

4 KYTKENTÄVIIVEET

4.1 SIIRTOYHTEYDEN VIIVE [26]

Siirtoviiveitä tarkastellaan käsitteillä: solun lähtö ja solun saapuminen. Solun lähdöllä tarkoitetaan ajanhetkeä, jolloin solun ensimmäinen bitti ylittää ATM-kerroksen ja fyysisen kerroksen välisen palvelupisteen (*PHYSICAL layer Service Access Point ~ PHY-SAP*). Solun saapuminen vastaavasti tarkoittaa ajanhetkeä, jolloin solun viimeinen bitti ylittää kyseisen fyysisen kerroksen palvelupisteen.

Kuvassa 1-6 esitettiin malli siirtoyhteyden kokonaisviiveelle. Siirtoyhteydeksi lasketaan kahden tilaajan päätelaitteiden ATM-kerrosten välinen yhteysväli. Siirtoyhteys ei siis kata korkeampia protokollakerroksia, jotka toki vaikuttavat tilaajan kokemaan siirtoviiveeseen.

Kiinteä viive muodostuu siirtoyhteyden fyysisestä pituudesta aiheutuvasta signaalin kulkuajaviiveestä sekä jokaisessa yhteyden segmentissä suoritettavista siirtojärjestelmätoiminteista. Kulkuajaviive on luonteeltaan hallittava komponentti. Siihen vaikuttaa ainoastaan käytettävä siirtomedia ja sen pituus. Yleisesti kohtuullinen tulos saadaan soveltamalla valon nopeutta signaalin etenemisnopeuteen. Siirtojärjestelmätoiminteet ovat myös luonteeltaan vakiokestoisia. Jokaisen yhteyssegmentin alussa ja lopussa tapahtuu siirtojärjestelmän siirtokonttien muodostaminen sekä mahdollinen tarkistus. Tämä prosessi on siirrettävän informaation määrästä riippumaton ja kestää aina yhtä kauan.

Vaihteleva viive on luonteeltaan hankalampi komponentti. Se muodostuu verkon kytkentä- ja päätelaitteissa erilaisten ohjaus- ja puskurointiprosessien kautta. Prosessien luonnetta ja kestoja voidaan tarkastella erilaisten tilastollisten mallien avulla, mutta yleispäteviä laskusääntöjä on vaikea löytää.

Siirtoyhteyden viiveiden tarkempi tarkastelu ei kuulu tämän työn alueeseen ja niistä voisikin tehdä aivan yhtä kattavan selvitystyön kuin kytkentälaitteiden viiveistä.

4.2 SOLUN KYTKENTÄVIIVE KYTKENTÄLAITTEESSA

Luvussa 2 esitettiin ATM-kytkentälaitteen rakennetta; solun kulkuajalla esiintyviä komponentteja ja toimenpiteitä. Jokainen vaihe solun edetessä läpi

kytkentälaitteen kuluttaa aikaa. Ajan pituus riippuu kytkentälaitteen toteutuksesta ja kuormituksesta.

Solun kytkentäviiveellä käsitetään aikaa, joka kuluu sillä välin, kun solun ensimmäinen bitti lähtee mittalaitteen PHY-SAP -rajapinnan yli ja solun viimeinen bitti saapuu samaisen rajapinnan yli takaisin. Näin ollen on matkalla neljä siirtojärjestelmäkontin muunnosta, solun esi- ja jälkiprosessointi, kytkentä sekä puskurointi.

Koska kytkentäviive muodostuu solun siirtoviiveestä kytkentälaitteen sisällä, on sillä selviä reunaehtoja, jotka kytkentälaitteen toteutus asettaa.

4.2.1 Tulomodulista aiheutuva viive

Tulomodulissa suoritetaan, kappaleen 2.3 mukaisesti, liikenneparametrien valvontaa ja solujen esiprosessointia. Nämä toimenpiteet aiheuttavat solun siirtoon viivettä, joka on riippuvaista ratkaisumallin kuormituksen sietokykyyn sekä mahdollisten ylikuormitustilojen eristämiskykyyn.

Parametrivalvonalle asetetaan ITU-T:n suosituksessa I.371 selvät tavoitteet, joiden mukaan toteutuksen tulisi toimia. Toteutus ei saisi aiheuttaa liikennesopimusta noudattavalle yhteydelle ylimääräistä viivettä, mutta toisaalta sen tulisi suojata yhteyttä liikennesopimusta rikkovien yhteyksien vaikutukselta. Tämän lauseen ehdoton toteuttaminen on mahdotonta, sillä reaaliaikainen kaikkien liikenneparametrien tarkkailu on teknisesti ylitsempääsemätön ongelma. Lisäksi liikennesopimuksen yhteysparametrien joukossa on parametreja, jotka vaikuttavat keskiarvoistavasti pitemmällä aikavälillä ja joiden prosessointi vie auttamatta aikaa, joka kostaustuu ylimääräisenä viiveenä.

Solujen esiprosessoinnilla tarkoitetaan erilaisten varattujen solujen erottelua soluvirrasta. Tämä tapahtuu prosessoimalla solujen otsikkotietoja reititystaulukkoa vastaan. Reaalimaailman ATM-kytkentälaitteen täytyy olla hajautettu älykkyydeltään, mikä tarkoittaa erilaisten merkinanto ja OAM-solujen käsittelyä tulomodulin yksiköissä. Näiden yksikköjen käsittelykyky on rajallinen ja saattaa ylittyä, jos kytkentälaiteta kuormitetaan runsaalla merkinantoliikenteellä. Solujen esiprosessoinnissa lisätään myös kytkentäkentän reititystunnisteet. Reititystunniste riippuu kytkentäkentän toteutustavasta mutta on

tyypillisesti muutaman tavun mittainen kuvaus lähtö ja tuloportista sekä solun sisällön suojaava virheenkorjauskenttä.

Edellä mainittujen toiminteiden suoritus vie väistämättä aikaa. Se kuinka pitkä tämä aika on riippuu rakenteesta, jolla kytkentälaitte on toteutettu. Hajautettu hallinta mahdollistaa useamman solun rinnakkaisen käsittelyn ja pienentää näin kokonaisviivettä. Toisaalta hallinta monimutkaistuu, mikä lisää epäluotettavuutta.

4.2.2 KytKentäkentästä aiheutuva viive

Solun välitys kytkentäkentässä on synkroninen tapahtuma, jossa hallintatietokone ohjaa solun oikeaan aikaan kentään ja sieltä ulos. Jotta tämä synkronisuus voidaan toteuttaa vaaditaan jokaiseen kytkentäkentän sisääntuloon vähintään yhden solun mittainen puskuri. Koska useammat solut voivat kilvoitella samasta lähtöportista tarvitaan vielä lisäpuskurointia, joka suojaa porttia ylikuormitukselta. Tämän puskuroinnin toteutus sekä kytkentäkentän rakenne ja hallinnan looginen toimivuus asettavat reaaliselle viiveelle selvän ala- ja ylärajan. Alaraja löydetään silloin, kun kytkentälaitteen tuloporteista vain yhtä kuormitetaan tasaisella kuormalla. Tällöin kytkentäkentässä ei ole muuta liikennettä ja solut pääsevät suoraan läpi kytkentälaitteen.

4.2.3 Lähtömodulista aiheutuva viive

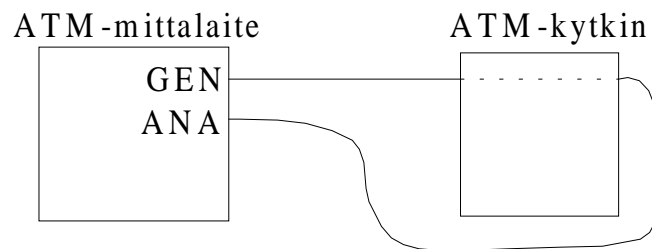
KytKentälaitteen lähtömoduli on luonteeltaan lähinnä kokoava elementti. Se muodostaa kytkentäkentästä tulevista soluista siirtoyhteydelle sopivia kontteja ja lähettää ne matkaan. Ainut viiveen vaihtelua aiheuttava vaihe on kytkentälaitteen soluvirtaan määrävälein lisäämä OAM-solu. Tämä määrävälein lisättä solu on pakotettava soluvirtaan mikäli vapaita aikavälejä ei löydy.

4.3 KYTKENTÄVIIVEEN MITTAUS

Kuten edellisissä kappaleissa esitettiin on kytkentäviiveelle kytkentälaitteessa löydettävissä useita komponentteja, joiden riippuvuussuhde toisista on varsin hankala. Viiveen komponentit ovat luonteeltaan tilastollisesti vaihtelevia mutta niillä kaikilla on selvät ala- ja ylärajat. Eri komponenttien alarajojen summaa voidaan pitää laitteen minimi-kytkentäviiveenä. Ala- ja ylärajojen välinen vaihteluväli antaa viiveelle varianssin. Varianssien suora summaaminen on liian suoraviivainen teko, sillä eri komponentit eivät ole toisistaan riippumattomia.

Mikäli parametrien valvonta viivästää soluja niin esiprosessointi suhteellinen kuormitus pienenee, jne.

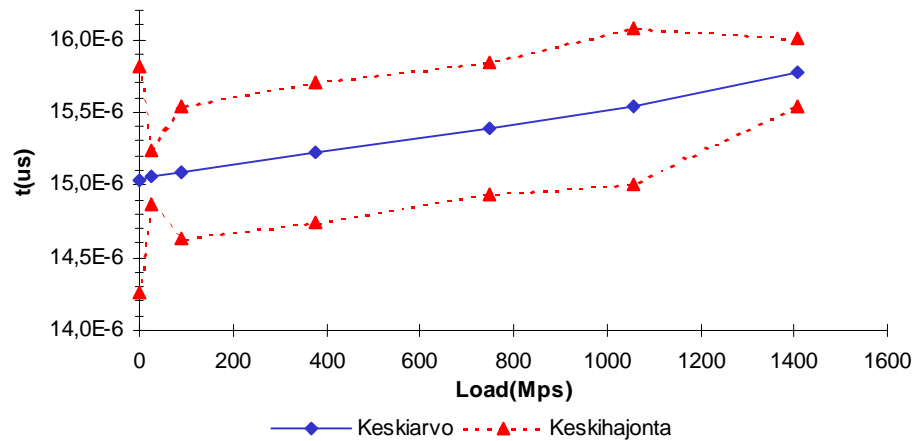
Minimikytkeväviiveen on löydettävissä kytkentälaitteen ollessa mittaliikennettä lukuunottamatta kuormittamaton. Mittaliikenne tulisi olla luonteeltaan tasaista vakionopeusliikennettä ja se tulisi tuoda kytkentälaitteen yhteen porttiin. Kuormitus pidetään näin niin pienenä, että solujen valvonta ja esiprosessointi eivät tuota tulomoduliin juurikaan kuormaa. Lisäksi lähtömodulissa tapahtuva OAM-solujen lisäys ei aiheuta solujen viivästystä.



Kuva 4-1 Minimikytkeväviiveen mittauskytkevä

Koemittaukset suoritettiin testisolulla, joiden hyötykuorma oli koodattu PRBS 1-2⁹ standardin mukaisesti. Hyötykuormassa oli lisäksi aikamerkki, jota verrataan mittalaitteen tuloportissa. Liikenneprosessina käytin periodista 4830-solua sekunnissa, joka vastaa E1-emuloinnissa käytettävää solunopeutta.

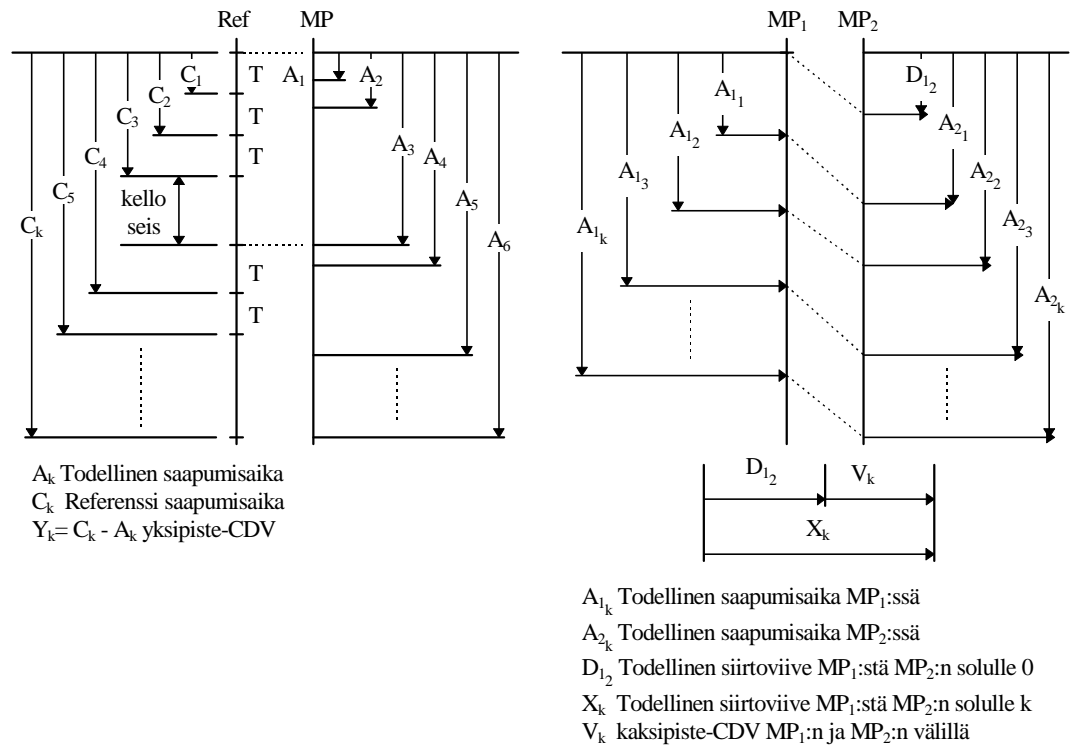
Kuormitettua kytkentäviivettä tarkasteltiin nostamalla kytkentäkentän taustakuormitusta hitaasti ylöspäin. Kuormituksen maksimimäärää rajoitti ainoastaan kytkentälaitteen 100Mb TAXI-porttien rajoittunut välityskyky sekä yhden modulin puuttuminen. Näin päästiin kokonaisuudessa 1,487 Gb/s taustakuormitukseen. Kuvassa 4-2 on esitetty solun kytkentäviiveen käyttäytyminen kuormituksen fuktiona.



Kuva 4-2 Solun siirtoviive eri kuormituksilla.

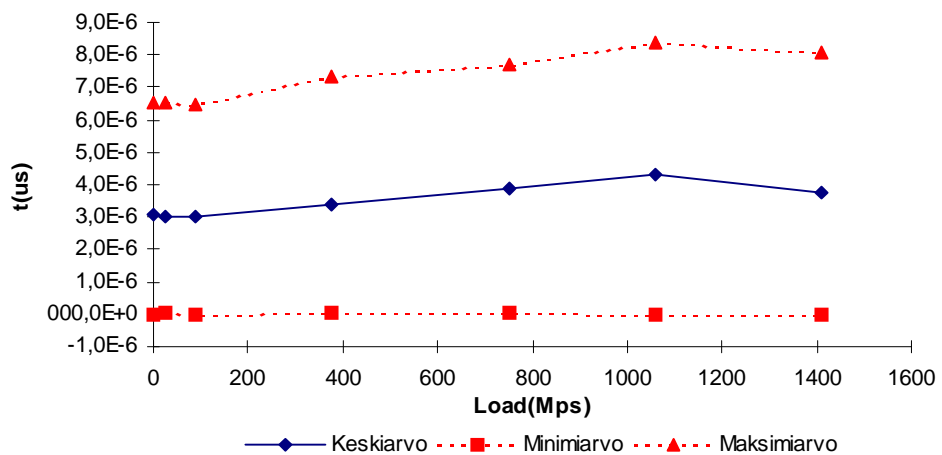
Kytcentäviiveen tulokset on saatu 8192-solun näytteillä prosesseista. Näytteet sisälsivät generaattorin ja analysaattorin aikamerkit, joiden erotuksena saadaan solun kytcentäviive. Viiveelle on laskettu tilastollinen keskiarvo sekä keskihajonta, joiden tulkinta on nähtävissä kuvassa 4-2.

Kuvassa 4-4 on esitetty solun kytcentäviiveen vaihtelun käyttäytyminen kuormituksen funktiona. Arvot on laskettu ITU-T:n suosituksesta I.356 löytyvällä laskentatavalla (liite 2.). Kuvassa 4-3 on esitetty suosituksen esitetään kaksi vaihtoehtoista lähestymistapaa: yksipiste-CDV ja kaksipiste-CDV. Nämä eroavat siinä, että yksipiste-CDV:ssä oletetaan lähteen toimivan ideaalisesti eli siinä ei ole viiveen vaihtelua ja että vastaanotin on tarkasti lukittu lähteen rytmiin. Kaksipiste-CDV ottaa huomioon myös lähteen vaihtelun.



Kuva 4-3 Yksipiste-CDV ja kaksipiste-CDV [26]

Kuvan keskiarvokäyrä on laskettu yksipistemenetelmällä, minimi- ja maksimikäyrät ovat näytejoukon absoluuttisten minimi- ja maksimiarvojen kuvaaja.



Kuva 4-4 Solun kytkentäviiveen vaihtelu eri kuormituksilla.

4.4 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ KYTKENTÄVIIVEEN MITTAUSTULOKSISTA

Tuloksista on nähtävissä kytkentälaitteen estottoman rakenteen aikaansaama kytkentäviiveen keskiarvon tasaisuus ($15,3 \pm 0,3 \mu\text{s}$). KytKentäviive ei siis ole

riippuvainen taustakuormasta, jos taustaliikenne ei ylikuormita lähtöjohtoja. Kytcentäviiveen keskiarvo pysyy koko mittausalueella $1\mu\text{s}$ sisällä, mikä antaakin aiheuttaa uskoa, että hallinnan toteutus on hajautettu. Varianssin tasaisuus ja kohtalaisen pieni arvo ($3,5\pm 0,5\mu\text{s}$) johtunee tarjotun taustaliikenteen tilastollisesta riippuvuudesta eri porttien välillä. Toisaalta vastaavat mittaukset ovat antaneet samansuuntaisia tuloksia myös aiemminkin: kytcentäviiveen keskiarvo $13\mu\text{s}$ ja varianssi $1,54\mu\text{s}$.