trip Time, solun kulku aika siirtotiellä vastaanottajalle ja takaisin.	μ s ja 0 - 16,7 s.	Välitettävä yhteydenmuodostuksen yhteydessä
ICR	Initial Cell Rate, nopeus, jolla lähde voi lähettää lähetyksen alussa.	Solua/s 24/16 bit kokonaisluku, oletusarvo sovellusriippuva, yleensä PCR.	Välitettävä yhteydenmuodostuksen yhteydessä
MCR	Minimum Cell Rate, solunopeus, jolla lähde saa aina lähettää.	Yksikkö solua/s 24/16 bit kokonaisluku, oletusarvo 0.	Välitettävä yhteydenmuodostuksen yhteydessä.
Mrm	Kaistanleveyden jako fRM-, bRM- ja datasolujen välillä	vakio 2	
Nrm	Maksimimäärä soluja, jotka lähde voi lähettää RM-solun lähetyksen väleissä.	2^n , $1 \leq n \leq 8$, oletusarvo 32 (n=5).	Voidaan välittää yhteydenmuodostuksen yhteydessä
PCR	Peak Cell Rate, nopeus, jota lähde ei koskaan saa ylittää.	Yksikkö solua/s 24/16 bit kokonaisluku.	Välitettävä yhteydenmuodostuksen yhteydessä
RDF	Rate Decrease Factor, ohjaa lähetyksenopeuden alenemista	0 tai $\frac{1}{2^n}$, jossa $0 \leq n \leq 15$, oletusarvo 0.0625 (n=4)	Välitettävä yhteydenmuodostuksen yhteydessä
RIF	Rate Increase Factor, ohjaa lähetyksenopeuden nostoa, kun on vastaanotettu RM-solu	0 tai $\frac{1}{2^n}$, jossa $0 \leq n \leq 15$, oletusarvo 0.0625 (n=4)	Välitettävä yhteydenmuodostuksen yhteydessä
TBE	Transient Buffer Exposure, yläraja lähetyksen ensimmäisten solujen määrälle ennen RM-solun vastaanottoa.	Yksikkö solua, 24 bit kokonaisluku, oletusarvo 1677215.	Välitettävä yhteydenmuodostuksen yhteydessä
TCR	Tagged Cell Rate, rajoittaa fRM-solujen lähetyksenopeutta ruuhkantilanteissa.	Vakio 10 solua/s	-
Trm	fRM-solujen aikavälin yläraja.	$ms, 100 * \frac{1}{2^n}$, jossa $0 \leq n \leq 7$, oletusarvo 100 (n=0)	Voidaan välittää yhteydenmuodostuksen yhteydessä

Kun yhteys on merkinannon avulla tai manuaalisesti muodostettu ja parametrien arvot on määritelty, lasketaan seuraavien parametrien arvot uudestaan kaavojen (3.2.1) ja (3.2.2) avulla.

$$CRM = \frac{TBE}{Nrm} \quad (3.2.1)$$

ja

$$ICR = \min\left(ICR, \frac{TBE}{FRTT}\right) \quad (3.2.2)$$

ABR-yhteydellä on tarkkaan määritelty sekä lähettävän että vastaanottavan päätelaitteen toiminta, kun yhteydenmuodostus on suoritettu. Seuraavassa esitetään kummankin päätelaitteen toiminta yksinkertaistettuna pääpiirteissään. Tarkka toiminta on esitetty lähteessä /1/.

3.2.1 Lähettävä päätelaite

Lähettävälle päätelaitteelle täytyy päteä $MCR \leq ACR \leq PCR$ ja lisäksi ennenkuin lähde lähettää ensimmäisen solun yhteydellä täytyy asettaa $ACR=ICR$. Kaikissa soluissa, jotka lähettävä päätelaite lähettää täytyy olla EFCI=0. Ensimmäinen solu, joka lähetetään on fRM-solu. Seuraavat RM-solut lähetetään, kun vähintään Mrm :n osoittama määrä soluja on lähetetty ja aikaa on kulunut vähintään Trm tai mikäli $Nrm-1$ verran soluja on lähetetty. Mikäli edellisen RM-solun lähettämisestä on kulunut $ADTF$:n verran aikaa täytyy lähteen asettaa $ACR=ICR$. Mikäli yhteydelle on lähetetty vähintään CRM :n osoittaman määrä fRM-soluja eikä bRM-soluista ilmene (BN=0), ettei yhteydellä ilmenisi edelleen ruuhkautumista, täytyy lähetysnopeus asettaa $\max(MCR, ACR * CDF)$ mukaisesti. Tämän jälkeen RM-solun CCR-kenttään kirjoitetaan ACR :n senhetkinen arvo. Mikäli lähde vastaanottaa bRM-solun, josta ilmenee että yhteydellä on ruuhkautumista (CI=1), täytyy ACR :n arvoa pienentää vähintään arvoon $\max(MCR, ACR * RDF)$. Mikäli vastaanotetussa bRM-solussa on sekä CI=0 ja NI=0 voidaan ACR :n arvo asettaa $\min(PCR, RIF * PCR)$ mukaan. /1/

3.2.2 Vastaanottava päätelaite

Vastaanottavan päätelaitteen tärkein tehtävä on havaita onko saapuvissa datasuoluissa EFCI-bitti asetettuna. Mikäli EFCI-bitin perusteella verkossa on havaittu ruuhkautumista asetetaan CI-bitti. Vastaanottaja voi myös asettaa ER:n arvon haluamakseen tai pyytää ettei lähettäjä kasvattaisi lähetysnopeutta (NI=1). Vastaanottaja voi myös lähettää bRM-soluja lähettäjälle, ilman että se on vastaanottanut fRM-soluja lähettäjältä. Tällöin kyseessä on yleensä ruuhkautumisesta tiedottaminen lähettäjälle ja tällaisissa soluissa tulee CI/NI/BN-kenttien olla asetettuna. /1/

3.3 Vuonohjausmenetelmät ATM-kytkimissä

ATM-kytkimet muodostavat verkossa ruuhkautumisen synnyttäjän ja havaittajan roolit. Puskureiden käyttöasteen perusteella päätellään, milloin nopeutta tulee pienentää ja milloin kasvattaa. ATM-kytkimet voivat käyttää yhtä tai useampaa menetelmää eston ja ruuhkautumisen hallitsemiseksi kytkentäkentän puskureissa. Nämä menetelmät on lyhyesti esitelty taulukossa 3-3. /1/

Taulukko 3-3: ATM-kytkimen ruuhkautumisen ja eston hallintamenetelmät /1, 2/

Menetelmä	Kuvaus
EFCI-merkintä	Kytkin voi asettaa EFCI-bitin asettamalla data-solun PTI-kentän keskimmäisen bitin arvoon '1'.
Suhteellisen nopeuden menetelmä	Kytkin voi asettaa eteen- tai taaksepäin kulkevissa RM-soluissa CI- tai NI-kentän arvoksi '1'.
Suoran nopeuden menetelmä	Kytkin voi muokata ER-kentän arvoa fRM- tai bRM-soluissa.
Virtuaalilähettäjä ja -vastaanottaja	Kytkin/Kytkimet voivat jakaa yhden pitkän ABR-yhteyden useaksi lyhyemmäksi ABR-yhteydeksi. Näin ABR-parametrien muutos tapahtuu nopeammin.

Näistä menetelmistä tällä hetkellä suosituimpia ovat EFCI-merkintä ja suoran nopeuden menetelmät. Riippumatta siitä, mitä ruuhkautumisen hallinta-algoritmiä käytetään, täytyy tietyt perusparametrit määrittää aina ATM-kytkimissä. Nämä parametrit on esitetty taulukossa 3-4. /1, 2/

Taulukko 3-4: Eräitä ATM-kytkimien yleisiä parametrejä

Parametri	Merkitys
Solun käsittelyaika	Viive, joka syntyy, kun solu ohjataan kytkentäkentän läpi.
Siirtonopeus	Teoreettinen nopeus, jolla yksi bitti kulkee ATM-kytkimen läpi.
Ulostulopuskurin pituus	Ulostulopuskureiden koko.
Low Threshold	Määrittää ulostulopuskurissa olevien solujen alarajan, joka määrittää katsotaanko kytkimessä esiintyvän ruuhkautumista vai ei.

Seuraavassa tarkastellaan tarkemmin EFCI-menetelmää ja suoran nopeuden menetelmää kahden esimerkialgoritmin (EPRCA ja NIST ER) avulla.

3.3.1 Explicit Forward Congestion Indication - EFCI

EFCI-menetelmä on tällä hetkellä yleisin ATM-kytkimissä käytössä oleva ruuhkautumisen hallintatekniikka. Menetelmää ei ole standardoitu; lopullinen toteutus on valmistajariippuvainen. Menetelmän perusversiossa kytkin tarkkailee puskuroitujen solujen määrää ja arvon (Low Threshold) ylittyessä kytkin merkitsee datasolujen EFCI-bitin. Kehittyneempi EFCI-algoritmi käyttää kahta parametria: puskuroitujen solujen määrän ylittäessä ylemmän rajan (THigh) kytkin aloittaa EFCI-bitin asettamisen, joka loppuu vasta kun puskuroitujen solujen määrä putoaa alle alemman rajan (TLow) /3/. EFCI-algoritmi on yksinkertainen toteuttaa, mutta se on vuonohjaukseen muita alla esiteltäviä menetelmiä hitaampi ja se jättää uusien lähetyksenopeuksien arvon määrittämisen kokonaan päätelaitteiden harteille. EFCI-algoritmin suurin heikkous on se, että sen tehokkaan käytön kannalta lähetyksenopeuden suurinta arvoa (PCR) täytyy rajoittaa. /3/

3.3.2 Enhanced Proportional Rate Control Algorithm - EPRCA

EPRCA-algoritmi kehitettiin parantamaan PRCA-algoritmin ominaisuuksia. EPRCA-menetelmä sallii sekä EFCI-menetelmää että mitä tahansa ER-menetelmää käyttävien kytkinten olemassaolon yhteydellä ja saattaa jopa tehostaa EFCI-menetelmää käyttävien yhteyksien välityskykyä /3, 4/. EPRCA-algoritmin toiminta on selitetty yksinkertaistettuna seuraavassa ja algoritmin käyttämät parametrit on esitelty taulukossa 3-5.

Taulukko 3-5: EPRCA-algoritmin parametrit ATM-kytkimessä /4/

Parametri	Merkitys	Suositusarvot
IMR	Initial MACR-rate. MACR-parametrin alkuarvo.	MACR=PCR/100
DQT	Määrittää sen ulostulojonon pituuden, jolloin kytkin on erittäin ruuhkautunut.	-
Average Factor	Määrittää painotuksen MACR:n ja ACR:n välillä. Mitä pienempi arvo, sitä suurempi painotus laitetaan MACR:n arvolle uutta MACR:n arvoa määriteltäessä.	1/16
MRF	Ilmaisee ER:n pienentämiskertoimen, kun kytkimessä havaitaan ruuhkautumista. Muotoa $\frac{1}{2^n}$.	n=2
ERF	Pyrkii asettamaan MACR:n arvot sellaisiksi, ettei ruuhkautumista ilmenisi, muotoa $1 - \frac{1}{2^n}$. Vastaa MRF-parametriä NIST-algoritmissä.	n=4
VC separator	Vakio, jota käytetään määrittämään ABR-yhteyksien reilu osuutta kaistasta, muotoa $1 - \frac{1}{2^n}$	n=3
DPF	Pyrkii pitämään MACR:n kasvun kurissa ACR:n keskiarvoja laskettaessa, muotoa $1 - \frac{1}{2^n}$.	n=3

EPRCA-kytkinalgoritmi toimii seuraavasti /4/:

1. Kytkimessä määritellään ruuhkautumisen taso kahden parametrin avulla. Parametrit määrittävät kytkimen ruuhkautumisen tason puskurissa olevien solujen määrän perusteella. Ensimmäisen kynnyksen (*Low Threshold*) ylityttyä kytkin on ruuhkautunut (congested) ja toisen kynnyksen (*DQT*) ylityttyä kytkin on erittäin ruuhkautunut (very congested).

2. Eksponentiaalisesti painotettu nopeuden keskiarvo: Kytkin laskee kaikkien käytössä olevien VC-yhteyksien keskiarvoa seuraavasti (katso myös taulukko 3-5, kohta Average Factor):

$$MACR = MACR + (ACR - MACR) * AVF \quad (3.3.3.1)$$

Tätä (3.3.3.1) arvoa käytetään vain kun kytkin on ruuhkautunut ja $ACR < MACR$ tai kun kytkin ei ole ruuhkautunut ja $ACR > MACR * VCS$.

3. Tehokkaan siirtonopeuden (efficient rate, *ER*) määrittäminen tapahtuu siten, että mikäli kytkin on erittäin ruuhkautunut kohdan 1 perusteella niin

$$ER = \min(ER, MACR * MRF) \quad (3.3.3.2)$$

ja mikäli kytkin on ruuhkautunut, mutta ei erittäin ruuhkautunut ja $ACR > MACR * DPF$ niin

$$ER = MACR * ERF \quad (3.3.3.3)$$

EPRCA-algoritmin suurin etu on sen suhteellisen yksinkertainen toteutus. Tämän hintana on kuitenkin algoritmin herkkyys parametrien arvoille; pienetkin muutokset saavat aikaan oskillointia lasketuissa siirtonopeuksissa eikä menetelmän avulla päästä haluttuun reiluun kaistanleveyden jakoon. Lisäksi EPRCA-algoritmin heikkoutena on se, että sen ruuhkautumisen havainnointi johtaa eriarvoiseen siirtokaistan jakoon aikaisin ja myöhemmin mukaan tulevien yhteyksien välillä; myöhemmin aloittavat yhteydet saavat vähemmän kuin reilun osuuden siirtokaistasta. Algoritmin toiminta realisoituu simuloinneissa melko hitaana konvergenssinä kohti *ER*:n ihannearvoa ja yhteyden alussa vaaditaan huomattavan suuria puskurikokoja kytkimissä. /3, 4/

3.3.3 National Institute of Standards and Technology Efficient Rate - NIST ER

NIST ER -algoritmin suunnittelussa on pyritty ottamaan huomioon seuraavia hyvinkin yleisluontoisia tekijöitä suunniteltaessa ER-tyyppisiä algoritmeja /5/:

- 1) Verkon stabiilisuus; pyrkimys saattaa verkko tasapainoiseen tilaan verkossa ilmenneiden muutosten jälkeen. Tällaisia muutoksia ovat mm. uusien lähteiden liittyminen verkkoon tai voimakkaasti purskeisten lähteiden lähetyksen alkaminen tai loppuminen
- 2) Ruuhkautumisen välttäminen; ER-algoritmin pyrkimyksenä tulisi olla eston ja ruuhkautumisen ennaltaehkäisy, eikä reagointi jo ilmenneeseen ruuhkautumiseen.
- 3) Alhainen puskurien varaus; tämä on tärkeää viiveiden minimoimisessa ja ATM-kytkinten rakenteen yksinkertaistamisessa.
- 4) Siirtokapasiteetin korkea käyttöaste; pyritään maksimoimaan läpäisy ja käyttämään kaikki käytössä oleva kaistanleveys. Yleisesti algoritmit tasapainottelevat siirtokapasiteetin käytön ja puskurien käytön välillä.
- 5) Parametrimäärän minimointi; algoritmien yksinkertaisuus ja parametrien kohtuullisen pieni määrä mahdollistavat nopeat toteutukset.
- 6) Skaalattavuus; käytettyjen parametrien tulisi soveltua eri tyyppisiin ympäristöihin, ilman että niiden toiminta heikkenee oleellisesti.
- 7) Reiluus, fairness; Siirtokapasiteetin reilu jako yhteyksien välillä.

NIST ER-algoritmi käyttää ATM-kytkimen yleisten parametrien (taulukko 3-4) lisäksi taulukon 3-6 mukaisia parametreja.

Taulukko 3-6: NIST-algoritmin parametrit ATM-kytkimessä /5/

Parametri	Merkitys	Suositusarvot
IMR	Initial MACR-rate. MACR-parametrin alkuarvo.	MACR=TR
MAIR	MACR Additive Increase Rate. Ilmaisee MACR:n kasvuaskelten suuruuden.	0,5 Mbps
TR	Ilmaisee tavoitellun siirtonopeuden osuutena kytkentäkentän maksiminopeudesta.	0,95
Tau	Ilmaisee ruuhkautumisen sietorajan kytkimen puskureissa.	0
Average Factor	Määrittää painotuksen MACR:n ja ACR:n välillä. Mitä pienempi arvo, sitä suurempi painotus laitetaan MACR:n arvolle uutta MACR:n arvoa määriteltäessä.	1/16
MRF¹	Ilmaisee ER:n pienentämiskertoimen, kun kytkimessä havaitaan ruuhkautumista.	0,95

NIST ER -algoritmi koostuu viidestä erityyppisestä funktiosta, jotka kaikki pyrkivät mahdollistamaan edellä esitettyjen suunnittelukriteereiden mukaisen toiminnan. Nämä funktiot esitetään seuraavassa /5/:

1. Aikainen ruuhkautumisen havainnointi: Kytkimen *Low Threshold* -kynnysarvon ylittyminen arvon muuttuminen (derivaatta) positiiviseen suuntaan siirtävät kytkimen *esto*-tilaan. Kytkin on tässä tilassa kunnes *Low Threshold* -kynnysarvo alitetaan.

2. Kuormituksen tarkkailu: Kuormituksen määrä määritetään *LF* (Load Factor) -parametrin avulla seuraavasti (katso myös taulukko 3-6, kohta TR):

$$LF = InputRate / TR \quad (3.3.2.1)$$

Optimaalisessa tilanteessa $LF=1$. Tämä arvo määritetään aina tietyn solumäärän saapumisen jälkeen ja mikäli $LF<1$ voidaan lähteille antaa lupa kasvattaa lähetyksenopeuttaan ja mikäli $LF>1$ täytyy lähteiden lähetyksenopeutta pienentää.

3. Eksponentiaalisesti painotettu nopeuden keskiarvo: Kytkin laskee kaikkien käytössä olevien VC-yhteyksien keskiarvoa seuraavasti (katso myös taulukko 3-6, kohta Average Factor):

$$MACR = (1 - AVF) * MACR + AVF * ACR \quad (3.3.2.2)$$

Tästä (3.3.2.2) huomataan, että *MACR*:n nykyistä arvoa painotetaan (tässä algoritmissa) enemmän kuin *RM*-soluista saatua *ACR*:n arvoa. Tätä (3.3.2.2) arvoa käytetään vain kun kytkin on ruuhkautunut ja $MACR<ACR$ tai kun kytkin ei ole ruuhkautunut ja $MACR>ACR$.

4. Kaistanleveyden uudelleenallokointi: Mikäli lähettäviä päätelaitteita kontrolloi jokin muu verkkoelementti enemmän (esim. ruuhkautunut kytkin aikaisemmin tai myöhemmin yhteydellä) ei lähde pysty välttämättä käyttämään kaikkea tässä kytkimessä vapaana olevaa kaistanleveyttä. Mikäli kytkimessä on siirtokaistaa käyttämättä ($LF<1$) eikä kytkimessä havaita ruuhkautumista kohdan 1 mukaan voidaan vapaana olevaa siirtokaistaa jakaa muille lähteille

$$MACR = MACR + MAIR \quad (3.3.2.3)$$

mukaan.

5. Tehokkaan siirtonopeuden (efficient rate, *ER*) määrittäminen tapahtuu siten, että mikäli kytkin ei ole ruuhkautunut kohdan 1 perusteella niin $ER=MACR$ ja mikäli kytkin on ruuhkautunut niin

$$ER = MACR * MRF \quad (3.3.2.4)$$

Näiden viiden funktion perusteella ATM-kytkimen *bRM*-soluihin lisätään tieto tämän kytkimen ehdottamasta *ER*:n arvosta. *ER*:n arvoa muutetaan vain mikäli *RM*-solun *NI*-kenttä osoittaa ruuhkautumista tai ao. kytkin on itse ruuhkautunut.

NIST ER -algoritmillä pyritään korjaamaan *EPRCA*-algoritmissa havaittuja heikkouksia.

Ruuhkautuminen pyritään havaitsemaan puskureiden jonon pituudessa tapahtuvien muutosten avulla, eikä niinkään tietyn hetken jononpituuden arvolla. Algoritmin toiminta realisoituu konvergoitumisena kohti *ER*:n ihannearvoa. Tämä tapahtuu nopeammin kuin *EPRCA*:n tapauksessa ja vaaditut puskurikoot ovat kohtalaisia./5/

¹ NIST-algoritmi käyttää *MRF*-parametriä *ER*:n vähittäiseen pudottamiseen, kun taas *EPRCA*-algoritmissa *MRF* pudottaa *ER*:n arvon ruuhkatilanteessa (erittäin ruuhkautunut) nopeasti. Tästä johtuvat toisistaan poikkeavat arvot.

4. YHTEENVETO

Liikenteenhallinta ATM-verkoissa hyödyntää useita, toteutukseltaan hyvinkin erilaisia, menetelmiä liikenteenhallinnan realisoimissa. Nämä menetelmät pyrkivät kontrolloimaan käyttäjien soluvirtoja, siten että kaikille hyväksytyille yhteyksille voitaisiin taata niille luvattu palvelun laatu. ATM-verkot ja niiden tehokkuus on pitkälti pyritty rakentamaan luotettavien siirtoteiden ja toisaalta ylempien protokollakerrosten toteuttaman vuonohjauksen varaan. Tässä esitelty ABR-luokka tarjoaakin jotain aikaisemmasta poikkeavaa ATM-verkkoihin: Solutasolla tapahtuvan ruuhkanhallinnan ja vuonohjauksen. ABR-vuonohjauksen toteutukseen osallistuvat sekä päätelaitteet että välityslaitteisto, ATM-kytkimet. Tämä mahdollistaa nopean reagoinnin ruuhkatilanteisiin ja tätä kautta toipuminen ruuhkatilanteista on nopeaa ja haitat verkolle ovat minimaaliset. Hinta, joka tästä maksetaan on verkon siirtokapasiteetin varaaminen vuonohjausliikenteelle ja verkon laitteille asetetut vaatimukset vuonohjauksen algoritmien toteuttamiseksi.

Edellä esitellyt ATM-kytkimissä toteutettavat vuonohjausalgoritmit ovat luonteeltaan neuvoa-antavia. Päätelaitteiden ei tarvitse reagoida kytkimen antamiin ehdotuksiin lähetysnopeuksista, jolloin päätelaite, ja viime kädessä käyttäjä, ottaa riskin solujen hukkamisesta yhteydellä. Algoritmit itsessään ovat herkkiä parametriensä arvoille ja ne joissain tapauksissa asettavat vaatimuksia verkossa kulkevalle liikenteelle toimiakseen tehokkaasti.

EFCI-algoritmi on algoritmeista yksinkertaisin; se ainostaan merkitsee datasuissa EFCI-bitin, mikäli kytkimessä esiintyy ruuhkautumista. EPRCA ja NIST ER -algoritmit laskevat, ruuhkautumista havaittuaan, myös oman ehdotuksensa lähettävän päätelaitteen uudeksi lähetysnopeudeksi.

Samanaikaisesti ne pyrkivät takaamaan kaikille liikennelähteille reilun kohtelun ja pyrkivät jakamaan vapaana olevia resursseja tasapuolisesti ABR-vuonohjausta käyttäville laitteille.

Jatkossa olisi mielenkiintoista myös selvittää, aluksi esimerkiksi simulaatioiden avulla, kuinka erilaiset algoritmit toimivat keskenään ja edelleen toteuttaa näitä algoritmeja, sekä yhdessä että erikseen, suurissa verkoissa, jotta nähtäisiin kuinka hyvin ne sopeutuvat eri kokoluokan verkkoihin.

LÄHTEET

- /1/ Traffic Management Specification Version 4.0. The ATM FORUM Technical Committee. 1996. AF-TM-0056.000.
- /2/ Raj Jain. Congestion Control and Traffic Management in ATM networks: Recent Advances and A Survey. Invited submission to *Computer Networks and ISDN systems*. 1995.
- /3/ Ambalavanar Arulambalam & Nirwan Ansari. Allocating Fair Rates for Available Bit Rate Service in ATM Networks. *IEEE Communications Magazine*. IEEE Communications Society. November 1996. Vol. 34 No. 11 pp. 92 -100. ISSN 0163-6804.
- /4/ Larry Roberts. Enhanced PRCA (Proportional Rate-Control Algorithm). The ATM Forum Technical Committee, TM SWG. 1994. ATM FORUM/94-0735R1.
- /5/ N. Golmie, Y. Chang & D. Su. NIST ER Switch Mechanism (An Example). The ATM FORUM Technical Committee, TM SWG. 1995. ATM FORUM/95-0695.