

Olli Nummela

Ciscon kaapelimodeemi- järjestelmän käyttöönotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tietotekniikka

Insinööriytyö

9.1.2016

Tekijä(t) Otsikko	Olli Nummela Ciscon kaapelimodeemijärjestelmän käyttöönotto
Sivumäärä Aika	32 sivua 9.1.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoverkot
Ohjaaja(t)	Lehtori Jukka Louhelainen Lehtori Marko Uusitalo
<p>Tässä insinööriyössä kerrotaan Cisco uBR10012–kaapelimodeemijärjestelmästä ja sen käyttöönotosta.</p> <p>Kaapelimodeemijärjestelmää konfiguroidaan kuin tavallista reititintä, joten insinööriyössä kerrotaan myös reitittimistä ja teknisestä teoriasta niiden takana, kuten Ciscon IOS:ista eli Internetwork Operating Systemistä, ja IOS:in eri versioista. Ciscon lisäksi kaapelimodeemijärjestelmiä valmistavat monet muut yhtiöt, joita myös mainitaan.</p> <p>Käsittelyssä on myös DOCSIS, joka on laajakaistaisen tiedonsiirron kaapeli-TV-verkossa määrittävä standardi, ja DOCSIS:in eri versiot sekä DOCSIS:in määrittämä perustason tietoturva.</p> <p>Kaapeliverkossa data kulkee yleisesti ottaen optista kuitua pitkin talouksiin asti, josta se vaihtuu kulkemaan koaksiaalikaapelia pitkin, mitä kutsutaan HFC-systeemiksi.</p> <p>Hieman myös paneudutaan siihen, miten kaapelimodeemijärjestelmään konfiguroidaan esimerkiksi IOS-asetustiedosto ja muita palveluita.</p> <p>Työssä myös kerrotaan Metropolia Ammattikorkeakoulun omasta kaapelimodeemijärjestelmästä, jonka malli on nimeltään Cisco uBR10012.</p>	
Avainsanat	Kaapelimodeemijärjestelmä, kaapelimodeemi, DOCSIS, Cisco

Author(s) Title	Olli Nummela Deployment of Cisco cable modem termination system
Number of Pages Date	32 pages 9 January 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information technology
Specialisation option	Data networks
Instructor(s)	Jukka Louhelainen, Lecturer Marko Uusitalo, Lecturer
<p>This thesis is about cable modem termination system and its deployment.</p> <p>Cable modem termination system, abbreviated CMTS, is configured like an ordinary router, so theory about routers is also told, and about IOS, a.k.a. Internetwork Operating System. Besides Cisco, there is also several other CMTS manufacturers, and those are also mentioned.</p> <p>Data Over Cable Service Interface Specifications, DOCSIS, is a standard that specifies broadband data transfer in cablenetwork. DOCSIS's various versions are mentioned, likewise Baseline Privacy -specification.</p> <p>In the cablenetwork, the data travels in general via optical fibelines near the households, where it changes to travel through coaxial cables after so called optical node. This is called Hybrid fiber-coaxial -system.</p> <p>Various configuration commands, that are for example needed to receive IOS-configurationfile and other services to CMTS, are explained.</p> <p>In this thesis, also Metropolia's own CMTS, Cisco uBR10012 is covered.</p>	
Keywords	CMTS, cable modem, DOCSIS, Cisco

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Mikä on kaapelimodeemijärjestelmä?	1
2.1	Kaapelimodeemijärjestelmän arkkitehtuuri	3
2.1.1	Integrated CMTS	3
2.1.2	Modular CMTS	3
2.2	Mikä on reititin?	4
2.3	Mikä on IOS?	4
2.3.1	Versiointi	6
2.3.2	Arkkitehtuuri	8
2.4	Hybrid fibre-coaxial	8
2.5	Muut kaapelimodeemijärjestelmien valmistajat	8
2.6	IOS-konfiguraation lataus kaapelimodeemeihin	10
2.6.1	DHCP-varannon asetukset	14
2.6.2	TFTP-palvelin	15
2.6.3	ToD-serveri	16
2.6.4	Asetukset valmiina	17
2.6.5	Erytyishuomio	18
3	DOCSIS	18
3.1	EuroDOCSIS	21
3.2	Baseline Privacy	21
3.3	Max-cpe-komento	22
3.4	Tärkeä huomio	23
4	Kaapelimodeemijärjestelmän käyttöönotto	23
4.1	Cisco uBR10012	23
4.1.1	Käyttäjien maksimimäärä	25
4.1.2	Laitteita ja asetuksia	26
5	Yhteenveto	31

Lyhenteet ja termit

Access list

Käytetään IP-liikenteen suodattamiseen. Voidaan myös käyttää liikenteen määrittelyyn Network Address Translatea (NAT) käytettäessä, kryptauksessa tai suodatettaessa muita protokollia kuin IP, kuten AppleTalk tai IPX.

NAT

Network Address Translate. Osoitteenmuunnos, joka muuntaa yksityiset IP-osoitteet julkiseksi ja toisinpäin. Yksityisiä osoitteita ovat 10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12 ja 192.168.0.0/16.

SNMP

Simple Network Management Protocol. Tiedon keräämiseen verkossa olevilta laitteilta tai tuon tiedon muokkamiseen tarkoitettu protokolla. Esim. reitittimet, kytkimet, palvelimet, työasemat ja tulostimet tukevat tätä. Käyttää UDP-portteja 161 ja 162.

DOCSIS

Data Over Cable Service Interface Specifications. Standardi, joka määrittää laajakaistaisen tiedonsiirron kaapeli-TV-verkossa.

TFTP

Trivial File Transfer Protocol. Protokolla, jonka avulla tiedostoja voi siirtää etäserverille.

DHCP

Dynamic Host Configuration Protocol. Jakaa palveluille ja laitteille IP-osoitteita.

ToD

Time of Day. Aikapalvelu palvelimella, josta kaapelimodeemijärjestelmä saa kellonajan.

OSI

OSI-malli eli Open Systems Interconnection Reference Model on seitsenkerroksinen tiedonsiirtoprotokollien kuvaustapa. Kerrokset ovat fyysinen, siirtoyhteys-, verkko-, kuljetus-, istunto-, esitystapa- ja sovelluskerros.

Telnet

OSI:n sovelluskerroksen protokolla, joka tarjoaa kaksisuuntaisen etäpääteyhteyden komentoriviltä.

VPN

Virtual private network. Ulottaa yksityisen verkon Internetin tai muun julkisen verkon yli, aivan kuin laitteet olisi suoraan kytkettynä samaan yksityiseen verkkoon.

CMTS

Cable modem termination system. Suomeksi kaapelimodeemijärjestelmä.

CM

Cable modem. Kaapelimodeemi on periaatteessa samankaltainen laite kuin esimerkiksi ADSL-modeemi, tietyin teknisin poikkeuksin.

Modulaatio

Modulointi tarkoittaa tiedonsiirtosignaalin välittämistä kanta-aallon avulla.

QPSK

Quadrature Phase Shift Keying. Modulointimenetelmä, jossa signaali muuttaa kanta-aallon vaihetta suoraan ja hetkellinen vaihe kertoo sanoman arvon. QPSK:lla voi olla 4 eri vaihe-eroa, eli se on kaksibittinen.

16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, jne

Quadrature Amplitude Modulation. Yhdistää vaihemodulaation ja amplitudimodulaation. QAM:ssä moduloidaan samanaikaisesti ja toisistaan riippumatta signaalin amplitudia ja vaihekulmaa. Käytännössä QAM signaali usein koostetaan moduloimalla erikseen kahta keskenään 90 asteen vaihesiirrossa olevaa kanta-aaltoa (mistä tulee sana "Kvadratuuri", eli 90 asteen kulmaetäisyys) ja summaamalla tulokset QAM-signaaliksi. Esimerkiksi 64-QAM käytettäessä voidaan välittää 64 erilaista arvoa, eli 6 bittiä dataa. QAM-4096 voidaan välittää 4096 erilaista arvoa, eli 12 bittiä tietoa.

TDMA

Time division multiple access. Mahdollistaa useiden käyttäjien jakaa saman taajuuskanavan jakamalla signaalin eri aikaviipaleisiin.

ATDMA

Advanced time division multiple access. Paranneltu versio TDMA:sta, jossa mm. kanavan taajuutta ja modulaatioiden yhteensopivuutta on paranneltu.

S-CDMA

Synchronous-Code division multiple access. CDMA:lla useat lähettimet voivat lähettää tietoa yhtäaikaaisesti yhdessä kanavassa. Tämän mahdollistaa erityinen koodausjako (missä jokaiselle lähettimelle annetaan oma koodinsa). Synkronisuudella tarkoitetaan tiettyjen matematiikan sääntöjen, kuten vektoreiden kohtisuoruuden, hyödyntämistä koodauksessa.

OFDM

Orthogonal frequency-division multiplexing. OFDM:llä suhteellisen kapeaan kaistaan saadaan mahtumaan paljon bittejä lähettämällä samanaikaisesti monta signaalia eri alakanavilla, joiden taajuudet voivat osittain olla päällekkäisiä. Signaalit eivät aiheuta toisilleen interferenssiä, kun käytetään sopivia taajuuksien kerrannaisia.

VoIP

Voice over IP. Äänipuhelut IP-verkossa.

DTI

DOCSIS Timing Interface. Palvelu, johon sisältyy kellonaika, DOCSIS:n aikaleima, ja ToD-tiedot.

HFC

Hybrid fiber-coaxial. Yhdistää optisen kuidun ja koaksiaalikaapelin.

1 Johdanto

Vielä parikymmentä vuotta sitten Internet oli vielä harvojen herkkua. Oli monia ihmisiä, jotka eivät olleet edes vielä kuulleet siitä. Teknologian kehitys on ollut kuitenkin huimaavan nopeaa, ja yhtäkkiä kotikäyttäjätkin halusivat sukeltaa Internetin syövereihin. Tämä saattoi tapahtua aluksi ärsyttävän hitaan ja käytön mukaan hinnoitellun liittymän kautta, ja myöhemmin hieman nopeamman laajakaistan kautta.

Nykyisin on jo vaikeaa kuvitella arkielämää ilman Internetiä. Jopa suurimmassa osassa kännyköistä on Internetiin jatkuva yhteys, jossa ei paljon rajoja ole. On helppoa esimerkiksi nopeasti vilkaista säätä, tarkistaa oma lukujärjestys tai lähettää viesti pikaviestipalvelun kautta kaverille.

Mistä tämä Internet-yhteys sitten kotikäyttäjälle tulee? Esimerkiksi ADSL-modeemista tai kaapelimodeemista. Tämä insinööriyö liittyy tuohon jälkimmäiseen, ja keskittyy tarkemmin sanoen kaapelimodeemijärjestelmään, josta yhteys kulkee jopa kymmeneen tuhansiin kaapelimodeemeihin. Esimerkiksi kerrostaloasunnot ovat usein niin sanottuja kaapelitalouksia, jolloin niihin tulee TV-lähetys kaapeliverkon kautta. Näitä samoja kaapeleita pitkin voi saada myös Internet-yhteyden, jolloin kyseeseen tulee kaapelimodeemi.

Tässä insinööriyössä kerrotaan kaapelimodeemijärjestelmästä ja sen käyttöönotosta. Työn tavoitteina on ollut avartaa näkemyksiä kaapelimodeemijärjestelmästä ja siihen liittyvästä teknologiasta sekä tutustua laitteeseen konkreettisella tasolla.

2 Mikä on kaapelimodeemijärjestelmä?

Kaapelimodeemijärjestelmä on pohjimmiltaan reititin. Se on laite, joka yleensä sijaitsee kaapeliverkkoyhtiön keskitinasemalla tai muussa keskitetyssä sijainnissa. Kaapelimodeemijärjestelmä eli CMTS tarjoaa monia samoja toimintoja kuin DSL-systeemin DSLAM eli DSL-keskitin.

Tarjotakseen korkeanopeuksisia datapalveluita kaapeliverkkoyhtiö yhdistää keskitinasemansa Internetiin erittäin suuren kapasiteetin datalinkkejä pitkin

verkkopalveluntarjoajalle. Yhteydessä asemalta tilaajalle kaapelimodeemijärjestelmä mahdollistaa kommunikaation tilaajan kaapelimodeemien kanssa. Eri kaapelimodeemijärjestelmät pystyvät palvelemaan eri määrää kaapelimodeemeita; lukumäärä voi olla väliltä 4000 – 150 000, riippuen liikenteestä. Yksittäisellä kaapeliverkkoyhtiön keskitinasemalla saattaa olla jopa kaksitoistakin kaapelimodeemijärjestelmää palvelemissa kaapelimodeemeja.

Kaapelimodeemijärjestelmää voi ajatella reitittimenä, jossa on ethernet-portteja (tai muita perinteisiä tiedonsiirtotapoja, kuten optisia) toisella puolella ja koaksiaalikaapeliportteja toisella. Koaksiaali kuljettaa radiotaajuuden eli RF-signaaleja tilaajan kaapelimodeemiin ja kaapelimodeemista kaapelimodeemijärjestelmään. Liikenne, joka tulee Internetistä, voidaan reitittää (tai sillata) ethernet-portista, läpi kaapelimodeemijärjestelmän, ja koaksiaaliportteihin, jotka ovat yhdistettynä kaapeliverkkoyhtiön HFC-verkkoon. Liikenne kulkee HFC:n läpi ja päättyy kaapelimodeemiin tilaajan kotona.

Tyypillisesti kaapelimodeemijärjestelmä käsittelee vain IP-liikennettä. Liikennettä Internetistä kaapelimodeemia kohti kutsutaan downstream- tai DS- tai alavirtaliikenteeksi. Tätä liikennettä kuljetetaan IP-paketeiksi pakattuna ja DOCSIS-standardin mukaisesti. Nämä paketit kulkevat datavirroissa, jotka yleensä moduloidaan TV-kanavaan käyttäen joko 64-QAM- tai 256-QAM-modulointia.

Ylävirran data (kaapelimodeemista Internetiin päin) kulkee ethernet-kehyksissä pakattuina DOCSIS-kehysten sisään moduloituina QPSK:lla, 16-QAM:lla, 32-QAM:lla, 64-QAM:lla tai 128-QAM:lla käyttäen joko TDMA-, ATDMA- tai S-CDMA-taajuudenjakomenetelmää. Tämä tehdään kaapeli-TV-spektrin ”alikaista-” tai ”paluu”osalla, joka on paljon alhaisempi taajuusalue kuin alavirtasignaalilla, esimerkiksi DOCSIS 3.0:lla 5-42 MHz ja EuroDOCSIS:lla 5-60 MHz.

Yleensä kaapelimodeemijärjestelmä sallii asiakkaan tietokoneen noutaa IP-osoitteen välittämällä DHCP-pyyntöjä oleellisille palvelimille. DHCP-palvelin palauttaa (useimmiten) tyypillisen vastauksen sisältäen IP-osoitteen tietokoneelle, käytettävän yhdyskäytävä/reititin-osoitteen, DNS-palvelimet, jne.

Kaapelimodeemijärjestelmä saattaa myös toteuttaa perustason suodatusta suojaksi luvattomia käyttäjiä ja erinäisiä hyökkäyksiä vastaan. Se saattaa suorittaa liikenteen

muokkausta priorisoidakseen jotakin liikennettä, ehkäpä perustuen tilaussuunnitelmaan ja myös tarjota taattua palvelunlaatua (QoS) kaapelioperaattorin omaa VoIP-palvelua varten. Kaapelimodeemi kuitenkin todennäköisemmin suorittaa liikenteenmuokkausta, tai kytkin. Kaapelimodeemijärjestelmä saattaa myös toimia siltana tai reitittimenä.

Asiakkaan kaapelimodeemi ei pysty kommunikoimaan suoraan toisten linjalla olevien modeemien kanssa. Yleisesti ottaen liikenne kaapelimodeemilta toisiin kaapelimodeemeihin tai Internetiin reititetään useiden kaapelimodeemijärjestelmien ja perinteisten reitittimien läpi. Reitti voi kuitenkin teoriassa kulkea myös yhden ainoan kaapelimodeemijärjestelmän läpi.

2.1 Kaapelimodeemijärjestelmän arkkitehtuuri

Kaapelimodeemijärjestelmät jaotellaan kahteen arkkitehtuurikategoriaan, integroituun (Integrated CMTS, I-CMTS) ja modulaariseen (Modular CMTS, M-CMTS). Kummassakin tyypissä on omat hyvät ja huonot puolensa.

2.1.1 Integrated CMTS

Integroitu arkkitehtuuri I-CMTS koostuu yksittäiseen alustaan sijoitetuista komponenteista. Kaikki koaksiaaliportit ja IP-komponentit ovat integroituina yksittäiseen laitteeseen. Näin RF-komponentit ovat yksinkertaisemmin yhteensovitettavissa keskitinasemalla. Tällaisen kaikki-yhdessä-ratkaisun hyödyt ovat harvemmat viansijaintipaikat, pienemmät kustannukset ja käyttöönoton helppous.

2.1.2 Modular CMTS

Modulaarisessa ratkaisussa arkkitehtuuri hajaantuu kahteen komponenttiin. Ensimmäinen on fyysinen alavirtakomponentti (PHY, Physical Downstream component), joka tunnetaan EQAM:ina (Edge QAM). Toinen osa on IP- ja DOCSIS MAC -komponentti, johon viitataan termillä M-CMTS Core. On myös useita uusia protokollia ja komponentteja tähän arkkitehtuuriin liittyen. Yksi on DOCSIS Timing Interface, joka tarjoaa suositustaaajuuden EQAM:n ja M-CMTS Coren välille DTI-palvelimen kautta. Toinen esimerkki on alavirran ulkoinen PHY-liittymä (DEPI, Downstream External PHY Interface). DEPI kontrolloi DOCSIS-kehysten lähetystä M-

CMTS Core:sta EQAM-laitteisiin. Ongelmia, joita tämä arkkitehtuuri tuo mukanaan, saattavat olla esimerkiksi RF-komponenttien yhteensovittamisen monimutkaisuus ja vikoja saattaa esiintyä paljon useammassa paikassa kuin integroidussa arkkitehtuurissa. Yksi eduista on, että se on erittäin hyvin skaalautuva suuriin alavirtakanavien määriin.

2.2 Mikä on reititin?

Reititin on verkkolaite, joka välittää eteenpäin saamiaan paketteja tietokoneverkkojen välillä. Reitittimet toimivat liikenteen ohjaajina internetissä. Reititin on kytketty ainakin kahteen datareittiin eri verkoista (toisin kuin verkkokytkin, joka yhdistää reitit samassa verkossa). Kun datapaketti tulee yhtä reittiä pitkin, reititin lukee sen osoitetiedot, ja pääättelee sen loppumääränpään. Käyttäen omaa reititystauluansa tai reitityspolitiikkaansa reititin ohjaa paketin seuraavaan verkkoon kohti määränpäättä.

2.3 Mikä on IOS?

Cisco IOS (Internetwork Operating System) on ohjelmisto, jota käytetään useimmissa Ciscon reitittimistä ja nykyisissä kytkimissä. IOS on pakkaus reitityksen, kytkennän ja tietoliikenteen komentoja integroituna moniajavaan käyttöjärjestelmään.

IOS:n komentorivikäyttöliittymä koostuu tietyistä monisanaisista komennoista. Näiden komentojen lukumäärä on luokkaa 10 000 – 20 000. Käytettävissä olevat komennot määräytyvät sen mukaan, missä "modessa", eli tilassa, ja millä käyttöoikeustasolla käyttäjä on. Käyttöoikeustasoja on numerosta 0 numeroon 15, ja käyttäjän on oltava tietyllä tasolla tai ylempänä suorittaakseen tiettyjä komentoja.

Mahdollisia tiloja ovat:

- User EXEC mode
- Privileged EXEC mode
- Global Configuration mode

- ROM Monitor mode
- Setup mode

Näiden lisäksi yli sata tiettyyn konfiguraatioon liittyvää tilaa, kuten esimerkiksi "interface configuration mode", jossa konfiguroidaan tiettyä liitännää. Tilat ja käyttöoikeustasot linkittyvät toisiinsa siten, että oletusarvoisesti User EXEC mode tarkoittaa tasoa 1 ja Privileged EXEC mode tasoa 15, mutta esimerkiksi suurissa yrityksissä on hyvä antaa eri henkilöille eri käyttöoikeustasoja, jolloin tasoksi tulee siis 2-14. Taso 15 vastaa UNIX-järjestelmän root-käyttäjän tai windowsin pääkäyttäjän (administrator) oikeuksia. Tasolla 0 ainoat mahdolliset komennot ovat *disable*, *enable*, *exit* ja *exit*. Kun reitittimeen otetaan normaalisti telnetillä konsolilyhteys, on taso oletusarvoisesti 1.

Taulukko 1. Neljä yleisintä tilaa

Tila	Pääsymenetelmä	Komentokehote	Poistuminen
User EXEC mode	Tämä on 1. taso. Pääteasetuksia voi vaihtaa, perustehtäviä suorittaa ja listata tietoa järjestelmästä.	router>	Syötä komento <i>logout</i> .
Privileged EXEC mode	Syötä komento <i>enable</i> User EXEC –tilassa.	router#	Poistuminen User EXEC –tilaan: syötä komento <i>disable</i> .
Global configuration mode	Syötä komento <i>configure terminal</i> privileged EXEC –tilassa.	router(config)#	Poistuminen privileged EXEC –tilaan: syötä komento <i>exit</i> tai <i>end</i> , tai paina Ctrl-Z .
Interface configuration mode	Global configuration –tilassa syötä komento <i>interface <liitännän tyyppi></i> <i><liitännän numero></i>	router(config-if)#	Poistuminen privileged EXEC –tilaan: syötä komento <i>end</i> , tai paina Ctrl-Z . Poistuminen global configuration –tilaan: syötä komento <i>exit</i> .

2.3.1 Versiointi

Cisco IOS:n versio merkitään käyttäen kolmea numeroa ja mahdollisesti kirjaimia. Yleisesti versio merkitään muotoon *a.b(c.d)e*, missä

- *a* on pääversionumero.

- *b* on pienempi versionumero.
- *c* on julkaisunumero, joka alkaa numerolla 1, ja kasvaa kun *a.b* ei muutu uuden version myötä.
- *d* on väliaikaisen koontiversion numero.
- *e* (kirjain, kaksi kirjainta tai 0) on tunniste version käyttökohteelle, esimerkiksi T (*Technology*), E (*Enterprise*) tai S (*Service provider*).

Muodossa *a.b(c.d)* versio tarkoittaa päälinjauksen versiota, joka on tarkoitettu vakaimmaksi mahdolliseksi versioksi ja johon julkaistaan päivityksiä vain ohjelmointivirheiden takia. Edellisestä T-versiosta tulee perusta jokaiselle päälinja eli ns. *mainline*-versiolle, esimerkiksi 12.1T-versio on pohjana 12.2-versiolle. *Technology*-versio saa uusia toimintoja ja korjauksia ohjelmointivirheisiin läpi elinkaarensa, minkä takia se on mahdollisesti epävakaaampi kuin *mainline*-versio. Ennen IOS-versiota 12.0 kirjain P merkitsi *Technology*. Tuotantoympäristössä ei kannata Ciscon suositusten mukaan käyttää T-versiota, ellei se ole aivan välttämätöntä. S-versio, eli *Service provider* -versio tyypillisesti asennetaan vain palveluntarjoajayrityksen ydinreitittimelle ja on hyvinkin paljon muokattu asiakkaille. E-versio on muunneltu yritysympäristöön sopivaksi, ja B-versio (*Broadband*) tukee laajakaistaominaisuuksia. Versioon 12.4 asti oli useita mahdollisuuksia kyseiselle tunnisteelle, mutta versiosta 15.0 lähtien on ollut ainoastaan M/T. Tämä pitää sisällään sekä pidennetyn ylläpidon julkaisut että normaalin ylläpidon julkaisut. M-julkaisut ovat pidennetyn ylläpidon julkaisuja, ja Cisco tarjoaa niihin ohjelmointivirhekorjauksia 44 kuukauden ajan. T-julkaisut ovat normaalin ylläpidon julkaisuja, ja Cisco tarjoaa niihin ohjelmointivirhekorjauksia vain 18 kuukauden ajan.

Useimmissa Ciscon tuotteissa, joissa on IOS, on myös yksi tai useampia "toimintosettejä" tai "paketteja". Tyypillisesti Ciscon reitittimissä on kahdeksan pakettia ja Ciscon verkkokytkimissä viisi pakettia. Esimerkiksi IOS-julkaisut Catalyst-kytkimiin ovat saatavilla joko "tavallisena" versiona (tarjoten vain perustoiminnot IP-reititykseen), "paranneltuna" versiona, joka tarjoaa täyden tuen IPv4-reititykselle, tai "edistykselliset IP-palvelut" -versiona, joka tarjoaa laajennetut toiminnot, kuten IPv6-tuen.

Kukin paketti vastaa yhtä yhtä palvelukategoriaa, kuten esimerkiksi IP-dataa, yhdistettyä puhetta ja dataa, tai tietoturvaa ja VPN:ää. Täsmälliset toimintosetit tietyille toiminnolle voi nähdä Cisco Feature Set Browser -palvelun avulla.

2.3.2 Arkkitehtuuri

Kaikissa Ciscon IOS:n versioissa pakettireititys ja edelleenlähetys ovat erillisiä toimintoja. Reititys sekä muut protokollat ovat IOS:n prosesseja ja osa reititystaulua. Tämä tapahtuma luo lopullisen edelleenlähetystaulun, jota käytetään reitittimen edelleenlähetystoimintoon.

2.4 Hybrid fibre-coaxial

HFC eli hybrid fiber-coaxial (suomeksi kuidun ja koaksiaalinen hybridi) on telekommunikaatioteollisuuden termi laajakaistaiselle verkolle, joka yhdistää optisen kuidun ja koaksiaalikaapelin. Se on ollut kaapelitelevisio-operaattorien yleisessä käytössä maailmanlaajuisesti 1990-luvun alusta lähtien.

HFC-systeemissä TV-kanavat lähetetään jakelulaitoksesta, eli keskitinasemalta, paikallisiin yhteisöihin optista kuitua olevien runkolinjojen kautta. Pieni laite, jota kutsutaan optiseksi solmuksi (optical node), muuntaa signaalin valonsäteestä sähköiseksi signaaliksi ja lähettää sen koaksiaalikaapelia pitkin jaettavaksi asiakkaille. Optiset runkolinjat tarjoavat riittävän kaistanleveyden tulevaisuuden laajennuksille ja uusille leveäkaistaisille palveluille.

2.5 Muut kaapelimodeemijärjestelmien valmistajat

Tämä työ keskittyy Ciscon kaapelimodeemijärjestelmiin sekä tekniikkaan niiden takana ja erityisesti Cisco uBR10012 -kaapelimodeemijärjestelmään. Markkinoilla on kuitenkin muitakin valmistajia.

Nykyiset valmistajat ovat

- ARRIS Group
- C9 Networks
- Coaxial Networks Inc.

- Casa Systems
- Cisco Systems
- Chongqing Jinghong
- WISI Communications GmbH
- Kathrein
- Suma Scientific
- Huawei Technologies
- Harmonic Inc.

Aikaisemmat toimittajat:

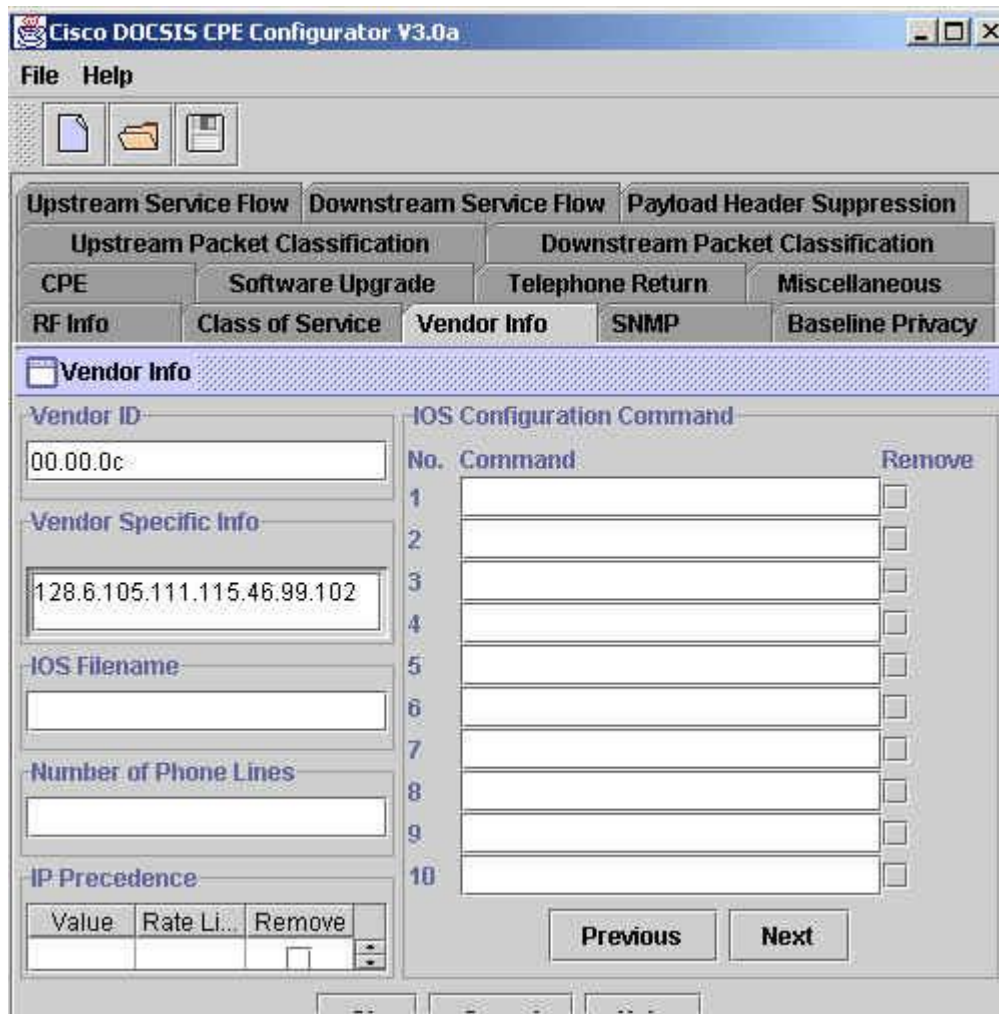
- 3COM (HP:n ostama)
- Broadband Access Systems (ADC Telecommunications:in ostama)
- ADC Telecommunications (Liiketoiminta kaapelimodeemijärjestelmään liittyen BigBand Networks:in ostama)
- BigBand Networks (Lopetti liiketoimintansa kaapelimodeemijärjestelmään liittyen, ja ARRIS osti myöhemmin jäljellejääneen liiketoiminnan)
- Cadant (ARRIS:n ostama)
- Com21 (Liiketoiminta kaapelimodeemijärjestelmään liittyen ARRIS:n ostama)
- RiverDelta (Motorola:n ostama)
- Terayon (Motorola:n ostama)
- Pacific Broadband Communications (Juniper Networks:in ostama)
- Juniper Networks (Lopettanut liiketoiminnan kaapelimodeemijärjestelmään liittyen)
- Motorola (ARRIS:n ostama).

2.6 IOS-konfiguraation lataus kaapelimodeemeihin

Cisco IOS -konfiguraatitiedostot ovat tekstitiedostoja, jotka sisältävät reitittimille lähetettävät konfiguraatiot eli asetukset. Ciscon kaapelimodeemien tapauksessa konfiguraatio tyypillisesti sisältää access listejä, hostnameja, SNMP-lauseita, salasanoja tai reitityskonfiguraation, joka poikkeaa oletus-siltauskonfiguraatiosta. Lähetettäessä IOS-konfiguraatitiedostoa on välttämätöntä upottaa se DOCSIS-konfiguraatitiedostoon, jota kaapelimodeemit käyttävät TFTP:n kautta alustusprosessissaan.

On kaksi tapaa ladata IOS-konfiguraatitiedosto Ciscon kaapelimodeemeihin. Ensimmäinen, ja yleisempi tapa, on käyttää DOCSIS CPE Configurator tool – lataustyökalua. Se on graafinen lataustyökalu modeemin asetusten lataamiseen. Toinen tapa on käyttää kaapelimodeemijärjestelmän Command Line Interfacea eli komentoriviä.

Kun kaapelimodeemeille lähetetään konfiguraatitiedosto käyttäen komentoriviä, täytyy lisätä DHCP-optio nimeltä DHCP Vendor Specific Information Option, joka sisältää tietoa palveluntarjoajasta. Tähän optioon viitataan myös nimellä "DHCP Option 43". Suurin etu kaapelimodeemien konfiguroinnissa komentorivin kautta on, että kaiken voi tehdä kaapelimodeemijärjestelmältä käsin, ja muita palvelimia (kuten DHCP, TFTP tai ToD) tai ohjelmistoa (kuten DOCSIS CPE Configurator Tool) ei tarvita IOS-konfiguraation lähettämiseen kaapelimodeemeille ja toimintakuntoon saamiseksi.



Kuva 1. Kuvakaappaus DOCSIS CPE configurator toolista

DOCSIS CPE configurator tool -työkaluun syötetään tieto desimaalimuodossa, kuten esimerkiksi kuvassa 1 Vendor Specific Info -kentässä. UNIX-komennolla *man ascii* näkee muunnostaulukot desimaalien ja merkkien välillä (kuva 2). Desimaalikoodi 128 tarkoittaa tyyppiä ja 6 pituutta. Desimaalikoodi 105.111.115.46.99.102 on "ios.cf" - asetustiedosto.

```

sj-cse-494% man ascii
Reformatting page.  Wait... done

ASCII(5)                Headers, Tables, and Macros                ASCII(5)

NAME
  ASCII - map of ASCII character set
  .... (skip the beginning)

      Decimal - Character

      | 0 NUL| 1 SOH| 2 STX| 3 ETX| 4 EOT| 5 ENQ| 6 ACK| 7 BEL| |
      | 8 BS | 9 HT |10 NL |11 VT |12 NP |13 CR |14 SO |15 SI |
      |16 DLE|17 DC1|18 DC2|19 DC3|20 DC4|21 NAK|22 SYN|23 ETB|
      |24 CAN|25 EM |26 SUB|27 ESC|28 FS |29 GS |30 RS |31 US |
      |32 SP |33 ! |34 " |35 # |36 $ |37 % |38 & |39 ' |
      |40 ( |41 ) |42 * |43 + |44 , |45 - |46 . |47 / |
      |48 0 |49 1 |50 2 |51 3 |52 4 |53 5 |54 6 |55 7 |
      |56 8 |57 9 |58 : |59 ; |60 < |61 = |62 > |63 ? |
      |64 @ |65 A |66 B |67 C |68 D |69 E |70 F |71 G |
      |72 H |73 I |74 J |75 K |76 L |77 M |78 N |79 O |
      |80 P |81 Q |82 R |83 S |84 T |85 U |86 V |87 W |
      |88 X |89 Y |90 Z |91 [ |92 \ |93 ] |94 ^ |95 _ |
      |96 ` |97 a |98 b |99 c |100 d |101 e |102 f |103 g |
      |104 h |105 i |106 j |107 k |108 l |109 m |110 n |111 o |
      |112 p |113 q |114 r |115 s |116 t |117 u |118 v |119 w |
      |120 x |121 y |122 z |123 { |124 | |125 } |126 ~ |127 DEL|

```

Kuva 2. UNIX-komennolla `man ascii` nähdään merkkejä vastaavat desimaalit

Käyttämällä kaapelimodeemijärjestelmän komentoriviä täytyy Option 43 syöttää heksadesimaalimuodossa. UNIX-komennolla `man ascii` nähdään myös heksadesimaali-merkistö-muunnokset.

```

Hexadecimal - Character

| 00 NUL| 01 SOH| 02 STX| 03 ETX| 04 EOT| 05 ENQ| 06 ACK| 07 BEL| |
| 08 BS | 09 HT |0A NL |0B VT |0C NP |0D CR |0E SO |0F SI |
| 10 DLE|11 DC1|12 DC2|13 DC3|14 DC4|15 NAK|16 SYN|17 ETB|
| 18 CAN|19 EM |1A SUB|1B ESC|1C FS |1D GS |1E RS |1F US |
| 20 SP |21 ! |22 " |23 # |24 $ |25 % |26 & |27 ' |
| 28 ( |29 ) |2A * |2B + |2C , |2D - |2E . |2F / |
| 30 0 |31 1 |32 2 |33 3 |34 4 |35 5 |36 6 |37 7 |
| 38 8 |39 9 |3A : |3B ; |3C < |3D = |3E > |3F ? |
| 40 @ |41 A |42 B |43 C |44 D |45 E |46 F |47 G |
| 48 H |49 I |4A J |4B K |4C L |4D M |4E N |4F O |
| 50 P |51 Q |52 R |53 S |54 T |55 U |56 V |57 W |
| 58 X |59 Y |5A Z |5B [ |5C \ |5D ] |5E ^ |5F _ |
| 60 ` |61 a |62 b |63 c |64 d |65 e |66 f |67 g |
| 68 h |69 i |6A j |6B k |6C l |6D m |6E n |6F o |
| 70 p |71 q |72 r |73 s |74 t |75 u |76 v |77 w |
| 78 x |79 y |7A z |7B { |7C | |7D } |7E ~ |7F DEL|

```

Kuva 3. Heksadesimaali-merkki-muunnokset

Tällöin "ios.cf" on heksadesimaalimuodossa 69:6F:73:2E:63:66. Kaapelimodeemiin syötettävä esimerkkikonfiguraatio:

!--- kommentit

cable config-file platinum.cm

!--- DOCSIS konfiguraatitiedosto on nimeltään platinum.cm

service-class 1 priority 2

!--- Ylävirtakanavan tärkeys on 2 (arvot 0-7, tärkein on 7)

service-class 1 max-upstream 128

!--- Suurin ylävirran arvo on 128 Kbps

service-class 1 guaranteed-upstream 10

!--- Taattu ylävirran arvo on 10 Kbps

service-class 1 max-downstream 10000

!--- Suurin alavirran arvo on 10 Mbps

service-class 1 max-burst 1600

!--- Suurin ylävirtaan lähetettävän datapurskeen koko saa olla 1600 tavua

cpe max 10

!--- Suurin määrä laitteita asiakkaan tiloissa on 10

timestamp

!--- Sallii aikaleiman luonnin

option 43 hex 08:03:00:00:0C:80:06:69:6F:73:2E:63:66

!-- IOS-konfiguraatitiedosto "ios.cf" lähetetään kaapelimodeemeille

!-- 08 tarkoittaa palveluntarjoajan tunnisteiden tyyppiä

!-- 03 tarkoittaa palveluntarjoajan tunnisteiden pituutta

!-- 00:00:0C tarkoittaa Ciscon tunnistetta

!-- 80 tarkoittaa palveluntarjoaja-kohtaisen tiedon, eli tässä tapauksessa ios.cf:n tyyppiä

!-- 06 tarkoittaa palveluntarjoaja-kohtaisen tiedon pituutta

2.6.1 DHCP-varannon asetukset

Kun platinum.cm-konfiguraatitiedosto on luotu, kaapelimodeemijärjestelmä konfiguroidaan, olemaan DHCP-palvelin. Kaapelimodeemiin syötettävä esimerkkikonfiguraatio:

ip dhcp pool surf

!-- DHCP-varannolle annetaan nimeksi surf

network 10.1.4.0 255.255.255.0

!-- Verkolle annetaan osoitteet 10.1.4.0 - 10.1.4.255

bootfile platinum.cm

!-- konfiguraatitiedosto tälle varannolle

next-server 10.1.4.1

!-- osoite TFTP-serverille, joka lähettää tiedoston

default-router 10.1.4.1

!--- oletusyhdyskäytävä kaapelimodeemeille

option 7 ip 10.1.4.1

!--- Loki-serverin osoite

option 4 ip 10.1.4.1

!--- Time of Day –serverin osoite

option 2 hex fff.8f80

!--- Aikapoikkeama ToD-serverillä, sekunneissa, fff.8f80 tarkoittaa 8 tuntia jäljessä

lease 7 0 10

!--- Voimassaoloaika 7 päivää, 0 tuntia, 10 minuuttia

2.6.2 TFTP-palvelin

Kaapelimodeemijärjestelmä konfiguroidaan olemaan myös TFTP-palvelin. Tämä tapahtuu komennolla *tftp-server server*. Tämän jälkeen komennolla *tftp-server disk0:ios.cf alias ios.cf* ilmoitetaan nimi konfiguraatitiedostolle, joka on ladattu disk0:lle. Komennolla *copy tftp <tallennusmedia>* saadaan konfiguraatitiedosto kaapelimodeemijärjestelmään. Esimerkkikomennot tästä:

CMTS#*copy tftp disk0*

Address or name of remote host []? **172.16.30.2**

Source filename []? **ios.cf**

Destination filename [ios.cf]?

Accessing tftp://172.16.30.2/ios.cf...

Loading ios.cf from 172.16.30.2 (via FastEthernet0/0/0): !

[OK - 173/4096 bytes]

173 bytes copied in 0.152 secs

Komennolla *dir* voidaan tarkistaa, että tiedosto todella tallentui kaapelimodeemijärjestelmälle. Esimerkki:

CMTS#*dir*

Directory of disk0:/

3	-rw-	11606084	Sep 17 2001	13:31:38	ubr10k-k8p6-mz.122-2.XF.bin
2839	-rw-	173	Oct 01 2001	23:29:44	ios.cf

Komennolla *more ios.cf* nähdään, mitä komentoja sisältyy konfiguraatitiedostoon.

2.6.3 ToD-serveri

Kaapelimodeemijärjestelmän konfigurointi toimimaan Time of Day -palvelimena tarvitsee vain kaksi komentoa; näistä ensimmäinen on *service udp-small-servers max-servers no-limit*, mikä tukee monien modeemien/isäntien liittämistä nopeasti. Toinen komento on *cable timeserver*, mikä sallii kaapelimodeemien noutaa Time of Day -palvelun kaapelimodeemijärjestelmältä.

2.6.4 Asetukset valmiina

Muut kaapelimodeemijärjestelmävalmistajat eivät välttämättä pysty asentamaan näitä kaikkia asetuksia pelkästään komentoriviä käyttämällä, kun taas Ciscon IOS:illa tämä luonnistuu. Ennen kuin kaapelimodeemi pystyy ottamaan komennot konfiguraatitiedostosta, täytyy kyseinen kaapelimodeemi ensin käynnistää uudelleen. Tämä tapahtuu kaapelimodeemijärjestelmän komentoriviltä komennolla *clear cable modem <ip-osoite tai MAC-osoite> reset*. Jos verkko on iso ja erilaisia konfiguraatitiedostoja lähetetään eri kaapelimodeemeille, kannattaa se tehdä vaiheittain. Näin tuhannet kaapelimodeemit eivät vie toistensa resursseja yrittäessään tulla verkkoon samaan aikaan.

Komennolla *telnet <ip-osoite>* päästään kaapelimodeemiin käsiksi kaapelimodeemijärjestelmältä. *<ip-osoite>* -komennolla tarkoitetaan kaapelimodeemin ip-osoitetta. Komennolla *show version* voidaan tarkistaa, että kaapelimodeemi on saanut konfiguraatitiedostokseen *ios.cf*;

```
SUCCEED#show version
Cisco Internetwork Operating System Software
IOS (tm) 120 Software (CVA120-K8V4Y5-M), Version 12.2(2)XA, EARLY DEPLOYMENT RE
TAC:Home:SW:IOS:Specials for info
Copyright (c) 1986-2001 by cisco Systems, Inc.
Compiled Wed 27-Jun-01 02:02 by hwcheng
Image text-base: 0x800100A0, data-base: 0x80782844
ROM: System Bootstrap, Version 12.0(20001010:025045) [spaulsen-blue-3105 3108],
ROM: 120 Software (CVA120-K8V4Y5-M), Version 12.2(2)XA, EARLY DEPLOYMENT RELEAS

SUCCEED uptime is 3 days, 3 hours, 21 minutes
System returned to ROM by reload at 05:52:09 - Sat Jan 1 2000
System restarted at 05:58:30 - Sat Oct 6 2001
System image file is "flash:cva120-k8v4y5-mz.122-2.XA.bin"
Host configuration file is "tftp://10.1.4.1/ios.cf"

cisco CVA122 CM (MPC850) processor (revision 3.r) with 32256K/1024K bytes of me
Processor board ID SAD043708GK
Bridging software.
1 Ethernet/IEEE 802.3 interface(s)
1 Cable Modem network interface(s)
1 Universal Serial Bus (USB) interface(s)
8192K bytes of processor board System flash (Read/Write)
7296K bytes of processor board Boot flash (Read/Write)

Configuration register is 0x2
```

Kuva 4. Esimerkkituloste komennosta *show version*

Tummennetusta tekstistä nähdään, että kaapelimodeemilla on oikea konfiguraatitiedosto.

2.6.5 Erityishuomio

Vaikuttaa siltä, että *option* -valintakomento komennolle *cable config-file* ei toimi, koska seuraavanlaisten komentojen olettaisi suorittavan pätevät konfiguraatiot:

```
option 43 instance 8 hex 00:00:0c
```

```
option 43 instance 128 ASCII ios.cf
```

Nämä komennot hyväksytään, mutta ne eivät luo oikeanlaista Ciscon IOS-konfiguraatitiedostoa. Tämä ei ole virhe. Ongelmana on, että termi "*instance*" tulkitaan valintakomennoksi, mikä sen ei pitäisi olla. Komennon "*instance*" toteutus sallii ainoastaan saman valintakomennon toiston moneen kertaan, kuten "*option 43*" eri palveluntarjoajille. Esimerkkinä:

```
option 43 instance 1 hex 08:03:00:00:0C:80:07:69:6F:73:2E:63:66:67
```

```
option 43 instance 2 hex 08:03:11:22:33:80:07:69:6F:73:2E:63:66:67
```

Ensimmäisessä komennossa syötetään konfiguraatitiedosto Ciscon kaapelimodeemille (00:00:0C tarkoittaa Ciscon tunnistetta), ja toisessa kuviteelliselle palveluntarjoajalle, jonka tunniste on mielivaltaisesti 11:22:33. Vastaavuus todellisen palveluntarjoajan kanssa on silkkaa sattumaa. Koska termin "*instance*" odotetaan vastaavan tyyppi-pituus-arvo-valintakomentokenttiä, ja mukana on oikeastikin niitä, täytyy koko merkkijono syöttää heksadesimaalisena.

3 DOCSIS

DOCSIS tulee sanoista Data Over Cable Service Interface Specification. DOCSIS on kansainvälinen telekommunikaation standardi, joka mahdollistaa leveäkaistaisen tiedonsiirron lisäämisen olemassaolevaan kaapeli-TV-verkkoon. Laitteista puhuttaessa saatetaan käyttää lyhennettä **Dx**, esimerkiksi "D3 kaapelimodeemi", mikä tarkoittaa, että kaapelimodeemi käyttää DOCSIS 3 -standardia. DOCSIS-versioita ovat 1.0, 1.1, 2.0, 3.0 ja uusin 3.1. DOCSIS:in kehitti CableLabs-niminen yhtiö ja kehityksessä olivat mukana 3Com, ARRIS, BigBand Networks, Broadcom, Cisco Systems, Conexant, Cor-

relant, Harmonic, Hitron Technologies, Intel, Motorola, Netgear, Technicolor, Terayon, Time Warner Cable ja Texas Instruments.

DOCSIS 1.0

DOCSIS:in ensimmäinen versio 1.0 julkaistiin maaliskuussa 1997. Se sisälsi toiminnallisia elementtejä edeltävistä kaapelimodeemituotteista; LANcity varustusprosessit (DHCP/TFTP/ToD), Motorolan 64QAM-tekniikan digiboksit Broadcomin piirisarjoilla, ja Motorolan kaapelimodeemisysteemin (ylävirran MAC/PHY-kerroksen elementtejä).

DOCSIS 1.1

DOCSIS 1.1 julkaistiin huhtikuussa 1999. Tähän versioon standardoitiin palvelunlaatu (QoS) -mekanismit, jotka oli hahmoteltu versioon 1.0.

DOCSIS 2.0

Versio 2.0 julkaistiin joulukuussa 2001. DOCSIS uudistettiin parantamaan ylävirran siirron kaistanleveyttä. Tämä johtui siitä että, kysyntä symmetrisille palveluille, kuten IP-puheluille, kasvoi.

DOCSIS 3.0

DOCSIS 3.0 julkaistiin elokuussa 2006. Määrittely uudistettiin kasvattamaan merkittävästi siirron kaistanleveyttä (tällä kertaa sekä ylävirran että alavirran) ja tuki IPv6:lle lisättiin.

DOCSIS 3.1

DOCSIS 3.1 julkaistiin ensimmäisen kerran 2013, ja sitä on sittemmin useaan kertaan päivitetty. Se tukee ainakin 10 Gbit/s alavirran ja 1 Gbit/s ylävirran nopeuksia käyttäen 4096-QAM:ia. Version määrittelyssä hankkiudutaan eroon 6 MHz ja 8 MHz leveistä kanavista ja siirrytään kapeampiin 20-50 kHz leveisiin OFDM-apukantoaaltoihin. Nämä voidaan sijoittaa jopa 200 MHz leveiden lohkojen sisään. DOCSIS 3.1 myös sisällyttää joitakin uusia energiankäsitteilyominaisuuksia, jotka auttavat kaapeliyhtiöitä

vähentämään energiankäyttöään, ja DOCSIS-PIE-algoritmin vähentämään puskurin ahtautumista.

Puskurin ahtautumisella (bufferbloat) tarkoitetaan pakettikytkentäisen verkon ilmiötä, jossa pakettien liiallinen puskurointi aiheuttaa korkeaa viivettä ja paketin viiveenvaihtelua (jitter), sekä huonontaa verkon kokonaissuoritustehoa. Kun reititin on konfiguroitu käyttämään liian isoja puskureita, jopa hyvin korkean nopeuden verkot saattavat tulla käytännössä täysin käyttökelvottomiksi monille käyttökohteille, kuten äänipuheluille ja jopa Internetin selaukselle.

Yhdysvalloissa toimiva laajakaistaoperaattori Comcast tiedotti helmikuussa 2016, että useat kaupungit sen toimialueella saavat DOCSIS 3.1:n saataville ennen vuoden loppua. Vuonna 2010 Yhdysvaltain telehallintovirasto FCC kehotti operaattoreita mahdollistamaan 100 Mbit/s standardimaisen nopeuden 100 miljoonan kotitalouden saataville vuoteen 2020 mennessä.

Kaikkien DOCSIS-versioiden välistä yhteensopivuutta ylläpidetään kahden päätepisteen välillä; kaapelimodeemi ja kaapelimodeemijärjestelmä. Esimerkiksi, jos asiakkaalla on kaapelimodeemi, joka tukee vain DOCSIS 1.0:aa, ja kaapelimodeemijärjestelmässä on DOCSIS 2.0, yhteys muodostetaan DOCSIS 1.0:n määrittelyjen mukaan.

Taulukko 2. DOCSIS 3.0:n ja DOCSIS 3.1:n vertailua

	DOCSIS 3.0		DOCSIS 3.1	
	Nyt	Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3
Alavirran taajuusalue (MHz)	54-1002	108-1002	300-1152	500-1700
Alavirran QAM-taso	256	256	≥1024	≥1024
Alavirtakanavien määrä	8	24	116	200
Alavirran kapasiteetti (bps)	300M	1G	5G	10G
Ylävirran taajuusalue (MHz)	5-42	5-85	5-230	5-400
Ylävirran QAM-taso	64	64	≥256	≥1024
Ylävirtakanavien määrä	4	12	33	55
Ylävirran kapasiteetti (bps)	100M	300M	1G	2G

3.1 EuroDOCSIS

Koska kaistanleveysjaot ovat erilaiset Yhdysvaltain ja Euroopan kaapelitelevisiojärjestelmissä, DOCSIS-versiot ennen 3.1:tä on muunneltu Eurooppaa varten. Kaistanleveydessä on ero, koska eurooppalaisessa kaapeli-TV:ssä käytetään yhdenmukaista PAL/DVB-C-standardia 8 MHz:n kaistanleveydellä, ja Pohjois-Amerikassa sovittua NTSC/ATSC-standardia 6 MHz:n kaistanleveydellä. Leveämpi kaistanleveys EuroDOCSIS:issa mahdollistaa enemmän kaistaa varattavaksi alavirtaan, eli kohti asiakasta. EuroDOCSIS:n sertifikaatintestausta suorittaa belgialainen Excentis (aikaisemmin tunnettu nimellä tComLabs), kun taas DOCSIS:n sertifikaatintestausta hoitaa CableLabs. Asiakkaalla olevat laitteet, esimerkiksi kaapelimodeemi, saavat tyypillisesti ”sertifioinnin”, kun taas kaapelimodeemijärjestelmä ”vaatimusehtojen hyväksynnän”.

3.2 Baseline Privacy

DOCSIS Baseline Privacy (BPI, suomeksi perustason yksityisyys) tarjoaa tietoturvaa HFC-verkossa enkrytaamalla liikenteen kaapelimodeemin ja kaapelioperaattorin kaapelimodeemijärjestelmän välillä. Ilman sitä liikenne olisi selkokielistä, ja kuka tahansa, joka pääsee liikenteeseen käsiksi esimerkiksi hakeroitumalla linjaan laitteiden välillä, saisi selville muun muassa salasanoja ja muuta tärkeää tietoa.

BPI-tietoturva on laajennettujen palveluiden paketti DOCSIS:in MAC-kerroksessa. Kahta uutta MAC-käsittelyviestityyppiä, BPKM-REQ ja BPKM-RSP käytetään tukemaan BPKM-protokollaa (Baseline Privacy Key Management, suomeksi perustason yksityisyyden avaimenhallinta).

BPKM-protokolla ei käytä autentikointimenetelmiä, kuten salasanoja, vaan se tarjoaa perussuojausta varmistamalla, että kaapelimodeemi, ainutlaatuisesti 48-bittisellä MAC-osoitteellaan, voi ainoastaan päästä käsiksi palveluihin, joihin se on valtuutettu.

Esimerkiksi Cisco uBR924 -kaapelimodeemi voi saada kahdentyyppisiä avaimia kaapelimodeemijärjestelmältä:

- Traffic Exchange Key (TEK, suomeksi liikenne-vaihto-avain), käytetään datapakettien enkrytaamiseen ja dekrytaamiseen eli salakirjoitukseen ja salauksenpurkuun.
- Key Exchange Key (KEK, suomeksi avain-vaihto-avain), käytetään TEK:in salauksenpurkuun.

DOCSIS BPI -ominaisuus on tuettuna IOS:n versiosta 12.0(5)T lähtien.

3.3 Max-cpe-komento

DOCSIS-asetustiedostossa on määrittely nimeltä MAX-CPE, joka tarkoittaa kaapelimodeemijärjestelmään ja kaapelimodeemeihin kytkettynä olevien laitteiden enimmäismäärää. Määrittelyn oletusarvona on 1. Tämä johtaa siihen, että jos kaapelimodeemin konfiguraatiot poistetaan muistista *reload*-komennolla, kaapelimodeemijärjestelmä ei osaa korjata asetuksiinsa, että MAX-CPE-arvo pitäisi laskea nolnaan. Kaapelimodeemi kuitenkin aloittaa uudestaan nollasta. Jos uusi kaapelimodeemiin kytkettynä oleva laite pyytää päästä verkkoon, kaapelimodeemi antaa luvan sille, kun MAX-CPE-lukema on nolla. kaapelimodeemijärjestelmässä on kuitenkin eri arvo, joten se hylkää pyynnön, ja seuraavanlainen viesti ilmestyy kaapelimodeemijärjestelmään: **"New host with IP address x.x.x.x and MAC yyyy.yyyy.yyyy on SID 3 (CM zzzz.zzzz.zzzz) is ignored."**

Esimerkki tästä on, kun kaapelimodeemi ilmoittaa kaapelimodeemijärjestelmälle MAX-CPE-arvokseen 1. Asiakas haluaa kaapelimodeemin asentajan kannettavan tietokoneen pois kaapelimodeemin tiedoista, ja tyhjentää *reload*-komennolla kaapelimodeemin. Tällöin kaapelimodeemi laskee MAX-CPE-arvonsa nolnaan, mutta kaapelimodeemijärjestelmä vielä muistaa asentajan kannettavan tietokoneen, jolloin sillä on MAX-CPE-arvona yksi.

On olemassa väliaikainen ratkaisu tähän ongelmaan. Käyttäjä voi syöttää komennon *clear cable host x.x.x.x*, missä x.x.x.x on laitteen IP- tai MAC-osoite, joka halutaan kaapelimodeemijärjestelmältä poistaa. Tämä väliaikainen korjaus on kuitenkin epäsuosittu asiakkaiden keskuudessa.

Määrittääkseen enimmäismäärän laitteita per kaapelimodeemi (MAX-CPE-arvon ylikirjoitus kaapelimodeemin konfiguraatitiedostoon) käyttäjä voi antaa komennon *cable modem max-cpe n*, missä n on luku väliltä 1-255.

Kaapelimodeemijärjestelmä sallii n-määrän laitteita yhdistettäväksi kaapelimodeemiin. Kun n on suurempi kuin MAX-CPE-arvo kaapelimodeemin konfiguraatitiedostossa, tämä komento syrjäyttää konfiguraatitiedoston arvon. DHCP-palvelin hallitsee IP-osoitteiden lukumäärää yksittäisen kaapelimodeemin takana.

Antamalla komennon *cable modem max-cpe unlimited* kaapelimodeemijärjestelmä ei valvo laitteiden määrää yksittäisen kaapelimodeemin takana.

3.4 Tärkeä huomio

Komento *cable modem max-cpe unlimited* saattaa johtaa palvelunestohyökkäyksiin ja täten tietoturvariskiin. Yksittäinen käyttäjä saattaa saada suuren määrän IP-osoitteita, mikä saattaa kaataa koko verkon kaikkien saatavilla olevien IP-osoitteiden ollessa varattuna tälle yhdelle käyttäjälle. Siksi onkin suositeltavaa, että jos tämä komento suoritetaan, IP-osoitteiden määrä laitteille yksittäisellä kaapelimodeemilla on tiukasti DHCP-palvelimen hallittavissa.

Antamalla komennon *no cable modem max-cpe* oletusasetus astuu voimaan, eli kaapelimodeemijärjestelmä rajoittaa konfiguraatitiedoston MAX-CPE-arvon määrittelyn mukaisesti yksittäiseen kaapelimodeemiin liitettyjen laitteiden lukumäärää.

4 Kaapelimodeemijärjestelmän käyttöönotto

4.1 Cisco uBR10012

Metropolian kaapelimodeemijärjestelmän on mallimerkinnältään Cisco uBR10012. Laite on fyysisesti hyvin kookas, koska korkeutta sillä on lähes metri ja leveyttä sekä syvyyttäkin noin puolisen metriä. Standardinmukaisessa rakkikaapissa laite vie

pystysuunnassa 18 yksikön (Rack Unit) tilan. Kaapelimodeemijärjestelmä painaa noin 100 kiloa, joten kysessä on hyvin järeä laite. Järeyttä toki vaaditaankin, koska laite on luotu palvelemaan hyvin suurta käyttäjäkuntaa.



Kuva 5. Cisco uBR10012 -kaapelimodeemijärjestelmä

4.1.1 Käyttäjien maksimimäärä

DOCSIS määrittää jo versiosta 1.0 lähtien, että jokaisessa CMTS:n alavirtalähettimessä tulee olla tuki 8191 palveluntunnistimelle (Service Identifier, SID) mutta niistä 16 on varattu tulevaisuuden käytölle. UBR10012-kaapelimodeemijärjestelmässä on kahdeksan linjakorttia, joten teoreettinen maksimimäärä palveluntunnistimille on $8 \times 8175 = 65400$. Jokainen kaapelimodeemi tarvitsee ainakin yhden palveluntunnistimen mutta voi olla yhdistettynä useampaan samanaikaisesti (eri lähetystyypeille, kuten data, puhe jne.).

On suositeltavaa, että kaapelimodeemien määrä yhtä ylävirran porttia kohden pidetään järkevänä. Cisco suosittaa seuraavaa:

- kaapelimodeemien enimmäismäärä per linjakortti = noin 1400-1500,
- kaapelimodeemien enimmäismäärä per ylävirran vastaanotin = ei enempää kuin 200.

Jos oletetaan, että kaikista asiakkaista 40 % käyttää palvelua kiireisimmän tunnin aikana, ja niistä neljäsosa lataa sisältöä samanaikaisesti ja on osallisena aktiivisuuspiikkiin, siten piikki vaatii 10 % käyttäjäkunnasta. Palveluntarjoaja haluaa rajoittaa ruuhkaliikenteen per käyttäjä arvoon 256 Kbps, ei sen vähempää. Kun yhdestä linjakortista saa 64-QAM:ssa kaistaa 36 Mbps, täytyy samanaikaisten aktiivisten käyttäjien määrä rajoittaa $36\,000\,000 / 256\,000 \approx 140$.

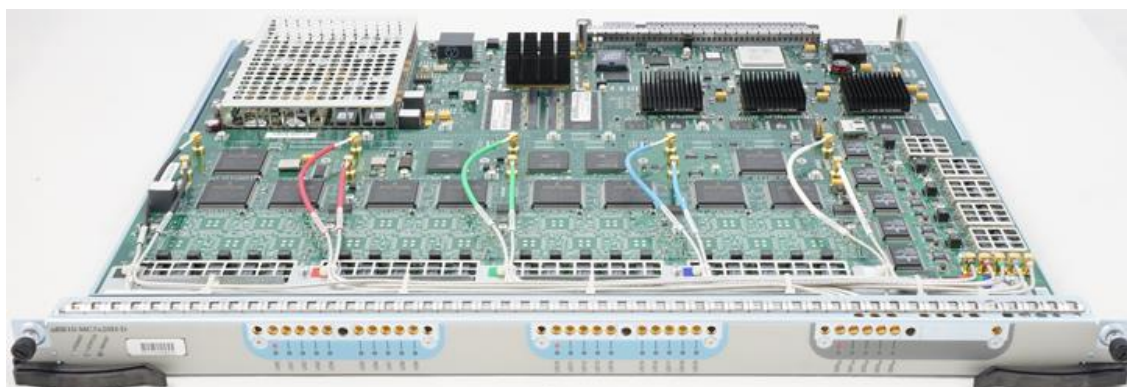
Kun tämä 140 on 10 % käyttäjistä, saadaan noin 1400 käyttäjää per linjakortti. Cisco kehottaa pitämään luvun alle 2000:n. Ruuhka voi johtaa yhteyden katkeamiseen, offline-tilaan, epävakauteen, normaalia pidempään aikaan modeemien uudelleenrekisteröitymisyrityksille, kuin myös muihin järjestelmä- ja suorituskykyongelmiin. Kun nämä noin 1400 tilaajaa jaotellaan tasaisesti linjakortin 20 upstream portille, saadaan noin 70 per portti.

Jokainen tilanne on erilainen, Cisco voikin tehdä vain suosituksia asian suhteen määrittäessä kaapelimodeemien maksimimäärää per ylävirta tai linjakortti. Nämä arviot ovat subjektiivisia ja perustuvat erittäin moneen muuttujaan. Toisaalta Ciscolla on tuhansia CMTS-yksiköitä ympäri maailmaa. Insinööritaitoja ja todellisen maailman kokemusta yhdistelemällä Cisco on saanut arvioistaan kohtuullisen realistisia.

Cisco suosittaa Homes Passed -arvoksi noin 1800-2200 per ylävirtaportti. Homes Passed tarkoittaa verkon peittoalueella olevia koteja eli talouksia, toisin sanoen taloudet, jotka VOIDAAN yhdistää verkkoon, riippumatta siitä, yhdistetäänkö ne vai ei. Luvun pitäminen järkevänä voi merkittävästi parantaa käyttöönoton onnistumista, ylläpitokuluja ja asiakastyytyvää. Ciscon suosituksen mukaan noin 2000 on hyvä kynnyksarvo sekä kustannustehokas ohjesääntö, mikä mahdollistaa operaattorin nopeasti levittyä, pitäen kuitenkin samalla ylläpitoalueet järkevinä. Operaattorin täytyy kuitenkin muistaa, että suurten alueiden yhdistely, kuten 4000-10 000 Homes Passed, tarkoittaa, että yhdenkin osion ruuhkautuminen paluutiessä johtaa ylävirtavastaanottimen KAIKKIEN asiakkaiden palvelunlaatuun. Kyseinen asia on vieläkin tarkempaa äänipuhelupalveluiden kanssa. Uuden ylävirtaportin lisääminen on paljon edullisempaa kuin paluutien ylikäyttöasteesta johtuvat säännölliset katkokset ja selittämätön tai epäsäännöllinen verkon käytös.

4.1.2 Laitteita ja asetuksia

Cisco uBR10012 -kaapelimodeemijärjestelmässä on takana portti konsoliyhteydelle ja virtajohto. Edessä on kahdeksan Cisco uBR10-MC5x20H-D -linjakorttia. Jokaisessa kortissa on 20 ylävirtaporttia ja viisi alavirtaporttia. Metropolian laitteessa on korteista käytössä vain toinen oikealta, ja siitä 10 ylävirtaporttia ja alavirtaportit.

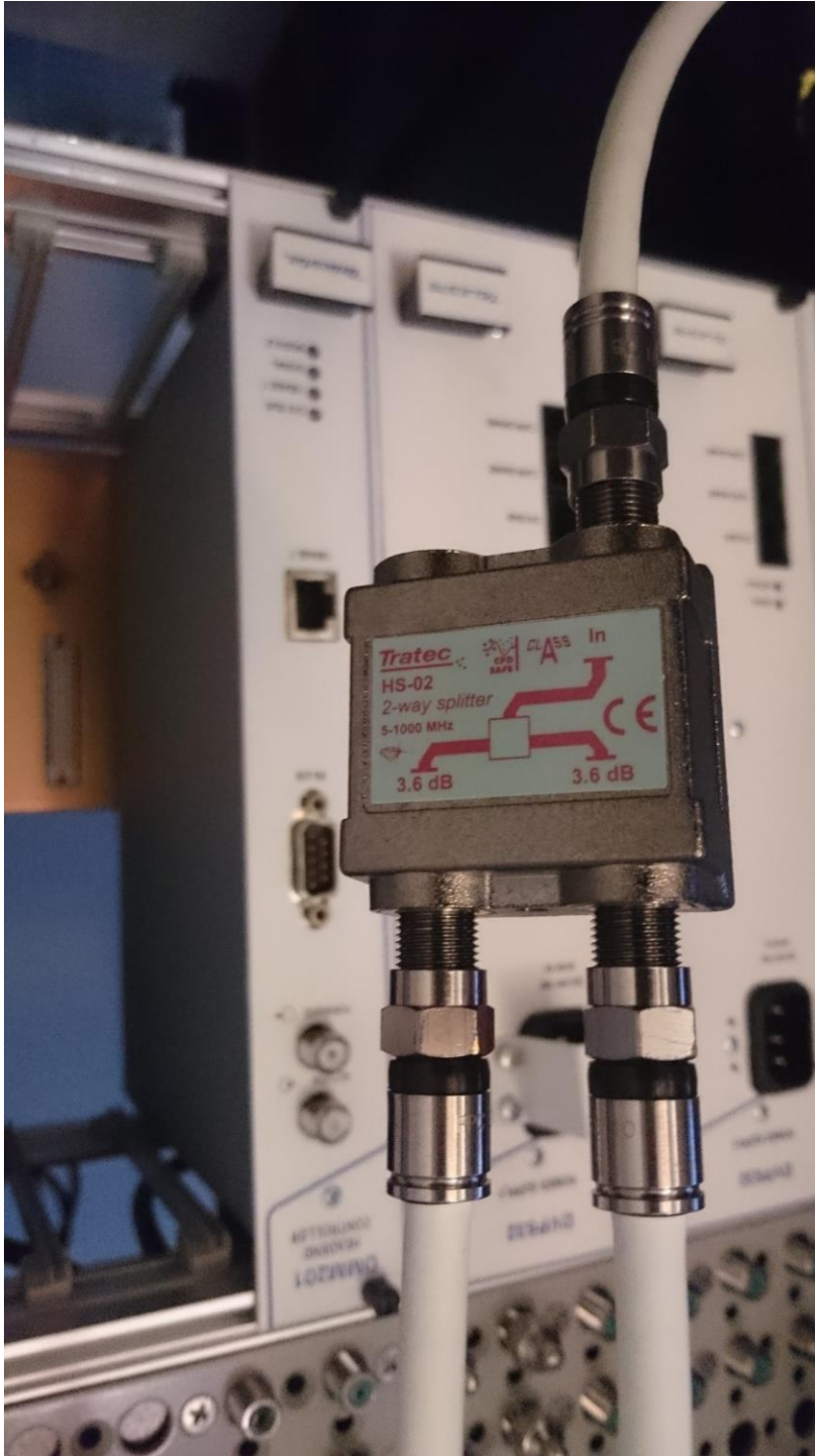


Kuva 6. Cisco uBR10-MC5x20H-D -linjakortti

Portit, joita konfiguroitiin, ovat

- interface cable 5/0/0
- interface cable 5/0/1
- interface cable 5/0/2
- interface cable 5/0/3
- interface cable 5/0/4
- interface cable 5/1/0
- interface cable 5/1/1
- interface cable 5/1/2
- interface cable 5/1/3
- interface cable 5/1/4

Linjakortilta lähtevät koaksiaalikaapelit RF-jaottimen kautta kaapelimodeemille. Kaapelimodeemi on aika lailla samanlainen laite kuin ADSL-modeemi, molemmat kotikäyttäjälle suunnattuja laitteita, mutta siinä missä ADSL käyttää puhelinverkkoa, kaapelimodeemi käyttää loogisesti kaapelitelevisioverkkoa. Molemmat tekniikat ovat kuitenkin asymmetrisia, eli toiseen suuntaan voi siirtää tietoa nopeammin kuin toiseen, käytännössä palveluntarjoajalta käyttäjälle nopeammin kuin käyttäjältä palveluntarjoajalle.



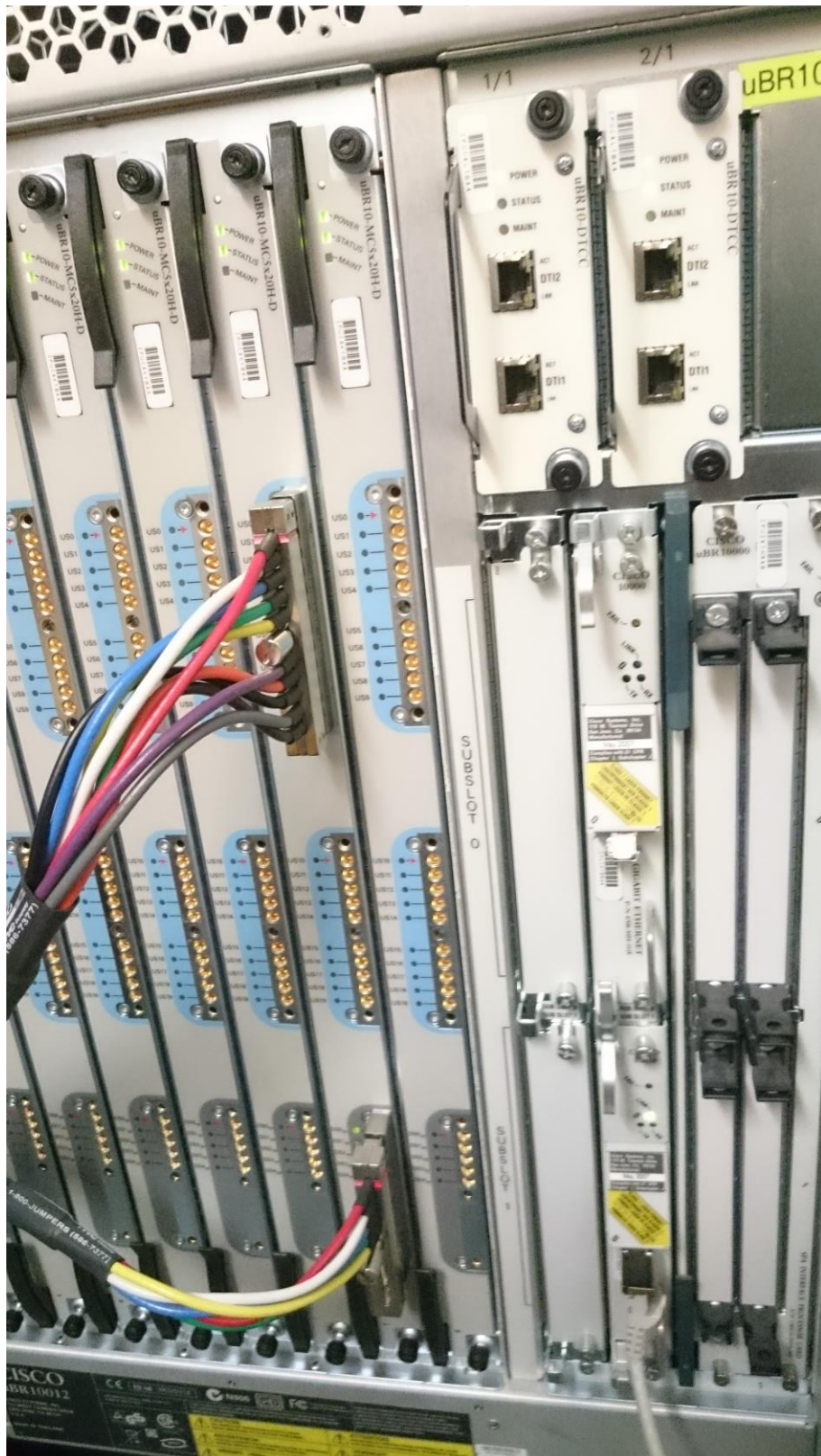
Kuva 7. RF-jaotin

Metropoliassa kaapelimodeemina on Thomsonin TCW770.



Kuva 8. Thomson TCW770 -kaapelimodeemi

Kaapelimodeemijärjestelmä on yhteydessä GigabitEthernet3/1/0-portin kautta core-reitittimeen, joka reitittää yhteyden Metropolian laboratorioverkkoon. Laboratorioverkossa on CentOS-palvelin, jota hallitaan etäyhteydellä esim. Puttyn kautta. Palvelimella on kaapelimodeemijärjestelmän käyttämät palvelut, eli DHCP, ToD-aikapalvelu ja TFTP.



Kuva 9. Näkymää kaapelimodeemijärjestelmän etuosasta

Kuvassa 9 näkyy Cisco uBR10-MC5x20H-D -linjakortti, josta lähtevät värikkäät koaksiaalikaapelit RF-jaottimen kautta kaapelimodeemille. Kuvassa näkyy myös alhaalla GigabitEthernet-portti, joka on konfiguroitu GigabitEthernet3/1/0-portiksi.

5 Yhteenveto

Kaapelimodeemijärjestelmä edustaa hienoa ja tiheästi päivittyvää teknologiaa. Tämä työ on tutkimisen ja opiskelun kannalta ollut minulle erittäin laaja, koska suuri osa teknisestä teorian tiedosta kaapelimodeemijärjestelmän takana oli minulle uutta, kuten myös koko kaapelimodeemijärjestelmä.

Ciscon dokumentit ovat laajoja ja kattavia, mutta minulle ne näyttäytyivät myös hieman sekavina ja itseään toistavina, mikä toi oman mielenkiintoisen lisähaasteensa työhön. Cisco on toisaalta tiettävästi maailman suurin verkkolaitteiden yhtiö maailmassa, joten tietoa kyllä löytyy asiaan kuin asiaan. Se on hyvä asia siinä mielessä, että kaapelimodeemijärjestelmän kanssa toimiessa pitää ensin opiskella ja tutkia paljon asioita ja teknistä teoriaa.

Opimme, että kaapelimodeemijärjestelmä on luotu hyvin suurelle joukolle kuluttajia, ja tekniikasta sekä eri standardeista, kuten DOCSIS:ta. Opimme myös kaapelimodeemijärjestelmän konfiguroinnista ja asetustiedostojen ja palveluiden syöttämisestä sekä laitteista ja tiedonsiirtotavoista.

Loppujen lopuksi itse koen, että oli hyvin hyödyllistä tutustua kaapelimodeemijärjestelmään ja opiskella tietoa siitä. Se on hyvin varteenotettava kilpailija esimerkiksi ADSL:lle, ja väittäisin Internet-yhteyden kaapeliverkon kautta tilaamisen olevan jatkuvasti yleistynyt ympäri maailman.

Lähteet

- 1 Cable modem termination system. 2004. Verkkodokumentti. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Cable_modem_termination_system>. Updated 4 April 2016. Luettu 11.3.2016.
- 2 Cisco IOS. 2003. Verkkodokumentti. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Cisco_IOS>. Updated 30 January 2016. Luettu 15.2.2016.
- 3 Using the Command-Line Interface. 2007. Verkkodokumentti. Cisco Systems, Inc. <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/access_point/12-3_2_JA/command/reference/i1232cr/cr32cli.html>. Luettu 27.2.2016.
- 4 Hybrid fibre-coaxial. 2004. Verkkodokumentti. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_fibre-coaxial>. Updated 28 March 2016. Luettu 24.3.2016.
- 5 How to Download an IOS Configuration File to Cisco Cable Modems Using Cisco's CMTS CLI. 2006. Verkkodokumentti. Cisco Systems, Inc. <<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/broadband-cable/cable-modem-termination-systems-cmts/8323-iosconfig-option43.html>>. Updated Jan 11, 2006. Luettu 20.1.2016.
- 6 DOCSIS. 2003. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<https://en.wikipedia.org/wiki/DOCSIS>>. Updated 31 March 2016. Luettu 16.3.2016.
- 7 Bufferbloat. 2011. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Bufferbloat>>. Updated 7 April 2016. Luettu 25.3.2016.
- 8 Baseline Privacy. 1997. Verkkodokumentti. Cisco Systems, Inc. <<http://www.cisco.com/support/toolkit/CableModem/BPI.htm>>. Luettu 26.3.2016.
- 9 Using the max-cpe Command in the DOCSIS and CMTS. 2005. Verkkodokumentti. Cisco Systems, Inc. <<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/broadband-cable/data-over-cable-service-interface-specifications-docsis/22177-max-cpe-in-docsis.html>>. Updated October 04, 2005. Luettu 28.3.2016.
- 10 What is the Maximum Number of Users per CMTS? 2006 Verkkodokumentti. Cisco Systems, Inc. <<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/broadband-cable/cable-modem-termination-systems-cmts/12205-max-number-cmts.html>>. Updated January 02, 2006. Luettu 3.3.2016.