

Toni Vesala

DOCSIS 3.0

Toiminnan selvitys

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Tekniikan yksikkö

Tietotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Tietotekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Tietoverkkotekniikat

Tekijä: Vesala Toni

Työn nimi: DOCSIS 3.0

Ohjaaja: Anttonen Alpo

Vuosi: 2012 Sivumäärä: 55 Liitteiden lukumäärä: 1

Opinnäytetyön päätarkoituksena on tutkia DOCSIS 3.0 -spesifikaation tarjoamaa kaapelimodeemiyhteyttä ja kuinka se toimii operaattorin verkossa. Opinnäytetyö pyrkii tarjoamaan vastauksia ylläpidon sekä vikatilanteiden hoitamiselle. Tutkimuksen lukemisen jälkeen lukijan pitäisi ymmärtää DOCSIS 3.0 -verkon toiminta kokonaisuudessaan verkon rakentamisen kannalta. Tutkimuksen tilasi Anvia-konsernin Seinäjoen Yrittäjätien toimisto.

Tutkimus suoritettiin pääsääntöisesti Cablelabsin spesifikaatioilla sekä Anvian ja BradyVolpen sivuston tarjoamilla koulutusmateriaaleilla. Aluksi tutkimus selittää lukijalleen kuinka DOCSIS 3.0 -verkko toimii käytännön tasolla. Tämän jälkeen tutkimus syvenee verkon topologiaan selittäen verkon eri osien toiminnot. Lisäksi DOCSIS 3.0:n tärkeimmät ominaisuudet käydään läpi.

Viimeiseksi opinnäytetyössä käydään läpi operaattorin kannalta tärkein osio, eli verkon rakentamiseen liittyvät seikat. Osiossa käydään läpi verkon kaksisuuntaistaminen, osittaminen, raja-arvot, vikatilanteet sekä niiden korjaaminen ja mahdollinen välttäminen.

Avainsanat: CMTS, DOCSIS, HFC, Kaapelimodeemi, RFoG, S-CDMA, TDMA

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Information Technology

Specialisation: Network Information Technology

Author: Vesala Toni

Title of thesis: DOCSIS 3.0

Supervisor: Anttonen Alpo

Year: 2012 Number of pages: 55 Number of appendices: 1

The main purpose of this thesis was to study DOCSIS 3.0 specification, how it is established by cable operator vendors and how to avoid network errors. The thesis was commissioned by Anvia Telecommunications Company.

The research in this thesis was primarily completed by studying materials provided by Cablelabs, the creator of DOCSIS specification, BradyVolpe Internet-site and Anvia Telecommunications Company. Firstly, the basic operation principles of DOCSIS 3.0 network are presented. That is followed by a more profound explanation of the network topology and each separate part of the network.

In the last section the key elements of building DOCSIS 3.0 network are explained. They include bi-directioning, fragmentation, thresholds, failure situations, and more importantly, how to overcome them.

Keywords: CMTS, DOCSIS, HFC, cable modem, RFoG, S-CDMA, TDMA

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	11
1.1 Työn tausta	11
1.2 Työn tavoite	11
1.3 Työn rakenne	12
1.4 Anvia-konserni	12
2 DOCSIS - HISTORIA JA LEVINNEISYYS.....	13
2.1 DOCSIS 1.0 - 2.0	13
2.2 DOCSIS 3.0	13
3 DOCSIS 3.0:N TOIMINTAPERIAATE	16
3.1 Yleistä toimintaperiaatteesta	16
3.2 Kanavanvarausmenetelmät	17
3.2.1 TDMA (A-TDMA).....	18
3.2.2 S-CDMA.....	19
3.3 Kanavien niputus ja dynaaminen taajuusjako	20
4 DOCSIS 3.0 -VERKON TOPOLOGIA	23
4.1 Yleistä topologiasta	23
4.2 HFC-verkko	24
4.3 CMTS.....	25
4.4 Kaapelimodeemi (CM)	27
4.5 RFoG-tekniikka	30
5 DOCSIS 3.0:N OMINAISUUKSIA.....	32
5.1 Modulaatio	32
5.2 OSI-malli	33
5.3 Protokollat	34

5.4 Turvallisuus	35
5.5 IPv6-tuki	37
6 VERKON VALMISTELU JA YLLÄPITO DOCSIS 3.0:A VARTEN..	38
6.1 Yleistä verkosta ja vaatimuksista	38
6.2 Verkon kaksisuuntaistaminen	38
6.3 Verkon osittaminen	40
6.4 Raja-arvot	42
6.5 Viat.....	44
6.5.1 Osittainen palvelu (Partial Service)	45
6.5.2 Heikentynyt palvelu (Impaired Service).....	46
6.5.3 Valvomon rooli vikatilanteessa.....	49
7 TULOKSET	50
8 YHTEENVETO.....	51
LÄHTEET	52
LIITTEET	55

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Nopeuserot eri versioiden välillä. (Jaakohuhta 2010.)	14
Kuvio 2. Euroopan kaapeli-tv-verkon levinneisyyskartta. (Cable Europe 2010.) ...	15
Kuvio 3. DOCSIS-verkko yksinkertaistettuna. (CableLabs 2011a, 11.).....	16
Kuvio 4. Minipaikat. (Gummalla 2001, 15.)	18
Kuvio 5. Samat kirjaimet kuvaavat saman modeemin lähetystä. (White 2010, 21.)21	
Kuvio 6. Lähetettävän paketin pilkkominen osiin. (White 2010, 22.)	22
Kuvio 7. DOCSIS-verkko kokonaisuudessaan. (CableLabs 2011a, 10.).....	23
Kuvio 8. HFC-verkko. (Gummalla 2001, 2.)	24
Kuvio 9. Koaksiaalikaapeli. (Voipio & Uusitupa 2009, 82.).....	25
Kuvio 10. M-CMTS-arkkitehtuuri. (Vecima 2010.).....	27
Kuvio 11. Kaapelimodeemin alustus vaiheittain 1. (Volpe 2009b.).....	28
Kuvio 12. Kaapelimodeemin alustus vaiheittain 2. (Volpe 2009b.).....	29
Kuvio 13. Kaapelimodeemin alustus vaiheittain 3. (Volpe 2009b.).....	29
Kuvio 14. Kaapelimodeemin alustus vaiheittain 4. (Volpe 2009b.).....	30
Kuvio 15. RFoG ja GPON yhdessä. (Anvia 2011.).....	31
Kuvio 16. Siniaallot. (Chapman 2008.).....	32
Kuvio 17. 16 QAM-modulaation konstellaatio, huomaa Q ja I. (Chapman 2008.) .	33
Kuvio 18. DOCSIS ja OSI-malli. (Chapman 2008.)	34
Kuvio 19. Energia. (Chapman 2008.).....	34
Kuvio 20. DOCSIS-protokollapinot. (CableLabs 2011b, 291.)	35
Kuvio 21. Kaksisuuntainen vahvistin. (Electroline 2004.).....	39
Kuvio 22. Osittamaton vanha kaapeli-tv-verkko. (Beijnum 2011.).....	40
Kuvio 23. Ositettu kaapeli-tv-verkko. (Beijnum 2011.)	41
Kuvio 24. Osittainen palvelu testilaitteella. (Volpe & Miller 2011.).....	46
Kuvio 25. Heikentynyt palvelu kanavakohtaisesti testilaitteella. (Volpe & Miller 2011.).....	48
Taulukko 1. Menokaistan yksittäisen RF-kanavan suositeltavat raja-arvot. (CableLabs 2011a, 115 - 116.)	43
Taulukko 2. Paluukaistan yksittäisen RF-kanavan suositeltavat raja-arvot. (CableLabs 2011a, 116 - 117.)	44

Käytetyt termit ja lyhenteet

BPI+	Baseline Privacy Interface Plus, paranneltu versio vanhemmasta BPI-versiosta. BPI+:n päätarkoituksena on estää kaapelimodeemiyhteyden käyttäjiä kuuntelemasta toistensa lähetyksiä.
CM	Cable Modem, kaapelimodeemi, eli asiakkaan tiloissa sijaitseva päätelaite, joka muodostaa yhteyden operaattorin DOCSIS-verkkoon.
CMTS	Cable Modem Termination System, sijaitsee operaattorin päässä. Kyseinen laite hoitaa DOCSIS-verkon liikennöinnin.
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol, internetprotokolla, jota käytetään IP osoitteen määrittämiseen.
DOCSIS	Data over Cable Service Interface Specification, spesifikaatio, jonka mukaan kaapelimodeemiverkot rakennetaan.
DSIDs	Downstream Service IDs, 20-bittinen järjestysluku-merkintä paketille. Hyödynnetään monikanavaisessa datan siirrossa.
eQAM	edge Quadrature Amplitude Modulator, laite, jota käytetään M-CMTS-arkkitehtuurissa. Kyseinen laite hoitaa kanavien niputuksen sekä voi samanaikaisesti syöttää verkkoon videosignaaleja.
FDMA	Frequency Division Multiple Access, verkon jakamiseen käytetty tekniikka, jossa käyttäjät erotellaan toisistaan antamalla jokaiselle oma taajuusalue.

GPON	Gigabit Passive Optical Network, passiivista kuituverkkoa hyödyntävä tekniikka, jossa virrattomat optiset haaroittimet jakavat yhden kuidun monelle käyttäjälle.
HFC	Hybrid fiber-coaxial, HFC-verkko kuvaa kaksisuuntaista verkkoa, joka hyödyntää valokuitua sekä koaksiaalikaapelia. Kuidulla siirretään operaattorin verkko asiakkaan lähellä olevaan solmuun, josta yhteys jaetaan koaksiaaliverkkoon.
IP	Internet Protocol, protokolla jota jokaisen Internetiä hyödyntävän laitteen täytyy käyttää, jotta ne voisivat kommunikoida toisilleen. Nykyisin laitteet tukevat vähintään versiota 4 (IPv4) ja lähes kaikki uudet laitteet tukevat versiota 6 (IPv6).
IPTV	Internet Protocol Television, tekniikka, joka antaa mahdollisuuden mm. videoneuvotteluihin ja vuorovaikutteisten tv-ohjelmien jakeluun. Yhteysnopeuksien kasvaessa IPTV:stä on tulossa myös teräväpiirtotelevision jakelukanava.
MAC	Media Access Control, hoitaa DOCSIS-verkon toiminnan ohjauksen. Se toimii myös osanaan protokollapinossa.
MAP	Bandwidth Allocation Map, MAC:in määrittelyviesti, jota CMTS käyttää jakaakseen aika-alueita kaapelimodeemeille lähetystä varten.
MDD	MAC Domain Descriptor, viesti, joka lähetetään kaikille menokanaville tasaisin väliajoin. Kyseinen viesti kertoo kaapelimodeemille primaarisen menokanavan.
Modulaatio	Modulaatio kuvaa menetelmää lähettää tietoa siirtotien yli esimerkiksi radioaaltojen välityksellä.

MPEG-TS	Moving Picture Experts Group Transport Stream, standardiformaatti, jota käytetään videon ja äänen siirtämiseen TV-lähetyksissä.
NMS	Network Management System, yhdistelmä laitteita ja ohjelmistoja, joita käytetään operaattorin verkon ylläpitoon.
NTSC	National Television System Committee, TV-lähetyksen standardi, jota pääsääntöisesti käytetään Amerikassa.
PAL	Phase Alternate Line, TV-lähetyksen standardi, jota käytetään mm. Suomessa.
Proxy	Välityspalvelin, jonka kautta voidaan ohjata Internet-liikenne.
RF	Radio frequency, tarkoittaa radiotaajuutta.
RFoG	Radio Frequency over Glass, tekniikka, joka mahdollistaa radioaaltojen siirtämisen kuidussa. Mahdollistaa DOCSIS-verkon tarjoamisen kokonaan kuidun varassa kiinteistöön asti.
S-CDMA	Synchronous-Code Division Multiple Access, DOCSIS-verkossa hyödynnettävä kanavanvarausmenetelmä, jossa jopa 128 kaapelimodeemia voi lähettää dataa samanaikaisesti verkkoon yksilöllisen koodin avulla.
SDV	Switched Digital Video, teollisuudessa käytetty termi, jolla kuvataan järjestelmää, joka jakaa digitaalista videota kaapeli-tv-verkossa.
Solmu (Node)	Solmu tarkoittaa verkon yhteyspistettä, josta jaetaan yhteydet asiakkaille. Fyysinen verkon solmu on aktiivinen verkon laite, joka on kytketty verkkoon, ja pystyy lähettämään sekä vastaanottamaan dataa.

Solu	Kuvaa asiakasjoukkoa jota yksi solmu palvelee.
SYNC	SYNC on MAC:in määrittelyviesti, jota CMTS käyttää verkon synkronointiin.
TDMA (A-TDMA)	(Advanced-)Time Division Multiple Access, DOCSIS-verkossa hyödynnettävä kanavanvarausmenetelmä, jossa kukin käyttäjä voi lähettää dataa omalla aikavuorollaan.
UCD	Upstream Channel Descriptor, MAC:in määrittelyviesti, jota CMTS käyttää ilmoittaakseen kaapelimodeemeille paluukanavilla käytettävät yhteysasetukset.
VOD	Video On Demand, palvelu, jossa voi ladata videotiedostoja. Levitetään esim. Internetin kautta. Suomen kielessä käytetään yleisesti termiä tilausvideo.
VoIP	Voice over Internet Protocol, tekniikka, jonka avulla ääntä voidaan siirtää IP-protokollaa käyttävän verkon välityksellä.
VPN	Virtual Private Network on tekniikka, jolla mahdollistetaan kahden tai useamman lähiverkon yhdistäminen julkisen verkon yli muodostaen näennäisesti yksityisen verkon.
QAM	Quadrature Amplitude Modulation, modulaatiomenetelmä radioaalloille, jossa moduloidaan samanaikaisesti ja toisistaan riippumatta signaalin amplitudia ja vaihekulmaa.
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying, modulaatiomenetelmä radioaalloille, jossa moduloiva signaali muuttaa kanta-aallon vaihetta suoraan ja hetkellinen vaihe kertoo sanoman arvon. QPSK-signaalikonstellaatio on identtinen 4-QAM:in kanssa.
QoS	Quality of Service on termi, jolla kuvataan Internet-liikenteen luokittelua ja priorisointia.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Anvia-konserni on ottamassa käyttöönsä kaapelimodeemiyhteyden tarjoavaa DOCSIS 3.0 -tekniikkaa. DOCSIS käyttää hyväksi koaksiaalikaapelissa toimivaa vanhaa kaapeli-tv-verkkoa, mutta toimiakseen se vaatii kaksisuuntaisen verkon. Koska vanha verkko on suunniteltu yksisuuntaiseksi, täytyy vanhat verkot päivittää kaksisuuntaiseksi. Verkon päivittämien on kallista operaattorille, lisäksi kaksisuuntainen verkko on myös vikaherkempi (Toivonen 2011).

DOCSIS-tekniikan käyttöönotto tarvitsee siis huolellista suunnittelua, jotta voitaisiin taata operaattorin asiakkaille varmatoimiset kaapelimodeemiyhteydet. DOCSIS-verkon toiminnasta on saatavilla tarkkoja spesifikaatioita, mutta verkon rakentamisen kannalta ne sisältävät paljon hyödyttömiä tietoja. Tekniikan ollessa Anvian henkilökunnalle uutta, on syntynyt tarve yleiskattavalle materiaalille, joka käsittelee DOCSIS 3.0 -tekniikkaa. Tarpeen seurauksena Anvia-konsernin Seinäjoen Yrittäjätien toimisto on tilannut tämän tutkimuksen.

1.2 Työn tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää DOCSIS-tekniikka yleispiirteittäin lukijalle menemättä liian yksityiskohtaisiin tietoihin, joista ei verkon rakentamisen kannalta ole hyötyä. Lisäksi tavoitteena on pyrkiä huomioimaan mahdollisia säästökuluja, eli asioita joita pitäisi ottaa huomioon verkon päivittämisessä ja ylläpidossa. Tutkimus pyrkii tarjoamaan vastauksia, millä toimenpiteillä verkon rakentaminen ja ylläpito on mahdollisimman järkevää.

Tutkimuksessa käydään myös läpi verkon vikatilanteet, niiden korjaaminen ja mahdollinen välttäminen. Pääimmäisenä tavoitteena on saada lukija ymmärtämään koko DOCSIS-verkon toiminta, jotta lukija voisi paremmin ymmärtää vikojen perimmäiset syyt ja miksi tiettyjä toimenpiteitä suoritetaan verkolle.

1.3 Työn rakenne

Tutkimuksen alussa käydään läpi DOCSIS-spesifikaation historia ja sen levinneisyys maailmalla. Spesifikaation historia käydään läpi ensimmäisen version julkaisemisesta nykyhetkeen saakka. Levinneisyydessä tarkastellaan spesifikaatiota tukevien laitteiden laajenemista sekä kaapeli-tv-verkon yleinen levinneisyys. Osiossa kolme käydään läpi DOCSIS 3.0 -version toimintaperiaate yleisellä tasolla. Siinä käydään läpi miten ja millä tapaa verkon eri laitteet kommunikoivat toisilleen. Osiossa myös käsitellään TDMA- ja S-CDMA-kanavanvarausmenetelmiä.

Osiossa neljä käydään läpi DOCSIS 3.0 -verkon topologia, eli millä tapaa DOCSIS-verkko rakentuu. Tekniikassa hyödynnettävän HFC-verkon rakenne käydään läpi ja kyseisessä verkossa toimivat laitteet. Osiossa esitellään myös uuden sukupolven RFoG-tekniikka, joka mahdollistaa DOCSIS 3.0 -verkon tarjoamisen täysin kuidun varassa kiinteistöön asti.

Osiossa viisi perehdytään version 3.0 toimintaan syvemmällä tasolla. Siinä käsitellään DOCSIS 3.0 -version eri ominaisuuksia ja kuinka niitä hyödynnetään tekniikassa.

Osiossa kuusi käsitellään verkon rakentamisen ja ylläpidon kannalta oleellisimpia tietoja. Tutkimus pyrkii tarjoamaan käytännön tasolla tietoa verkon vaatimuksista, kaksisuuntaistamisesta, osittamisesta ja vikatiloista. Lukijan kannalta on kuitenkin suositeltavaa lukea kaikki aikaisemmat osiot, sillä niiden sisältämiä tietoja tarvitaan kuudennen osion syvällisempään ymmärtämiseen.

1.4 Anvia-konserni

Anvia muodostuu Anvia Oyj:stä ja sen tytäryhtiöistä. Se on pohjanmaalla toimiva tietoliikenneoperaattori, jonka merkittävin markkina-alue on tarjota kuluttajille laajakaista, puhelinliikenne ja tv-palveluja. Anvialla työskentelee tällä hetkellä noin 700 henkilöä ja konsernin liikevaihto vuonna 2010 oli 108 M€. (Anvia 2012.)

2 DOCSIS - HISTORIA JA LEVINNEISYYS

2.1 DOCSIS 1.0 - 2.0

DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) on yhdysvaltalaisen Cablelabs-konsortion kehittämä tekniikka. Monet suuret yhtiöt mm. Intel, Texas Instruments, Cisco ovat toimineet kehitystyössä mukana. Tekniikan tavoitteena on tarjota nopeita Internet-yhteyksiä jo olevassa kaapeli-tv-verkossa. (CableLabs 2011c.)

DOCSIS 1.0, joka on standardin ensimmäinen versio, julkistettiin maaliskuussa 1997. Se kehitettiin vastaamaan symmetrisien palvelujen nopeustarpeita. Versio 1.1 julkistettiin huhtikuussa 1999. (CableLabs 2011c.) Se kaksinkertaisti paluukaistan nopeuden ja lisäsi QoS (quality of service) -tuen. Versiolla 1.1 kyettiin tarjoamaan VoIP-puhelut ensimmäistä kertaa, sillä kyseinen tekniikka tarvitsee vähälattensista yhteyttä. Lisäksi versiossa 1.1 säilytettiin yhteensopivuus version 1.0 kanssa. (Jaakohuhta 2010.)

DOCSIS 2.0-versio julkaistiin joulukuussa 2001 (CableLabs 2011c). Se nosti paluukaistan nopeutta (x3 DOCSIS 1.1). 2.0-versio esitteli paluukaistalle kaksi uutta kanavanvarausmenetelmää (A-TDMA ja S-CDMA), jotka paransivat häiriönsieto-ominaisuuksia. Yhteensopivuus säilytettiin 1.x-versioiden kanssa. (Jaakohuhta 2010.)

Koska kaapeli-tv-verkkoja on rakennettu paljon ympäri maailmaa, se on edesauttanut tekniikan nopeaa yleistymistä. Viiden vuoden kuluttua (v. 2002) DOCSIS-spesifikaation julkistamisesta maailmalla oli jo 23 milj. laitetta/käyttäjää. (Jaakohuhta 2010.)

2.2 DOCSIS 3.0

DOCSIS 3.0, joka on tällä hetkellä uusin versio, toi joukon uusia parannuksia elokuussa 2006. Uudistukseen kuului mm. modulaarinen CMTS, IPv6, IPTV-tuki sekä DES-salauksesta siirtyminen AES-salaukseen. Tällä kertaa meno- sekä

paluukaistan nopeuksia nostettiin nelinkertaiseksi versioon 2.0 nähden. Nopeuden korotus toteutettiin uudella kanavien niputusmenetelmällä. Myös versiossa 3.0 säilytettiin tuki kaikkiin vanhempiin versioihin. (Jaakohuhta 2010.)

Versio	DOCSIS		EuroDOCSIS	
	Downstream Mbps	Upstream Mbps	Downstream Mbps	Upstream Mbps
1.X	42.88	10.24	55.62	10.24
2.0	42.88	30.72	55.62	30.72
3.0 (4 Ch)	+171.52	+122.88	+222.48	+122.88
3.0 (8 Ch)	+343.04	+122.88	+444.96	+122.88

Modulointitapa	Kaistanleveys, MHz	Symboli-nopeus, Msym/sec	Raaka datanopeus Mbps	Todellinen datanopeus, Mbps
64-QAM	8	6.952	41.71	~37
256-QAM	8	6.952	55.62	~50

Kuvio 1. Nopeuserot eri versioiden välillä. (Jaakohuhta 2010.)

Versiossa 3.0 kasvatettiin myös koaksiaalikaapelissa käytettävää taajuusaluetta. Paluukaistan taajuusalue korotettiin 5 - 42 MHz → 5 - 85 MHz. Tämä kasvattaa 200 Mbps potentiaalista kaistaa vanhaan taajuusalueeseen nähden. Koska uusi paluukaista ylittää vanhan menokaistan taajuusalueen (54 - 860 MHz), menokaistaa korotettiin 108 - 1000 MHz taajuusalueelle. (Jaakohuhta 2010.)

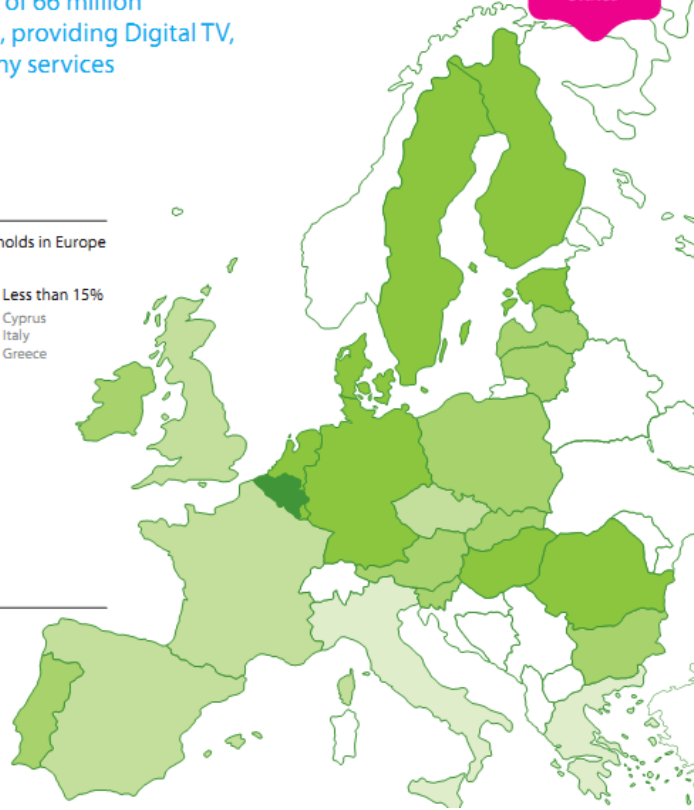
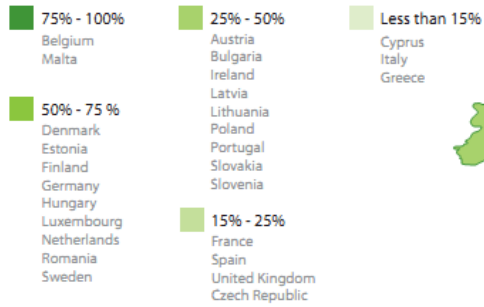
Vuonna 2010 pelkästään Euroopassa arvioitiin olevan 66 milj. taloutta kaapeli-tv-alueella. Suomessa arvioitiin yli 50 %:n talouksista sijaitsevan tällä alueella. Tämä tekee tekniikasta erittäin kilpailukykyisen muita nopeita internetyhteyksiä vastaan, sillä fyysinen kaapeliverkko on jo olemassa. (Cable Europe 2010.)

Cable Facts & Figures

Cable networks go into the home of 66 million customers in the European Union, providing Digital TV, Broadband Internet, and Telephony services

YE 2010 Data
Including All
EU 27 Member
States

Cable penetration: Cable customers vs total households in Europe



Kuvio 2. Euroopan kaapeli-tv-verkon levinneisyyskartta. (Cable Europe 2010.)

3 DOCSIS 3.0:N TOIMINTAPERIAATE

3.1 Yleistä toimintaperiaatteesta

DOCSIS on tekniikka, joka tarjoaa keinon välittää kaksisuuntaista IP-liikennettä operaattorin ja asiakkaan välillä. Liikennettä ohjaa CMTS-laite, joka sijaitsee operaattorin päässä. Asiakkaan päässä sijaitsee kaapelimodeemi, jota kutsutaan CM:ksi. CMTS kommunikoi kaapelimodeemin kanssa HFC-verkossa yhden tai useamman 8 MHz:n levyisellä kanavalla ja kaapelimodeemi kommunikoi CMTS:lle takaisin yhdellä tai useammalla 6,4 MHz:n levyisellä kanavalla (FDMA). Verkkoa, joka käyttää 8 MHz:n taajuuskaistaa kanavaa kohti, kutsutaan maailmalla EuroDOCSIS-verkoksi. Tämä johtuu siitä, että Euroopassa yleisesti käytetään tv-lähetyksiin 8 MHz:n kanavanippuja. Kyseistä tapaa kutsutaan PAL-formaatiksi. Amerikassa käytetään NTSC-formaattia, jossa kanavat on niputettu 6 MHz:n välein. (CableLabs 2011a, 9 - 11.)

Menokaista lähetetään kaapelimodeemille taajuusvälillä 108 - 1000 MHz. Menokaistan paketit kulkevat digitaalisesti pakatun RF-signaalin avulla käyttäen 64 tai 256 QAM-modulaatiota. Modeemi kommunikoi samalla periaatteella takaisin CMTS:lle taajuusvälillä 5 - 85 MHz käyttäen QPSK, 8, 16, 32, tai 64 QAM-modulointia. Mitä suurempaa modulaatiota käytetään, sitä nopeampi teoreettinen maksiminopeus saavutetaan, mutta samalla häiriönsietokyky kärsii. Toimintavarmuuden takaamiseksi DOCSIS 3.0 -laitteiden tulee tukea kaikkia vanhempia DOCSIS-spesifikaatioita. (CableLabs 2011b, 641.)

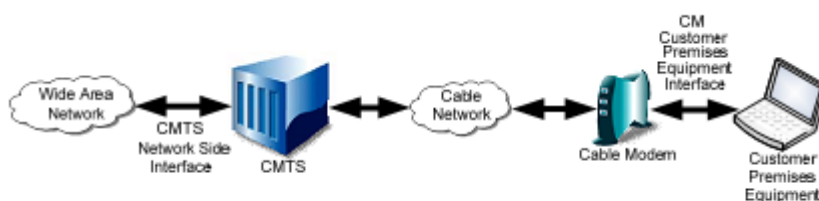


Figure 1-2 - Transparent IP Traffic Through the Data-Over-Cable System

Kuvio 3. DOCSIS-verkko yksinkertaistettuna. (CableLabs 2011a, 11.)

Koska samaan kaapeliin voi olla yhdistettynä tuhansia käyttäjiä, täytyy kaapelissa kulkeva data jakaa kaapelissa olevien käyttäjien kesken. Menokaista toimii broadcast-periaatteella, eli kaikki modeemit samassa solussa vastaanottavat CMTS:ltä samaa lähetystä. Käyttäjän kannalta kaapelimodeemiyhteys on siis aina jaettu ja operaattorin rakentama kapasiteetti jaetaan käyttäjiensä kesken. Periaatteessa siis yksi käyttäjä voi saada koko kapasiteetin käyttöönsä, jos muita käyttäjiä ei ole. (Akujuobi & Sadiku 2008, 203.)

Jokaiselle paketille CMTS sisällyttää MAC-tietoja (Media Access Control). MAC sisältää mm. tiedon, joka kertoo asiakkaan päässä olevalle kaapelimodeemille, kuuluuko kyseinen paketti sille. Jos paketissa oleva MAC-osoite täsmää modeemin MAC-osoitteeseen, niin data käsitellään, muuten se hylätään. Toisin sanoen CMTS on verkkoa ylläpitävä elin, joka määrää kaiken oleellisen verkon toiminnan kannalta. (Akujuobi & Sadiku 2008, 204.)

3.2 Kanavanvarausmenetelmät

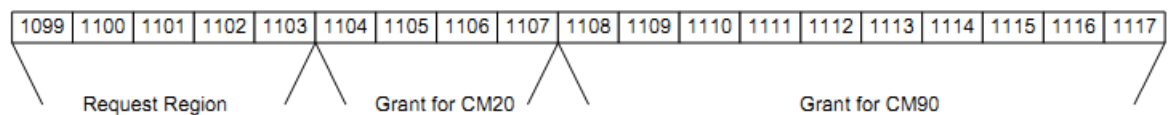
6,4 MHz:n paluukanavia DOCSIS 3.0 -versiossa on käytössä vähintään neljä samanaikaisesti. Koska paluukanaville varattu 5 - 85 MHz:n taajuusalue ei kuitenkaan riitä monellekaan 6,4 MHz:n kanavalle, täytyy kanavat jakaa kaapelimodeemien kesken käytettäväksi. Kanavia voidaan pilkkoa käyttämään pienempiä taajuusalueita, lisäten näin paluukanavien lukumäärää, mutta samalla kanavien maksimitiedonsiirtokapasiteetti pienenee. (Volpe 2009e.)

Paketin lähettäminen takaisin modeemilta CMTS:lle onkin paljon haasteellisempaa, sillä on sovittava, milloin ja millä tapaa yksittäinen modeemi voi lähettää dataa takaisin. CMTS:n lähettämät määrittelyviestit mahdollistavat kaapelimodeemien toiminnan samassa kaapeloinnissa käyttämällä TDMA (Time Division Multiple Access) tai/ja S-CDMA (Synchronous Code Division Multiple Access) kanavanvarausmenetelmää. CMTS lähettää kahden sekunnin väliajoin primaariselle menokanavalle UCD-viestin, joka kertoo kaapelimodeemille, mille loogiselle paluukanavalle se kuuluu ja kanavalla käytettävät asetukset. (Volpe 2009c.)

3.2.1 TDMA (A-TDMA)

TDMA mahdollistaa paluukaistan jakamisen monen käyttäjän kesken aikajakokanavointimenetelmällä. Se on kanavanvaraustekniikka, joka mahdollistaa monen käyttäjän käyttävän samaa radiotaajuutta vuorotellen ilman toisen käyttäjän häiritsemistä. CMTS jakaa paluukanavilla olevia aika-alueita staattisesti tai dynaamisesti tarpeen mukaan lähettämällä MAP-viestejä primaariselle menokanavalle kahden millisekunnin väliajoin. MAP-viesteistä kaapelimodeemit näkevät, milloin voi yrittää pyytää lähetysvuoroa. Täten kukin kaapelimodeemi saa oman aikavuoron datan lähettämistä varten pyytämällä sitä ensiksi (REQ). Tämän jälkeen CMTS antaa luvan käyttää paluukanavien tarjoamia kaistoja itsensä määrittelemän aikajakson ajan. Kaapelimodeemi lukee tämän tiedon uudesta MAP-viestistä. (Volpe 2009d.)

Tarkemmin sanottuna paluukanava on jaettu pieniin ”minipaikkoihin”. Yksittäiselle kaapelimodeemille annettu lähetysaika kertoo, kuinka monta paikkaa modeemi saa itselleen käytettäväksi. Lähetystä kutsutaan burstiksi, sillä modeemi lähettää vain pienen pätkän dataa kerralla. Osa minipaikoista on kuitenkin kaikkien käytettävissä, tämä alue on tarkoitettu kaapelimodeemien mahdollisille pyynnöille kaistankäytöstä sekä modeemien rekisteröitymiselle verkkoon. Aluetta kutsutaan Contention Slotiksi (CS). Tämän alueen käytön minimoimiseksi modeemi voi pyytää uutta lähetysvuoroa sille varatun lähetysvuoron aikana (Piggyback). Data Sloteiksi (DS) kutsutaan alueita, joille modeemit saavat lähetysvuoron pyydettyään sitä. (Gummalla 2001, 14 - 16.)



Kuvio 4. Minipaikat. (Gummalla 2001, 15.)

On kuitenkin otettava huomioon, että modeemin pyytäessä lähetysvuoroa voi tapahtua yhteentörmäys, sillä modeemit eivät voi tietää mikäli toinen modeemi yrittää pyytää lähetysvuoroa CMTS:ltä samaan aikaan. Tätä varten on kehitetty menetelmä: Modeemi määrittelee ensiksi itselleen ns. lähetysikkunan koon, jonka

se saa CMTS:ltä tulevilta MAP-viesteilä, tämän jälkeen kaapelimodeemi arpoo paikan CS:stä lähetysikkunalle. Jos tapahtuu yhteentörmäys, kaapelimodeemi kasvattaa lähetysikkunan kokoa kertomalla sen kahdella ja arpomalla sille uuden paikan CS:stä. Tätä suoritetaan silmukassa niin kauan kunnes pyyntö on onnistuneesti lähetetty tai yritysten lukumäärä ylittää määritellyn maksimiarvon. CMTS voi kompensoida kovaa lähetykspyyntöjen ruuhkaa kasvattamalla CS:n kokoa (load balancing). Huomioitava seikka on myös se, että DOCSIS 3.0 -versiossa kaapelimodeemit voivat lähettää pyyntöjään useammalla eri kanavalla, mikä helpottaa pyyntöjen onnistumista. (Wei-Tsong, Kuo-Chih, Chin-Ping & Kuo-Kan 2006.)

3.2.2 S-CDMA

S-CDMA (Synchronous-Code Division Multiple Access) -teknologia tarjoaa mahdollisuuden lähettää dataa yksittäiselle kanavalle samalla TDMA-aikajaksolla samanaikaisesti. S-CDMA voi olla myös jatkuvassa käytössä ilman TDMA-aikajaksotusta. Yksittäinen lähetys pidetään erossa muista määrittelemällä sille oma koodinsa, jonka CMTS tunnistaa omaksi lähetykseksi. Tämä mahdollistaa jopa 128:n eri kaapelimodeemin lähettämään dataa samanaikaisesti kanavalle, sillä käytössä on 128 erilaista hajautuskoodia. Ennen kuin data lähetetään, se satunnaistetaan siten, että kunkin burstin data hajautetaan käyttäen yhtä 128:sta hajautuskoodista. Tämän jälkeen kun data on hajautettu ja lähetetty kanavalle, se muistuttaa enemmän melua kuin tavanomainen TDMA-signaali. Levitysalgoritmi on tehty sellaisella tavalla, että kun CMTS vastaanottaa kanavalta tulevaa dataa, niin se pystyy erottelemaan kaapelimodeemit toisistaan ja täten kokoamaan hajautetun datan eheäksi. Samanaikainen lähetys vähentää odotusaikaa REQ-MAP-jaksoissa, eli samalla yhteyden latenssi vähenee. Lisäksi S-CDMA ei tarvitse TDMA:n käyttämää lähetyksen varoaikaa (guard time), joka parantaa verkon suorituskykyä. (Volpe 2009a.)

S-CDMA-kanavanvarausmenetelmä sietää huomattavasti paremmin kaapelissa esiintyvää ulkoista häiriötä, tarkemmin sanottuna impulssiääntä, jota esiintyy taajuuskaistan alhaisella RF-spektrillä (5 - 20 MHz). Syy miksi S-CDMA sietää

häiriöitä paremmin johtuu siitä, että sen lähettämä data kulkee hajautettuna pitkän kanavaa. Impulssiäänien tullessa kaapeliin, se todennäköisemmin sekoittaa vain satunnaisia toisistaan riippumattomia bittejä lähetyksestä. Tämä tekee virheenkorjauksesta huomattavasti helpompaa. (Volpe 2009a.)

Jos S-CDMA-kanavanvarausmenetelmää käyttävässä DOCSIS-verkossa on vanhoja kaapelimodeemeja (1.x), jotka eivät tue kyseistä kanavanvarausmenetelmää, se kasvattaa MAC-viestien määrittelytietojen määrää. Tällöin CMTS joutuu yhdistämään S-CDMA- sekä TDMA-modeemeja samalle paluukanavalle, laskien verkon maksimikapasiteettia. Vaikka tekniikka mahdollistaa sen että 128 modeemia lähettää dataa yhdelle paluukanavalle samanaikaisesti, se ei ole suositeltavaa sillä modeemien yhdessä synnyttämä RF-teho voi häiritä HFC-verkon toimintaa. Ideaalinen toimintaympäristö S-CDMA:lle on 5 - 20 MHz:n taajuusalue ja kaapelimodeemien vähäinen lukumäärä solussa. (Volpe 2009a.)

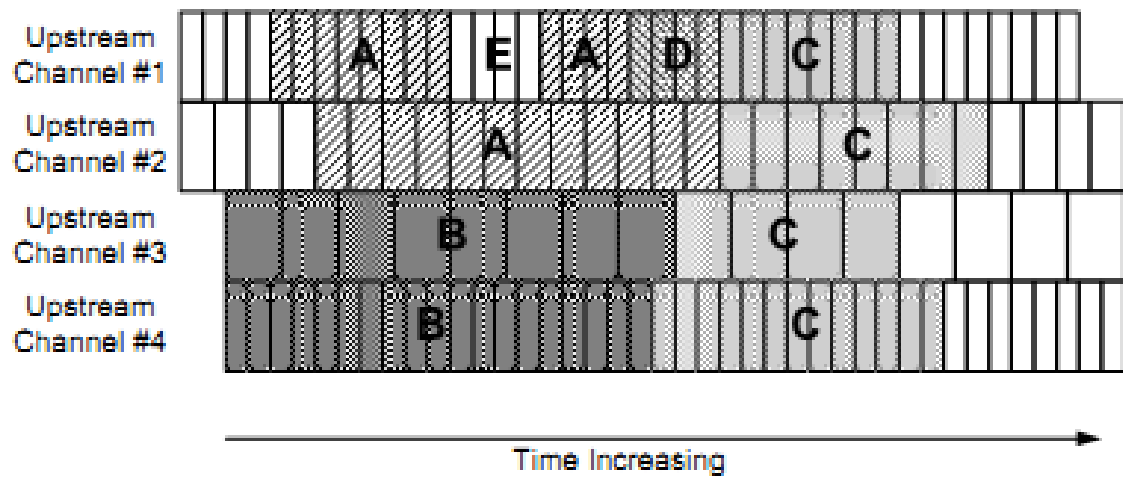
S-CDMA vahvuudet ovat:

- isompi paluukaistan kapasiteetti (tukee 128 QAM-modulointia)
- parempi tehokkuus kaistankäytössä (ei guard timeä)
- parempi häiriönsietokyky (suositellaan käytettäväksi matalilla taajuusalueilla). (Volpe 2009a.)

3.3 Kanavien niputus ja dynaaminen taajuusjako

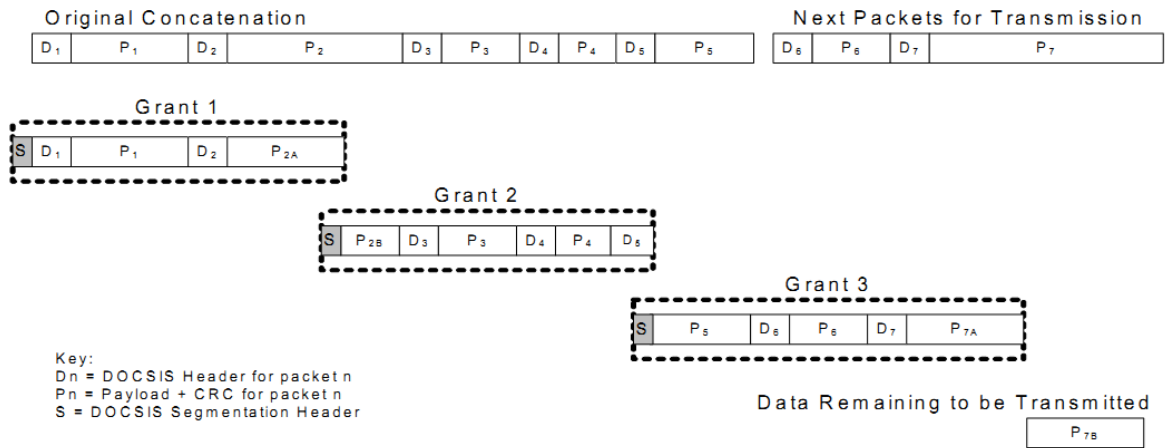
DOCSIS 3.0 -spesifikaatio määrittelee, että jokaisen laitteen on tuettava vähintään neljää kanavaa molempiin suuntiin samanaikaisesti. Varsinaista käytettävien kanavien ylärajaa tekniikalle ei ole määritelty. Tällöin sekä CMTS että modeemit voivat välittää dataa keskenään useammalla kanavalla samanaikaisesti nostattaen moninkertaisesti meno- sekä paluukaistan maksimikapasiteettia. (CableLabs 2011a, 148.)

Kaikki paketit lähetetään kokonaisena valitulle menokanavalle, mutta CMTS jakaa niitä dynaamisesti eri kanaville. Täten paketit eivät välttämättä tule modeemille samassa järjestyksessä. Varmistaakseen pakettien saapumisen perille oikeassa muodossa lähetetyt paketit numeroidaan järjestyksellä, jotta modeemi voi vastaanottaessaan koota ne oikeaan järjestykseen (DSIDs). Kaapelimodeemi lähettää CMTS:lle dataa perinteisesti, eli pyytämällä ensiksi lähetysvuoroa ja saatuaan sen, lähettää dataa takaisin. DOCSIS 3.0 -versiossa dataa kuitenkin voidaan lähettää monella eri kanavalla samanaikaisesti, lisäksi kanavilla voi olla toisistaan poikkeavat yhteysasetukset. CMTS määrittelee modeemeille annettavat alueet kaikille kanaville käyttämällä MAP-tekniikkaa. (White 2010, 3-5.)



Kuvio 5. Samat kirjaimet kuvaavat saman modeemin lähetystä. (White 2010, 21.)

CMTS antaa alueita käyttöön modeemeille ilman pakettikokojen tietoja, sillä modeemit voivat pilkkoa lähetettävät paketit pienempiin osiin. Modeemi lisää jokaiseen lähettämäänsä pilkottuun pakettiin järjestyksellisen ja osoitteen ensimmäiseen pilkottuun osioon. (White 2010, 22.)



Kuvio 6. Lähetettävän paketin pilkkominen osiin. (White 2010, 22.)

Eli lähettäessään dataa useammalle kanavalle, mutta samalle modeemille, CMTS jakaa dataa dynaamisella taajuusjaolla. Tarpeen mukaan useampi kanava voi olla täysin yhden modeemin käytettävissä. Tämä ei kuitenkaan toteudu käytännössä koskaan. DOCSIS 3.0 -tekniikka mahdollistaa myös sen, että jos yksi RF-kanava ei toimi, voidaan verkkoa käyttää edelleen jäljellä olevilla ehjillä kanavilla. Se tekee DOCSIS 3.0 -versiosta vanhempiin nähden huomattavasti vikoja sietävämmän. (Pulurikkal 2010, 29 - 32.)

4 DOCSIS 3.0 -VERKON TOPOLOGIA

4.1 Yleistä topologiasta

DOCSIS-verkko koostuu CMTS-laitteesta, HFC-verkosta ja kaapelimodeemista. CMTS-laite välittää kaksisuuntaista IP-liikennettä HFC-verkon yli kaapelimodeemille. CMTS:n takana toimii operaattorin ydinverkko, jossa sijaitsee verkonvalvonnan komponentti (NMS) ja palveluntarjontajärjestelmät. Kaapelimodeemin (CM) takana toimii asiakkaan kotiverkko. Koska DOCSIS 3.0 tukee IPv6-versiota, modeemiin voidaan kytkeä IPv4- sekä IPv6-päätelaitteita. (CableLabs 2011a, 10 - 11.)

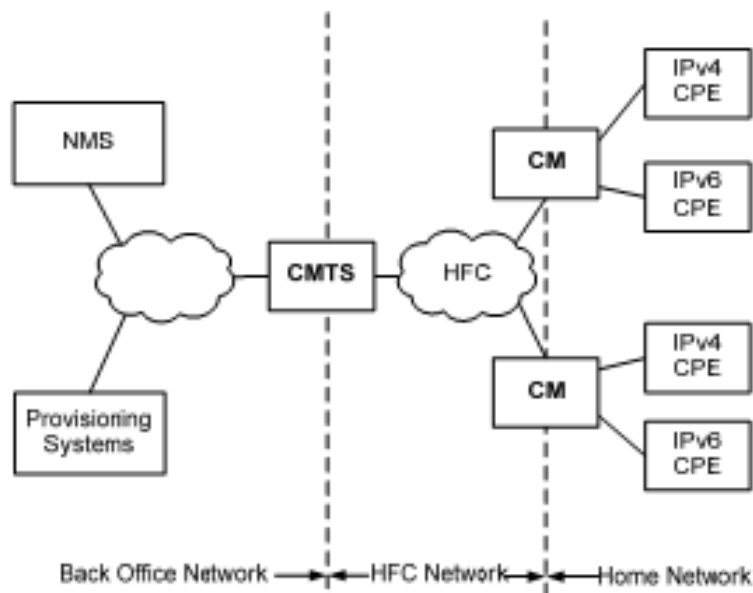


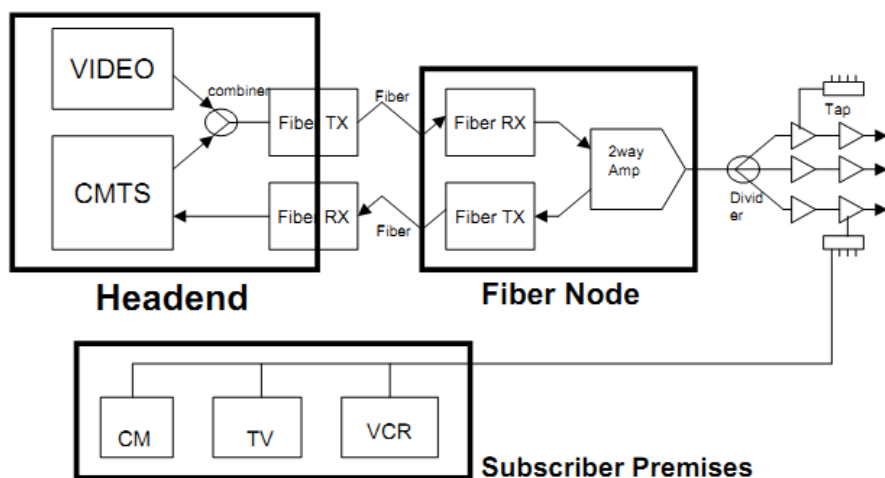
Figure 1-1 - The DOCSIS Network

Kuvio 7. DOCSIS-verkko kokonaisuudessaan. (CableLabs 2011a, 10.)

Palveluntarjontajärjestelmiin kuuluvat operaattorin yleiseen ylläpitoon kuuluvat elementit: DHCP, määrittelytiedostot, ohjelmistopäivitykset, varmenteiden hallinta ja aikaprotokollapalvelin. NMS on verkonvalvonnan komponentti, joka huolehtii ja valvoo verkossa toimivien laitteiden toimintaa (CMTS ja CM). Palveluntarjontajärjestelmät sekä NMS voivat sijaita fyysisesti operaattorin verkossa missä tahansa. (CableLabs 2011a, 10 - 11.)

4.2 HFC-verkko

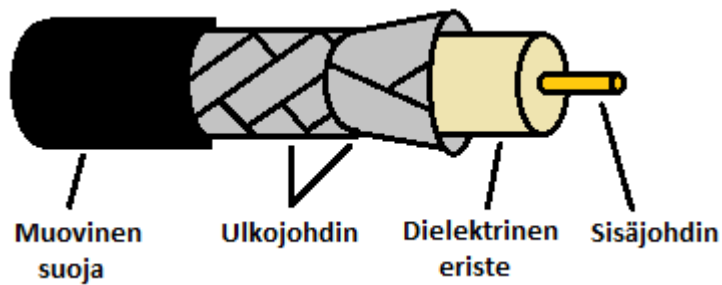
HFC-verkko mahdollistaa datan liikkumisen CMTS:n ja kaapelimodeemin välillä pitkiäkin matkoja. Operaattorin aluejakamossa CMTS:n lähettämä IP-liikenne yhdistetään TV-lähetykseen. Yhdistetty signaali matkaa kuidun ja kuituvahvistimien avulla pitkiäkin matkoja lähemmäksi asiakasta. Kuitenkin suositeltu maksimietäisyys CMTS:n ja kaapelimodeemin välillä HFC-verkossa on 160 km. Pitempi matka aiheuttaa liikaa viivettä vaikeuttaen CMTS:n ja kaapelimodeemin välistä synkronisointia. (CableLabs 2011a, 104.) Vasta asiakkaan lähellä kuidussa kulkeva optinen signaali muunnetaan RF-spektriin koaksiaalikaapeliin, haaroitetaan ja kytketään asiakkaille. Vanha kaapeli-tv-verkko toimii pelkällä koaksiaalikaapelilla, joka vaatii huomattavasti enemmän signaalin vahvistimia kuin valokuituverkko. Näitäkin verkkoja voidaan käyttää DOCSIS 3.0 -spesifikaation mukaan, jos vain vaadittavat taajuusalueet ovat käytettävissä ja verkko on kaksisuuntaistettu. (Akujuobi & Sadiku 2008, 201 - 204.)



Typical fiber node supports about 2000 subscribers

Kuvio 8. HFC-verkko. (Gummalla 2001, 2.)

Koaksiaalikaapeli on suunniteltu käytettäväksi suuritaajuisen signaalin siirtoon. Aikaisemmin sitä käytettiin sen vuoksi, ettei kierretystä parikaapelista osattu tehdä tarpeeksi tasalaatuista. Kaapelin sisä- ja ulkojohtimien välillä on suuri kapasitanssi, joka johtaa siihen, että signaali vaimenee koaksiaalikaapelissa paljon enemmän kuin parikaapelissa. (Voipio & Uusitupa 2009, 82.)



Kuvio 9. Koaksiaalikaapeli. (Voipio & Uusitupa 2009, 82.)

4.3 CMTS

CMTS on DOCSIS-verkon toiminnan sydän, joka välittää paketit kaapelimodeemeille. Se toimii myös ns. verkon organisoijana, joka päättää milloin ja millä tapaa on kunkin kaapelimodeemin vuoro lähettää dataa takaisin verkkoon. Verkon ylläpitojärjestelmällä (OSS) voidaan kuitenkin määrittellä koko CMTS-verkon toimintaa. OSS sisältää mm. diagnostiikkalokin, tuen IP-protokollan seuraamiseen, kapasiteetin hallinnan ja laajennetun signaalinlaadun valvonnan. (Jaakohuhta 2010.)

Verkon toiminnan kannalta CMTS lähettää primaariselle menokanavalle seuraavanlaisia MAC-määrittelyviestejä:

- UCD (kertoo kaapelimodeemille mille paluukanaville se kuuluu)
- MAP (ilmoittaa kaapelimodeemille lähetysvuoroista)
- SYNC (aikasynkronointiviesti, joka pitää modeemit täsmällisesti ajastettuna)
- MDD (kertoo kaapelimodeemille primaarisen menokanavan). (Volpe 2012.)

Näitä viestejä jokainen kaapelimodeemi tarvitsee toimiakseen DOCSIS-verkossa. Helpottaakseen kaapelimodeemien kytkeytymistä verkkoon, CMTS lähettää MDD-viestejä kaikille menokanaville tasaisin väliajoin. MDD-viestien hyöty ilmenee siinä, kun modeemi muodostaa yhteyden toissijaiselle menokanavalle kytkeytyessään verkkoon. Viestin saatuaan modeemi tietää heti primaarisen menokanavan johon

kytkeytyä. MDD-viestejä voidaan myös käyttää verkon kuorman tasapainottamiseen (load balancing). (Volpe 2012.)

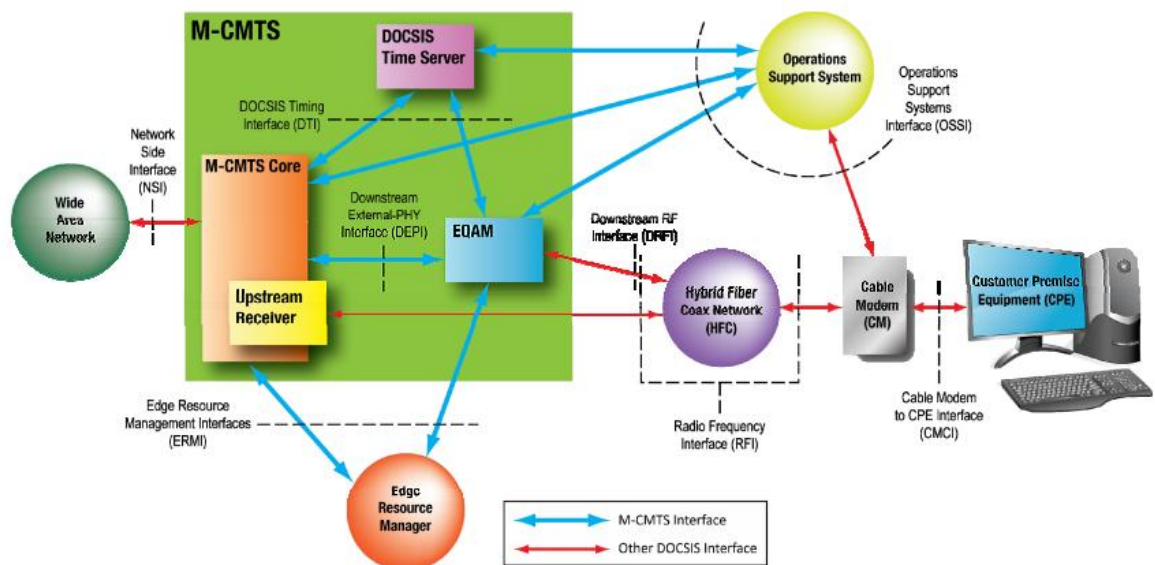
DOCSIS 3.0 esittelee uutena ominaisuutena modulaarisen CMTS:n (M-CMTS). Siinä CMTS:n eri ominaisuudet sijaitsevat fyysisesti erillään, poiketen perinteisestä integroidusta CMTS:stä (I-CMTS), jossa kaikki ominaisuudet ovat samassa tilassa. M-CMTS mahdollistaa monipuolisemman DOCSIS-verkon käyttöönoton. Erikoisuutena M-CMTS:ssä on kanavien niputus, joka hoidetaan yhdessä erillisen eQAM-laitteen kanssa. Perinteinen CMTS:n linjakortti tarjoaa primaarisen menokanavan, joka sisältää kaikki MAC-kerroksen protokollatiedot mahdollistaen kaapelimodeemien kanssa kommunikoinnin. Linjakortille kytketään myös kaikki kaapelimodeemeilta tulevat paluukanavat. M-CMTS:ltä on yleensä erillinen Gigabit Ethernet -liitin, joka kommunikoi suoraan eQAM:in kanssa. Täten eQAM tuottaa kaikki ei-primaariset kanavat. Tarvittaessa eQAM voidaan määrittellä tuottamaan myös primaarinen menokanava. CMTS:n ja eQAM:in välinen liikenne täytyy tehdä erittäin tarkan ajoituksen kanssa. Ajoitus hoidetaan erillisen DTI-ajoituksen avulla, joka sijaitsee fyysisesti erillisellä palvelimella. (Volpe & Miller 2011.)

M-CMTS-ydin ja eQAM voivat siis sijaita fyysisesti kaukana toisistaan. Tämä mahdollistaa sen, että M-CMTS-ydin voi sijaita operaattorin ydinverkossa ja eQAM:it jakamoissa, joissa videon syöttäminen tapahtuu kaapeli-tv-verkkoon. Tämänkaltaisessa käyttöympäristössä kuitenkin voidaan tarvita GPS-tekniikkaa DTI-ajoituksen käytössä, jotta voidaan varmistua vakaasta ja tarkasta ajoituksesta M-CMTS-ytimen sekä eQAM:ien välillä. (Volpe & Miller 2011.)

eQAM-laite on muunnelma Video QAM -laitteista, joita käytetään VOD-palvelun tuottamiseen (Video On Demand). eQAM:ia voidaan myös käyttää SDV-palvelun tuottamiseen (Switched Digital Video). Edge Resource Manager (ERM) tarjoaa mahdollisuuden hallita eQAM:in käytettävissä olevia resursseja M-CMTS-ytimen kautta. Se mahdollistaa resurssien jakamisen DOCSIS-verkon ja VOD-palvelujen kesken. M-CMTS myös mahdollistaa menokanavien lisäämisen ilman paluukanavien lisäämistä ja MAC-osoitteen vaihtamista. Tämä johtaa siihen, että operaattorit voivat tarjota videopalveluita DOCSIS-verkon yli huomattavasti halvemmalla vanhaan VOD-tekniikkaan nähden. Vanhat linjakortit pakottivat

operaattorit lisäämään yhden paluukanavan yhtä menokanavaa kohden, mutta M-CMTS-arkkitehtuuri poisti tämän ongelman. (Vecima 2010.)

M-CMTS:n huonoksi puoleksi voidaan lukea huomattavasti suurempi kaapeloinnin tarve I-CMTS:n nähden. Koska M-CMTS:n komponentit sijaitsevat fyysisesti eri paikoissa, tarvitsevat ne myös enemmän varmistusta vikojen varalta. Jos esim. DTI-ajotuspalvelin kaatuu syystä tai toisesta, eikä varmistusta ole, koko M-CMTS-verkko kaatuu. (Volpe & Miller 2011.)



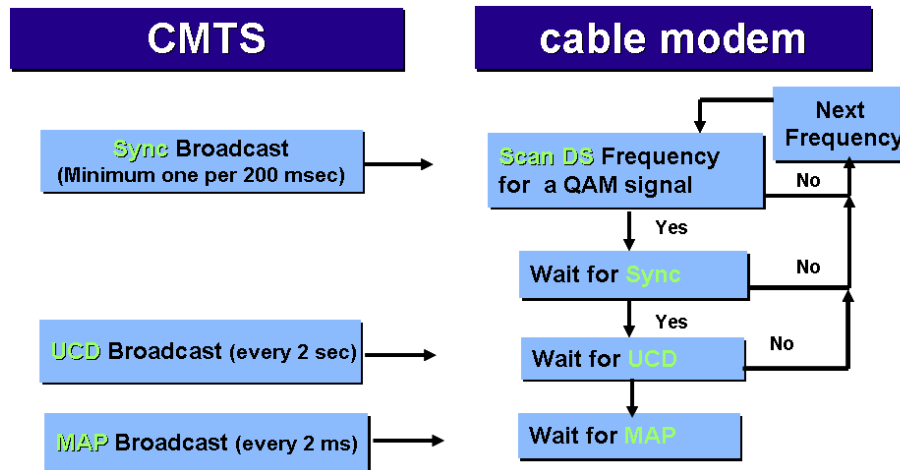
Kuvio 10. M-CMTS-arkkitehtuuri. (Vecima 2010.)

4.4 Kaapelimodeemi (CM)

Kaapelimodeemi on laite, joka yhdistää operaattorin DOCSIS-verkon asiakkaan kotiverkkoon. Uudet DOCSIS 3.0 -spesifikaatiota noudattavat kaapelimodeemit osaavat käyttää IPv4- sekä IPv6-tekniikoita. (Volpe 2012.)

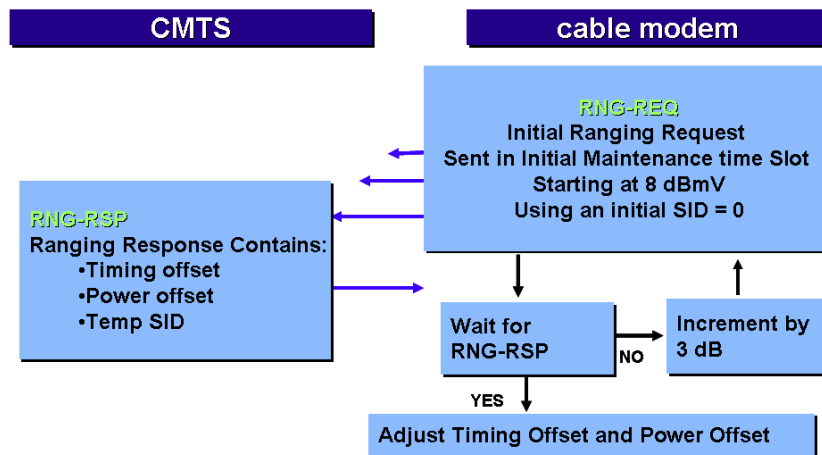
DOCSIS 3.0 -versiossa kaapelimodeemin yhteyden avaaminen tapahtuu menetelmällä, jossa modeemi skannaa potentiaalisia menokanavia yhteydelle. Oletetaan, että modeemi löytää aluksi ei-primaarisen menokanavan. Modeemi tällöin lukee kanavalle saapuneesta MDD-viestistä primaarisen menokanavan, jonka avulla modeemi voi suoraan kytkeytyä oikealle kanavalle. (Volpe 2012.) CMTS lähettää 10.24 MHz:n referenssikelloajoitusviestiä primaariselle

menokanavalle, jonka perusteella kaapelimodeemi regeneroi paikallisen 10.24 MHz:n aikakellon (SYNC). Synkronisoinnin jälkeen modeemi odottaa UCD- sekä MAP-viestejä, joista modeemi saa käytettävissä olevien paluukanavien tiedot. (Volpe 2009b.)



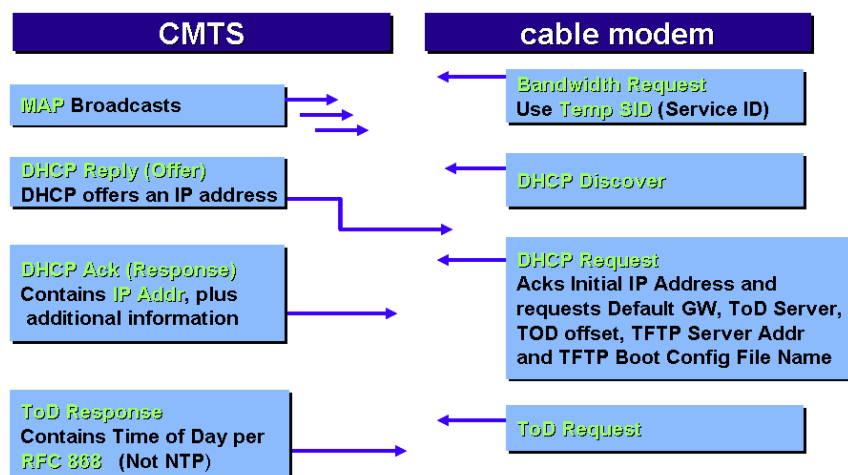
Kuvio 11. Kaapelimodeemin alustus vaiheittain 1. (Volpe 2009b.)

Kun kaikki edellä mainitut tiedot on saatu, modeemi aloittaa ensimmäistä kertaa yhteydenottoyrityksen. Jos modeemi ei saa CMTS:ltä vastausta, niin se kasvattaa lähetystehoja 3 dB:llä sekä tekee osiossa 3.2.1 mainitun lähetyssikkunan koon kasvattamisen ja uudelleenarpomisen ikkunan paikalle. Tätä suoritetaan silmukassa niin kauan kunnes pyyntö on onnistuneesti lähetetty. Saatuaan vastauksen CMTS:ltä, modeemi saa CMTS:ltä korjausarvot yhteyden optimaaliseen toimintaa varten. (Volpe 2009b.)



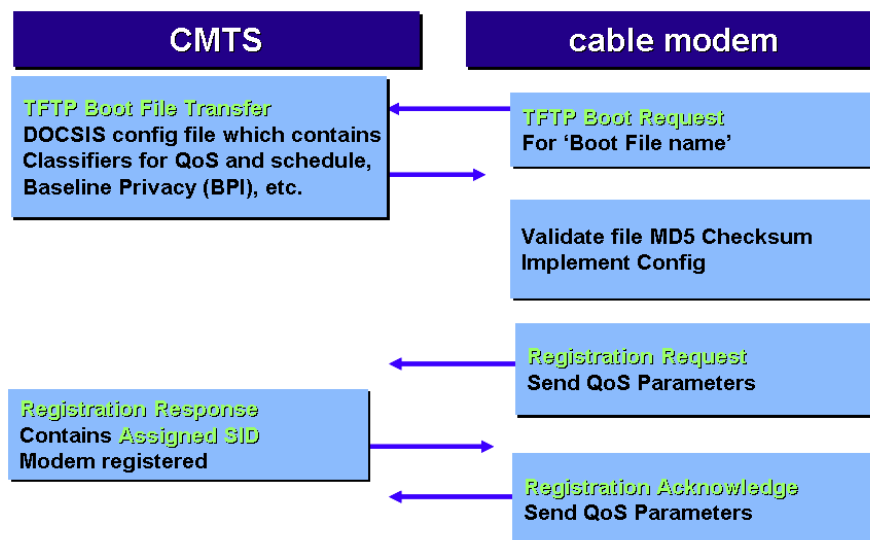
Kuvio 12. Kaapelimodeemin alustus vaiheittain 2. (Volpe 2009b.)

Kaapelimodeemin saatua yhteysparametrit CMTS:ltä DOCSIS 3.0 -versiossa on mahdollista käyttää EAE-salausta (Early Authentication and Encryption), joka on erittäin suositeltavaa. Se auttaa estämään ei-hyväksytyjen modeemien kytkeytymisen DOCSIS-verkkoon modeemien rekisteröintivaiheessa. Kuitenkin jos modeemien kytkeytyminen linjalle aiheuttaa ongelmia operaattorille, todennäköinen vianaiheuttaja on EAE-salaus. Modeemi lukee MDD-viestistä, onko EAE käytössä. EAE:stä riippumatta modeemi aloittaa tässä vaiheessa varsinaisen Internet-yhteyden luonnin pyytämällä itse yhteyden tarvitsemat tiedot. (Volpe 2012.)



Kuvio 13. Kaapelimodeemin alustus vaiheittain 3. (Volpe 2009b.)

Saatuana TFTP-tiedoston, joka sisältää asiakkaan yhteydessä käytettävän nopeuden sekä yhteystyyppin QoS-arvot, modeemi laskee TFTP-tiedostossa olevan MD5-tarkistussumman ja lähettää arvot takaisin CMTS:lle. Tässä vaiheessa suoritetaan myös BPI+-salauksen luonti, jonka merkityksestä kerrotaan tarkemmin osiossa 5.4. Jos MD5-tarkistussumma täsmää CMTS:n vaatimaan arvoon, CMTS hyväksyy kaapelimodeemin verkkoon ja antaa modeemille oman SID-arvon, joka on modeemin oma tunnistenumero. Modeemi kuittaa tämän ja sen jälkeen modeemi on valmis käyttämään Internet-yhteyttä. Onnistuneen yhteyden alustuksen jälkeenkin kaapelimodeemi suorittaa vähintään 30 sekunnin välein ranging-prosessin, joka synkronoi modeemin toimimaan DOCSIS-verkossa. (Volpe 2009b.)

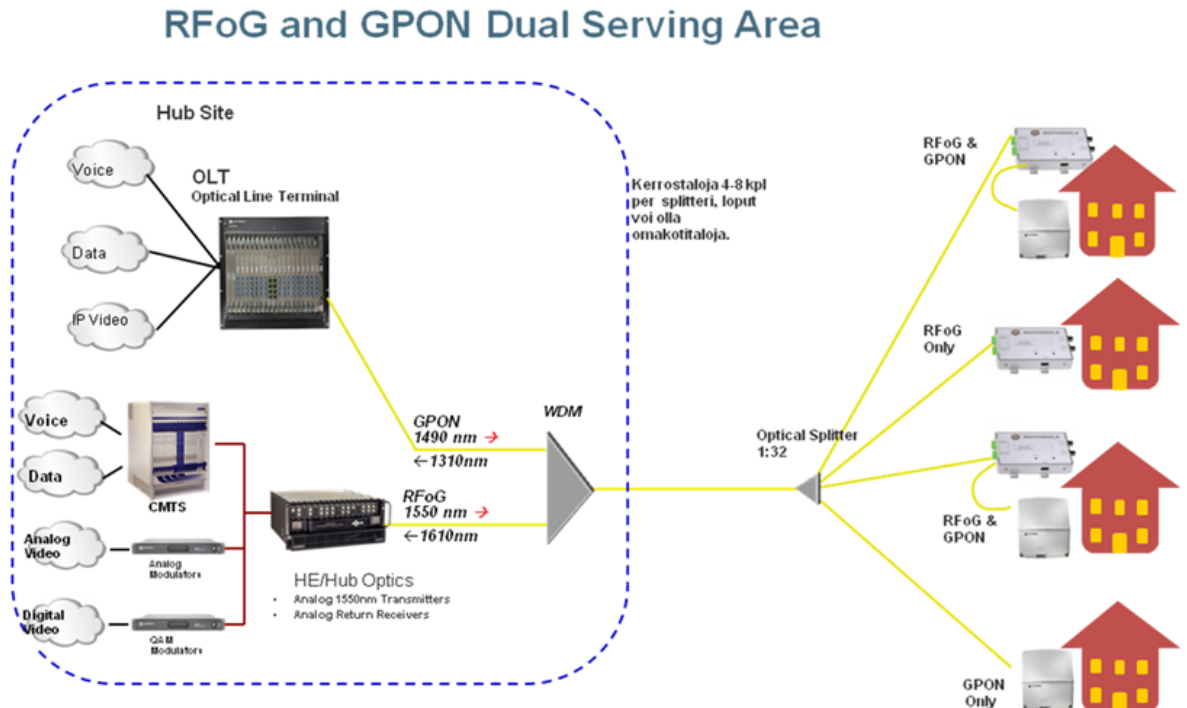


Kuvio 14. Kaapelimodeemin alustus vaiheittain 4. (Volpe 2009b.)

4.5 RFoG-tekniikka

RFoG-tekniikka on uusi teknologia, joka mahdollistaa DOCSIS-verkon RF-spektrin siirtämisen täysin kuidun varassa. RFoG:ia käytetään lähinnä FTTB-sovelluksissa. Niissä kiinteistön jakamoon saapuvassa kuidussa kulkeva data muutetaan RF-spektriiksi erillisellä minisolmulaitteella (mini node), josta se syötetään kiinteistön omaan koaksiaaliverkkoon. Kuidussa kulkeva liikenne toteutetaan WDM-

menetelmällä, jossa eri signaalit käyttävät eri aallonpituutta. Tämä mahdollistaa RFoG- ja GPON-tekniikan samanaikaisen toiminnan, sillä kyseinen kuituverkko tukee molempia standardeja samanaikaisesti. (Anvia 2011.)



Kuvio 15. RFoG ja GPON yhdessä. (Anvia 2011.)

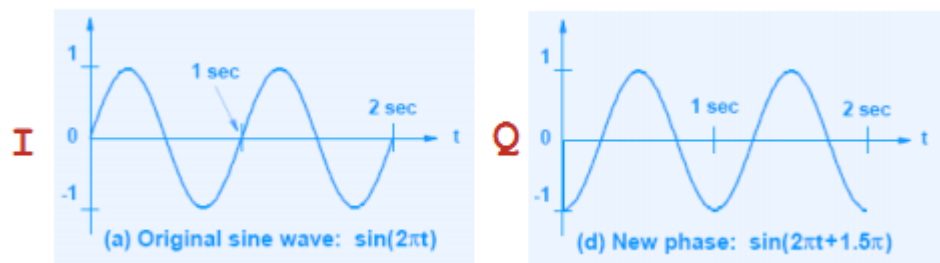
RFoG-tekniikka tuo mukanaan monia parannuksia vanhempaan HFC-verkkoon nähden. Koska kuitu tuodaan suoraan kiinteistöön, verkko ei tarvitse niin paljon aktiivisia laitteita, lisäksi kuidussa kulkeva signaali on paremmin suojassa häiriöiltä. Tämä mahdollistaa helpomman matalien taajuuksien käyttöönoton (5 - 15 MHz) verraten vanhaan HFC-verkkoon. Verkko kuitenkin toimii käytännön tasolla täsmälleen samalla lailla kuin perinteiset DOCSIS-verkot. (Teleste 2011.)

Tulevaisuuden kannalta RFoG-tekniikan hyödyntäminen on operaattorille hyödyllistä, sillä verkko tarjoaa paremman skaalautuvuuden tulevaisuuden PON-sovelluksille. Kuituverkon tukiessa samanaikaisesti RFoG:in ja PON:in standardeja operaattorin on helppo siirtyä RFoG:sta täydellisen PON-verkon käyttöön. (Teleste 2011.)

5 DOCSIS 3.0:N OMINAISUUKSIA

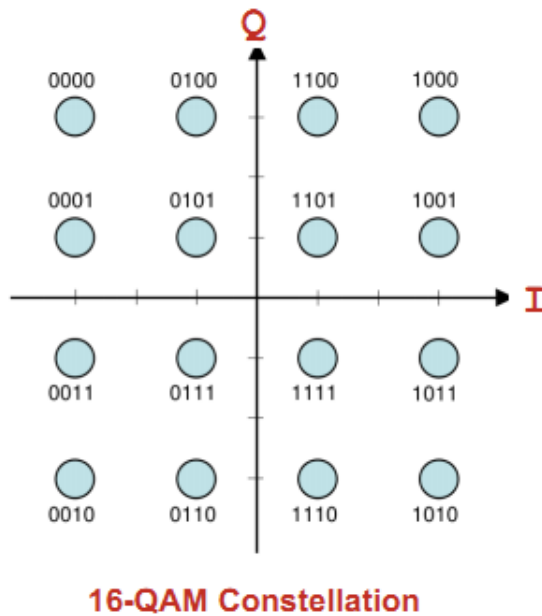
5.1 Modulaatio

Modulaatiolla tarkoitetaan keinoa välittää dataa siirtotien yli esim. radioaaltojen välityksellä. Kuvitellaan kaksi siniaaltoa I ja Q, joiden taajuus sekä amplitudi ovat samat, mutta ne kulkevat eri tahtia. Jos toisen tahtia muutetaan toiseen nähden, tällöin muuttuu I:n ja Q:n välinen vaihe-ero. Muuttamalla vaihe-eroa ja amplitudia (signaalin huippukorkeus) voidaan luoda uniikkeja yhdistelmiä, joita kutsutaan symboleiksi. (Chapman 2008.)



Kuvio 16. Siniaallot. (Chapman 2008.)

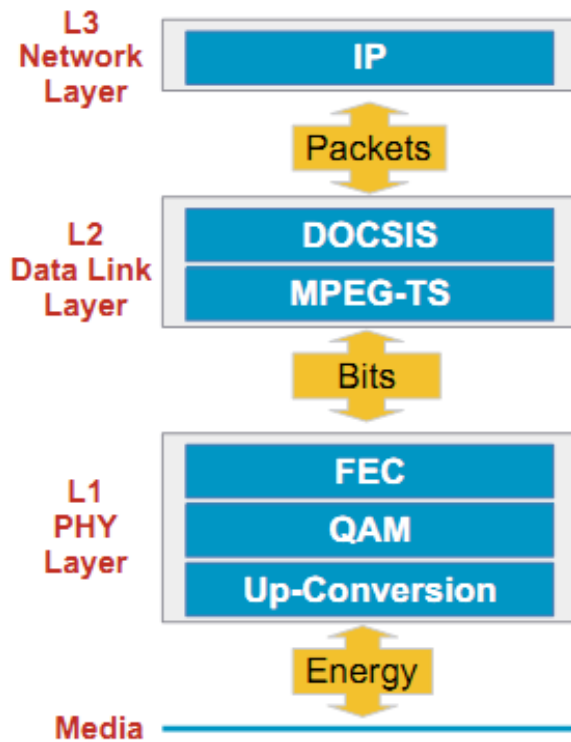
Symboleilla voidaan kuvata bittiarvoa. 16 QAM-modulaatio sisältää siis 16 uniikkia symbolia, joista jokainen pitää sisällään neljän bitin mittaisen arvon. 256 QAM-modulaation symbolit pitävät sisällään jo kahdeksan bitin mittaisen arvon. Mitä suurempaa modulaatiota käytetään, sitä suurempi määrä bittejä saadaan välitettyä samassa aikajaksossa, mutta samalla symboleja on vaikeampi erottaa toisistaan. Suurella modulaatiolla tapahtuu siis helpommin bittivirheitä kuin pienemmällä. DOCSIS 3.0 -versio tukee menosuuntaan 64 ja 256 QAM-modulointia. Paluusuuntaan 3.0-versio tukee QPSK, 8, 16, 32, tai 64 QAM-modulointia. (Chapman 2008.)



Kuvio 17. 16 QAM-modulaation konstellaatio, huomaa Q ja I. (Chapman 2008.)

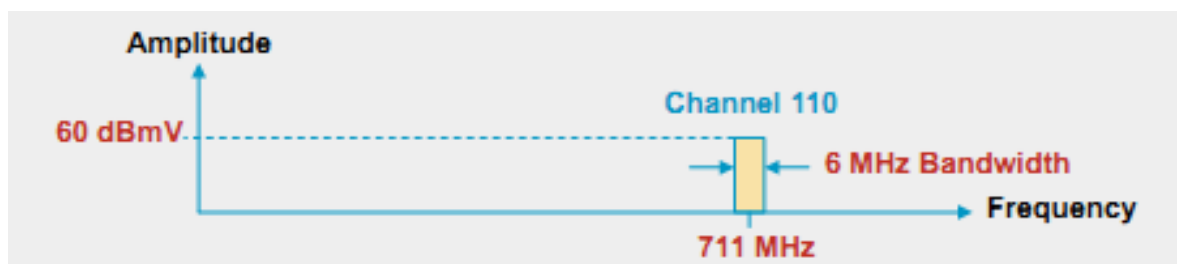
5.2 OSI-malli

DOCSIS-verkko toimii OSI-mallin (Open Systems Interconnection Reference Model) kolmessa kerroksessa. IP-liikenne, joka toimii kolmannella kerroksella (verkkokerros), tarkoittaa ns. yleistä internet-liikennettä, jota jokainen laite ymmärtää. Varsinainen DOCSIS-tekniikka alkaa kerrokselta kaksi (datakerros), jossa IP-paketit muunnetaan DOCSIS-verkossa toimivaan muotoon. Itse data DOCSIS-verkossa liikkuu MPEG-TS-kehyksissä. Tässä vaiheessa IP-liikenteen data on muunnettu varsinaiseen bittimuotoon, josta se siirretään kerrokselle yksi (fyysinen kerros). Kerroksella yksi bittivirtaan lisätään virheenkorjausbitit (FEC), moduloidaan valitulla QAM-modulaatiolla ja viimein data muunnetaan laitteen sisällä olevasta taajuudesta RF-taajuudelle (Up-Conversion). Lopuksi data lähetetään kaapeliverkkoon (muunnetaan energiaksi). Datan vastaanottaminen tapahtuu vastakkaisessa järjestyksessä. (Chapman 2008.)



Kuvio 18. DOCSIS ja OSI-malli. (Chapman 2008.)

Energialla kuvataan montaa asiaa: Se kuvaa kuinka paljon voimaa signaalilla on (amplitude), millä taajuusalueella se sijaitsee (frequency) ja kuinka suurella taajuusalueella signaali sijaitsee (bandwidth) (Chapman 2008).



Kuvio 19. Energia. (Chapman 2008.)

5.3 Protokollat

Protokolla tarkoittaa liikennöivien laitteiden välistä keskustelusäännöstöä. Koska tietoliikennejärjestelmät sisältävät monia eri toimintoja, tarvitaan myös monia

erilaisia protokollia. Yleensä protokollat yhdessä muodostavat käyttäjälle näkyvän palvelun. Protokolla on säännöstö, jota kahden tai useamman laitteen on noudatettava, jotta niiden välinen yhteys olisi mahdollinen. Täten myös DOCSIS-tekniikassa tarvitaan useita protokollia toimimaan yhtä aikaa, jotta laitteet voisivat keskustella keskenään. Yhdessä nämä protokollat muodostavat protokollapinon. (CableLabs 2011b, 291.)

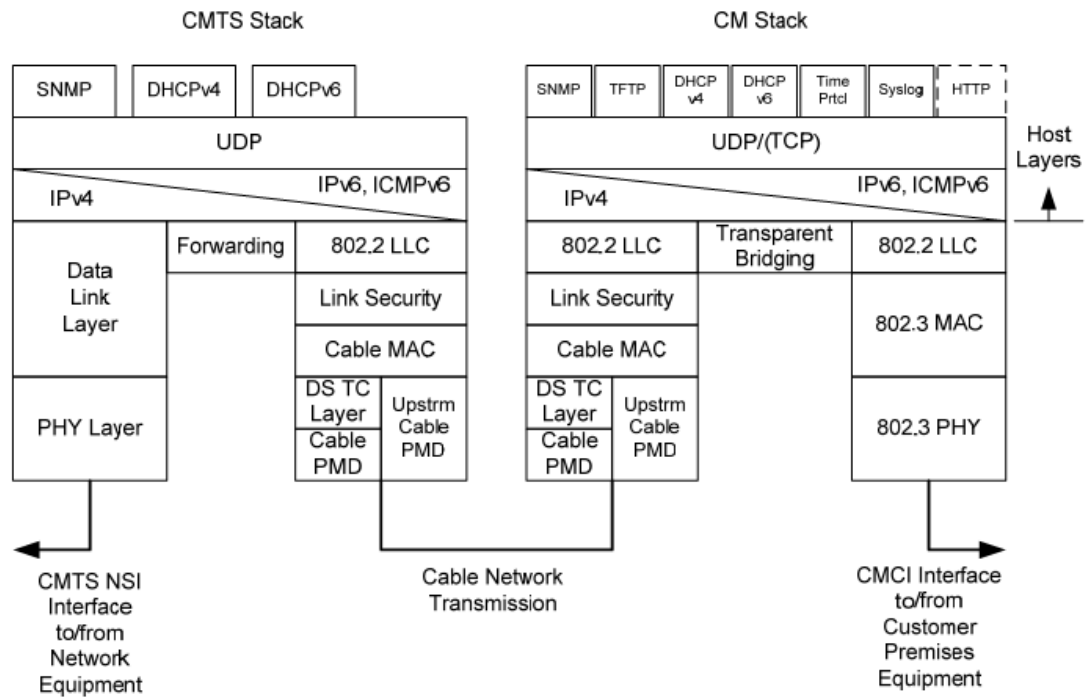


Figure 9-1 - DOCSIS Protocol Stacks²⁴⁴

Kuvio 20. DOCSIS-protokollapinot. (CableLabs 2011b, 291.)

5.4 Turvallisuus

DOCSIS 3.0 -versio parantaa verkon turvallisuutta vahventamalla vanhan spesifikaation verkossa tapahtuvaa DES-salausta paljon vahvempaan AES-salaukseen. DOCSIS-verkko on kuitenkin erittäin haavoittuvainen erilaisille hyökkäyksille ja hakkeroinnille, sillä verkko on jaettu käyttäjiensä kesken. Tämä tarkoittaa sitä, että DOCSIS-verkossa kulkeva bittivirta näkyy kaikille. (Vecima 2010.)

DOCSIS-verkko on haavoittuvainen myös palvelun varastamiselle, eli osaava hakkeri voi päästä käyttämään operaattorin verkkoa maksamatta siitä mitään. Tämä tapahtuu urkkimalla verkosta itselleen hyväksytyt MAC-osoite ja kloonamalla se omalle kaapelimodeemilleen. (Volpe 2010.)

Tärkeimmät verkon turvallisuuteen liittyvät toimenpiteet:

- Disabloi itse allekirjoitetut sertifikaatit.
- Vaadi BPI+-hyväksyntä modeemeilta jokaisella CMTS:illä ("bpi-plus-enforce").
- Valvo kloonattuja MAC-osoitteita koko verkossa (kaikkien CMTS:ien kesken). (Volpe 2010.)

Näiden vahvistustoimenpiteiden jälkeen hakkeri joutuu vähintään maksamaan yhteydestä, koska CMTS vaatii sertifioidun kaapelimodeemin yhteyden muodostamiseen. Hakkeri voi kuitenkin edelleen nostaa oman yhteytensä nopeutta. Tämä onnistuu kopioimalla kaapelimodeemille saapuva TFTP-tiedosto, jonka modeemi lataa kytkeytyessään verkkoon. Kopioinnin jälkeen hakkerin ei tarvitse kuin muokata tiedostoa ja syöttää se uudelleen kaapelimodeemille rekisteröintivaiheessa. (Volpe 2010.)

Tämän pystyy välttämään helposti siten, että joka kerta kaapelimodeemin pyytäessä TFTP-tiedostoa, laitetaan operaattorin palveluntarjoajajärjestelmä tarjoamaan TFTP-tiedostoa eri linkin takaa (proxy). Keino on todella yksinkertainen, mutta hakkerin kannalta on mahdotonta tietää, minkä linkin takana seuraavaksi TFTP-tiedosto on saavutettavissa. (Volpe 2010.)

Suosittelavaa on lisätä jokaiselle CMTS:lle jaettu salasana (shared secret) ja käyttää salasanan kryptaamista. Jos oletetaan, että hakkerilla on käytössään oma paikallinen TFTP-serveri, jonka avulla voi ladata editoidun TFTP-tiedoston kaapelimodeemille, täten välttäen edellä mainitun keinon, hän ei voi arvata jaettua salasanaa. Kyseinen jaettu salasana kryptataan TFTP-tiedostoon keinolla, jota kaapelimodeemin päässä ei voi selvittää, mutta kaapelimodeemin ottaessa

yhteyttä takaisin CMTS:ään, voidaan nähdä onko TFTP-tiedostoa muokattu. (Volpe 2010.)

5.5 IPv6-tuki

DOCSIS 3.0 tukee natiivisti IPv6-versiota, joka lisää IPv4-version tukemien osoitteiden määrää moninkertaisesti. IPv6-version tukema osoitteiden määrä on niin valtava, että jokaiselle maapallolla sijaitsevalle neliömetrille riittää n. 1500 osoitetta. Uusi laajennettu osoiteavaruus tarjoaa mahdollisuuden antaa jokaiselle laitteelle oman uniikin IP-osoitteen. Tämä poistaa nykyisen käytössä olevan NAT:in tarpeen, jossa laitejoukko jakaa yhden julkisen IP-osoitteen. DOCSIS 3.0 -versio eliminoi myös epäyhteensopivuusongelmat, sillä se tukee IPv4:n sekä IPv6:n käyttöä samanaikaisesti (Dual Stack). (Akujuobi & Sadiku 2008, 21 - 23.)

IPv6 on jatkokehitetty versio IPv4:sta. Se sisältää monia parannuksia IPv4-tekniikkaan nähden. Esimerkiksi IPv4:n broadcast-osoite on korvattu optimoidummalla multicast-osoitteella, jossa paketit ohjautuvat vain multicast-ryhmän jäsenille, eivätkä rasita koko verkkoa kuten IPv4-version broadcast-tekniikka. Operaattorin kannalta on erittäin tärkeää panostaa IPv6-tekniikan toimivuuteen, sillä tekniikka on tulossa yleistymään joka tapauksessa tulevaisuudessa. Tämä siksi, että IPv4-osoiteavaruus on loppumassa oikeasti maailmalta. Jotta IPv6-versiota voitaisiin operaattorin verkossa käyttää, täytyy koko verkon tukea IPv6:sta. DOCSIS 3.0 tarjoaa operaattorille helpon valmiuden IPv6-versioon siirtymiselle tulevaisuuden kaapelimodeemiverkoissa. (Akujuobi & Sadiku 2008, 21 - 23.)

6 VERKON VALMISTELU JA YLLÄPITO DOCSIS 3.0:A VARTEN

6.1 Yleistä verkosta ja vaatimuksista

Kaapeli-tv-verkossa toimivan DOCSIS 3.0 -tekniikan käyttöönotto on monin osin ongelmallinen, sillä vanhaa verkkoa ei ole suunniteltu kaksisuuntaiseksi. DOCSIS 3.0 -spesifikaatio kuitenkin vaatii toimiakseen kaksisuuntaisen kaapeli-tv-verkon. Tämä pakottaa operaattorit uudistamaan vanhaa verkkoaan, sillä vanhan verkon vahvistimet/suodattimet eivät päästä läpi DOCSIS 3.0 -spesifikaation määrittelemiä taajuuksia. (Toivonen 2011.)

DOCSIS 3.0 -spesifikaatio määrittelee verkolle vaatimukseksi:

- kaksisuuntainen liikenne
- maksimietäisyys CMTS:n ja kaapelimodeemin välillä 160 km
- yhteensopivuus vanhoille DOCSIS-spesifikaatioille (CableLabs 2011a, 112.)

Vaikka DOCSIS 3.0 -spesifikaatio vaatii tuen vanhemmille versioille, operaattorin kannalta on tärkeää pitää huolta siitä, ettei asiakkaille päädy käyttöön vanhemman spesifikaation kaapelimodeemeja. DOCSIS 2.0 -versioon asti kanavien niputustekniikkaa ei ollut, joten vanhoilla kaapelimodeemeilla kaikki kommunikointi tapahtuu 3.0-version primaarisella kanavalla. On pääteltävissä, että tämä voi ruuhkauttaa ja häiritä verkon kykyä määritellä 3.0-version kaapelimodeemeille ei-primaarisia kanavia datan siirtoon. Suuri määrä vanhemman spesifikaation modeemeja voi mahdollisesti laskea DOCSIS 3.0 -verkon maksimikapasiteettia. (CableLabs 2011a, 113.)

6.2 Verkon kaksisuuntaistaminen

Koska vanha kaapeli-tv-verkko on suunniteltu yksisuuntaiseksi, paluusuunnan signaaleja ei vahvisteta. Tämä aiheuttaa sen, että asiakkaan päässä olevat laitteet

eivät ”kuulu” operaattorille asti. Jotta DOCSIS-verkko voisi toimia, täytyy kaapeli-tv-verkkoihin lisätä kaksisuuntaisia vahvistimia. (Electroline 2004.)



Kuvio 21. Kaksisuuntainen vahvistin. (Electroline 2004.)

Kiinteistöille, jotka hyödyntävät RFoG-tekniikkaa, riittää yleensä vain yksi kaksisuuntainen vahvistin antenniverkkoon. Vahvistin tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle asiakkaiden päätelaitteita paremman signaalinlaadun saavuttamiseksi. (Cisco 2000.) Kiinteistöjen sisäverkoissa voidaan joutua uusimaan mm. jaottimia, haaroittimia, antennikaapeleita ja -rasioita sekä liitântäjohtoja. Tarvittavien muutoksien laajuus riippuu paljolti kiinteistön sisäverkon kunnosta. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2002, 18.)

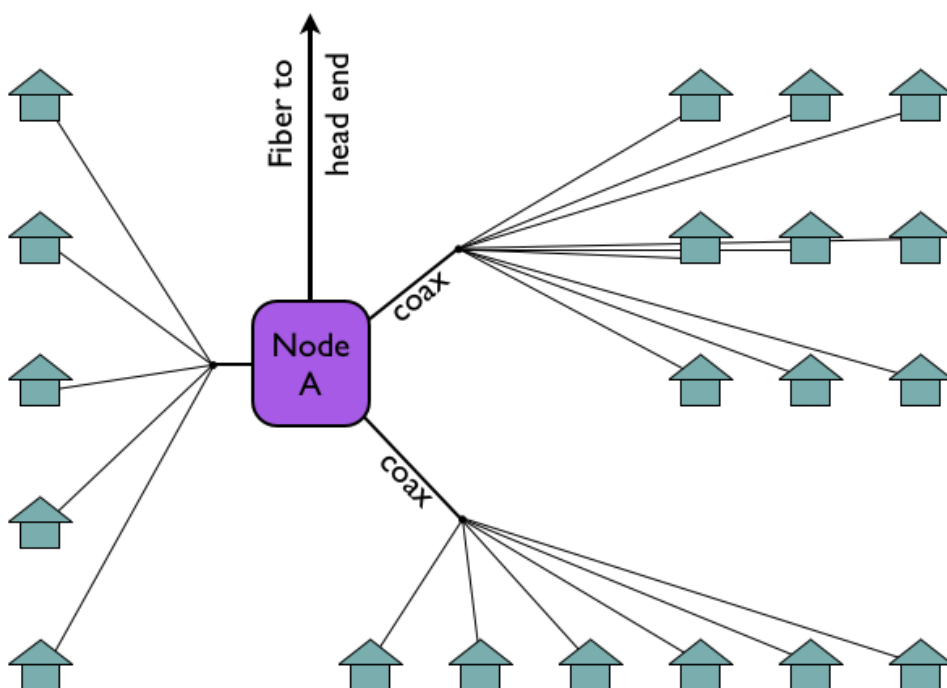
Vaikeuksia operaattorille aiheuttavat vanhat kaapeli-tv-verkot, sillä vahvistimia voidaan tarvita useita kappaleita verkon eri haaroihin, jotta DOCSIS-verkon toiminta voitaisiin mahdollistaa. Tämä vaatii huolellista suunnittelua, jotta signaali voitaisiin säilyttää tasalaatuisena. Cisco suosittelee pitämään kaikki paluusuunnan vahvistukset samalla tehotasolla, kuten myös menosuunnan vahvistukset omilla, mutta yhtenäisillä tasoilla (unity gain). (Cisco 2000.)

HFC-verkon koaksiaalikaapeliosuudella vaaditaan yleensä vahvistin noin 200 m:n välein. Tyypillisesti vahvistimia voidaan asentaa enimmillään neljä tai viisi peräkkäisesti. Kaksisuuntaistamisen seurauksena sekä jaotin että vahvistimet on uusittava. Koska signaalia on vahvistettava myös paluusuunnassa, on otettava huomioon eri asuntojen yhdistäminen samaan kaapeliin. (Liikenne- ja

viestintäministeriö 2002, 17 - 18.) On hyvä huomioida eri modulaatioiden vaatimat signaalitasot. Huonolaatuisessa kaapeli-tv-verkossa operaattorin kannalta on suositeltavaa aloittaa verkon käyttö hitaammalla modulaatiolla verkon toiminnan varmistamiseksi. Hitaampi modulaatio lisää kaapelimodeemin lähetystehoja sekä vaatii pienemmän kohinasuhteen. Osiossa 6.4 käsitellään suositeltuja raja-arvoja. (Volpe 2009e.)

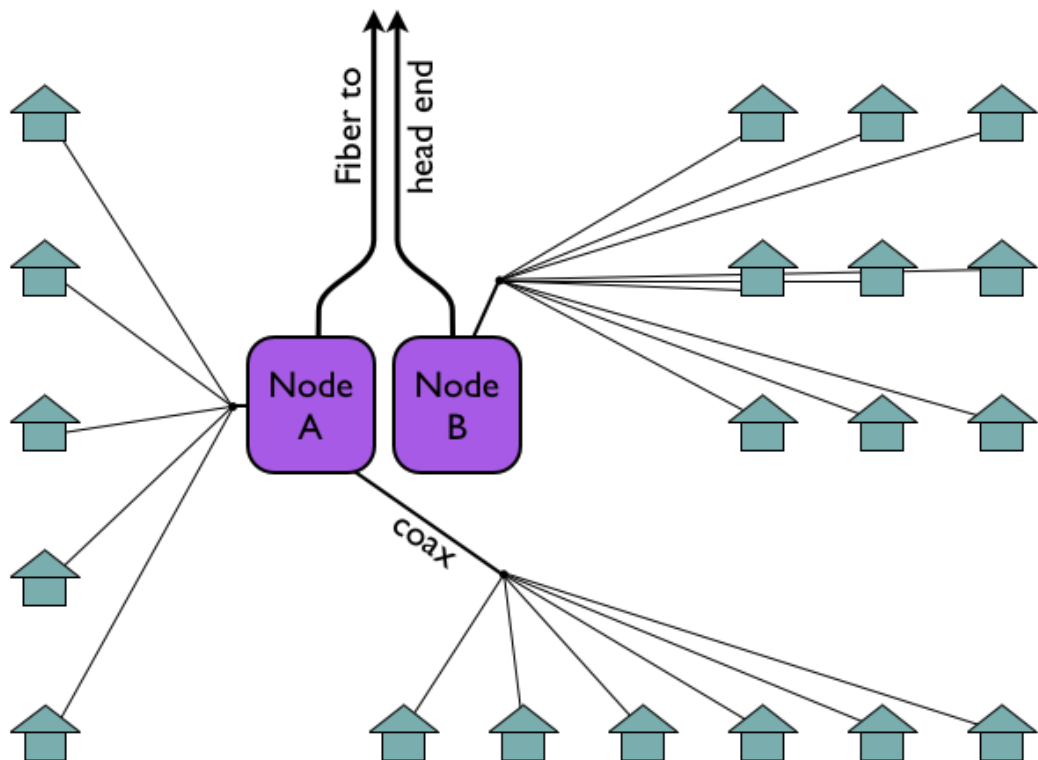
6.3 Verkon osittaminen

Koska asiakkaat käyttävät kasvavassa määrin kaistanleveyttä, verkon osittaminen on kätevä toimenpide operaattorille varmistaa DOCSIS-verkon sujuva toiminta. Verkon osittaminen tarkoittaa toimenpidettä, jossa HFC-verkon solmuun tulevaa kuitujen määrää kasvatetaan ja koaksiaaliverkon kaapelit jaotellaan käytettävissä oleville kuiduille. Tehdään siis uusia solmuja vanhan solmun rinnalle. Näin voidaan jakaa DOCSIS-verkon maksimikapasiteettia pienemmän käyttäjämäärän kesken, mikä parantaa verkon yleistä toimivuutta. (Beijnum 2011.)



Kuvio 22. Osittamaton vanha kaapeli-tv-verkko. (Beijnum 2011.)

Syy miksi yhdessä solussa on ”liikaa” talouksia johtuu siitä, että verkko on alun perin suunniteltu pelkkää kaapeli-tv-käyttöä varten. Kaapeli-tv toimii moitteetta, vaikka solussa olisi 2000 asiakasta. Huomioitava seikka on se, että vaikka kaapeli-tv-verkossa olisi valtava määrä talouksia, se ei tarkoita suoranaisesti, että verkko olisi ruuhkautunut. DOCSIS-verkon kapasiteetti jaetaan vain palvelun tilanneiden kesken. Operaattorin kannalta on siis tärkeää arvioida, kuinka paljon solussa olevista asiakkaista todella tilaa internetyhteyden, jottei verkkoja turhaan ositettaisi ja täten maksettaisi hyödyttömästä työstä. (Beijnum 2011.)



Kuvio 23. Ositettu kaapeli-tv-verkko. (Beijnum 2011.)

Kuviossa 23 nähdään, kuinka ylikuormitettu solu on ositettu kahteen osaan. Asennus voidaan toteuttaa vain muutamassa tunnissa, jos koaksiaalikaapelit tulevat soluun sopivassa suhteessa ja ylimääräisiä kuituja on käytettävissä. Kuitenkin on mahdollista, että toisessa koaksiaalikaapelissa on esim. 100 asiakasta ja toisessa 400. Tällöin on kannattavinta rakentaa kokonaan uusi solmu lähemmäksi 400 asiakasta ja toteuttaa osittaminen siellä. Suositeltavaa on pyrkiä pitämään solukoko alle 200 internet-yhteyden tilaajan. (Beijnum 2011.)

6.4 Raja-arvot

Päästökaistan alareunana on tyypillisesti menokaistan suuntaan 87,5 MHz, se voi kuitenkin alkaa jo 47 MHz:n taajuusalueelta. Yläreuna riippuu paljolti operaattorin toteutuksesta, tyypillisesti se kuitenkin on alueella 300 - 862 MHz. Alue, jota oikeasti voidaan käyttää yhteyksissä, sijaitsee välillä 108 - 862 MHz. (CableLabs 2011a, 114.)

Alueen 108 - 136 MHz käyttöä tulisi välttää, sillä ilmailuliikenne käyttää kyseistä taajuusaluetta. DOCSIS-verkon toimivuuden kannalta on otettava huomioon, että menokaistan alueella sijaitsee myös tv- sekä radio-lähetyksiä. EuroDOCSIS-verkossa kaikki data lähetetään 8 MHz:n kanavina menosuuntaan ja paluusuuntaan maksimissaan 6,4 MHz:n kanavina. (CableLabs 2011a, 115.)

Taulukko 1. Menokaistan yksittäisen RF-kanavan suositeltavat raja-arvot. (CableLabs 2011a, 115 - 116.)

Parameter	Value
Frequency range	Cable system downstream operating range is from 47 MHz to 862 MHz. However, the operating range for data communication is from 108 to 862 MHz and the values in this table only apply to this frequency range. The use of frequencies between 108 and 136 MHz may be forbidden due to national regulation with regard to interference with aeronautical navigation frequencies.
RF channel spacing (design bandwidth)	7/8 MHz, 8 MHz channels are used for data communication
Transit delay from head-end to most distant customer	≤ 0.800 ms (typically much less)
Carrier-to-noise ratio in an 8 MHz band (analog video level)	Not less than 44 dB ¹
Carrier-to-interference ratio for total power (discrete and broadband ingress signals)	Not less than 52 dB within the design bandwidth
Composite triple beat distortion for analog modulated carriers	Not greater than -57 dBc within the design bandwidth ²
Composite second-order distortion for analog modulated carriers	Not greater than -57 dBc within the design bandwidth ²
Cross-modulation level	Under consideration
Amplitude ripple	2.5 dB in 8 MHz
Group delay ripple in the spectrum occupied by the CMTS	100 ns over frequency range 0.5 – 4.43 MHz
Micro-reflections bound for dominant echo	-10 dBc @ ≤ 0.5 μs -15 dBc @ ≤ 1.0 μs -20 dBc @ ≤ 1.5 μs -31.5 dBc @ > 1.5 μs
Carrier hum modulation	Not greater than -46 dBc (0.5%)
Burst noise	Not longer than 25 μs at a 10 Hz average rate
Seasonal and diurnal signal level variation	8 dB
Signal level slope, 85 – 862 MHz	Maximum slope of 12 dB in either the positive or negative direction
Maximum analog video carrier level at the system outlet, inclusive of above signal level variation	17 dBmV ³
Lowest analog video carrier level at the system outlet, inclusive of above signal level variation	0 dBmV ⁴
<p>Table Notes:</p> <p>Note 1 This presumes that the average digital carrier is operated at analog peak carrier level. When the digital carrier is operated below the analog peak carrier level, this C/N may be less</p> <p>Note 2 For SECAM systems the value is no greater than -52 dBc within the design bandwidth</p> <p>Note 3 For SECAM systems the value is 14 dBmV</p> <p>Note 4 For SECAM systems the value is -3 dBmV</p>	

Paluusuuntaan, päästökaistan määritellään olevan välillä 5 - 65 MHz, vaikka paluusuunnalle on varattu 5 - 85 MHz:n taajuusalue. Voi olla mahdollista, että DOCSIS-verkon ulkopuolisia signaaleja esiintyy määritetyllä alueella. Tällöin ulkopuoliset signaalit täytyy siirtää eri taajuusalueelle, jotta DOCSIS 3.0 -verkko voisi toimia normaalisti. (CableLabs 2011a , 116.)

Taulukko 2. Paluukaistan yksittäisen RF-kanavan suositeltavat raja-arvot. (CableLabs 2011a, 116 - 117.)

Parameter	Value
Frequency range.	5 to 65 MHz edge to edge
Transit delay from head-end to most distant customer	≤ 0.800 ms (typically much less)
Carrier-to-noise ratio in active channel	Not less than 22 dB
Carrier-to-ingress power (the sum of discrete and broadband ingress signals) ratio in active channel	Not less than 22 dB ¹
Carrier-to-interference (the sum of noise, distortion, common-path distortion and cross-modulation) ratio in active channel	Not less than 22 dB ¹
Carrier hum modulation	Not greater than -23 dBc (7.0%)
Burst noise	Not longer than 10 μs at a 1 KHz average rate for most cases ^{2,3}
Amplitude ripple across upstream operating frequency range (maximum)	2.5 dB in 2 MHz
Group delay ripple across upstream operating frequency range (maximum)	300 ns in 2 MHz
Micro-reflections (maximum) – single echo	-10 dBc @ ≤ 0.5 μs -20 dBc @ ≤ 1.0 μs -31.5 dBc @ > 1.0 μs
Seasonal and diurnal signal level variation	Not greater than 12 dB min to max
<p>Table Notes:</p> <p>Note 1 Ingress avoidance or tolerance techniques may be used to ensure operation in the presence of time-varying discrete ingress signals that could be as high as 0 dBc.</p> <p>Note 2 Amplitude and frequency characteristics sufficiently strong to partially or wholly mask the data carrier.</p> <p>Note 3 Impulse noise levels more prevalent at lower frequencies (<15 MHz).</p>	

6.5 Viat

Koska DOCSIS-tekniikka käyttää pääsääntöisesti vanhaa kaapeli-tv-verkkoa, niin siinä esiintyy myös vikoja herkemmin kuin uusissa kuituverkoissa. Operaattorille tämä on ongelmallista, sillä signaalinlaadun valvominen, säätäminen ja vikojen paikantaminen on haasteellisen lisäksi kallista. (Toivonen 2011.)

Pääsääntöisesti ongelmia aiheuttavat:

- kohina matalilla taajuuksilla
- kodin antenniverkot
- vanhat kiinteistöverkot
- häiriöiden pääsy verkkoon

- menosuunnan signaalin kuuluminen paluusuunnalle. (Toivonen 2011.)

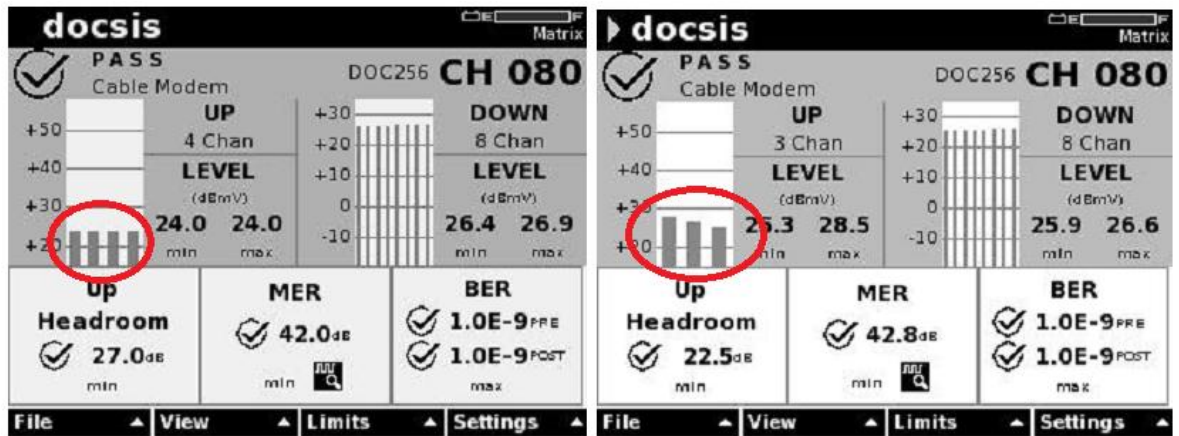
Versiosta 2.0 lähtien DOCSIS on tukenut Adaptive Signal Cancellation Algorithms -tekniikkaa, joka myös parantaa verkon häiriönsietokykyä. Jos kanavalla esiintyy melua, niin CMTS lähettää kanavalle "vasta-ääntä", joka monesti mahdollistaa kanavan toiminnan vian alaisenakin. Käyttöympäristöstä riippuen jopa 12 eri häiriösignaalia voidaan poistaa. Tätä kuitenkin suositellaan vain väliaikaiseksi toimenpiteeksi, kunnes todellinen vian aiheuttaja on korjattu. (Volpe 2009a.)

6.5.1 Osittainen palvelu (Partial Service)

Osittainen palvelu tarkoittaa tilannetta, jossa meno- tai paluusuunnan kanava on muuttunut käyttökelvottomaksi. Sen on aiheuttanut kaapelimodeemin kyvyttömyys saavuttaa kanava tai yhteys kanavaan katkesi kesken normaalin yhteyden. Tyypillisesti kaapelimodeemeilla on neljä paluukanavaa käytettävissä, mikä käsittää yli 100 Mbps:n kapasiteetin 64 QAM-modulaatiolla. Jos vain yksi paluukanava on käyttökelvoton, niin käyttäjät eivät välttämättä edes huomaa verkossa olevan vikaa, sillä kolmen paluukanavan toimiessa paluukaistan kapasiteetti on silti yli 80 Mbps. (Volpe & Miller 2011.)

DOCSIS 3.0 -verkossa osittainen palvelu on vaikea havaita kaapelimodeemin rekisteröitymisen jälkeen, eivätkä kaikki testilaitteet havaitse sitä. Verkon maksimikapasiteetin mittaaminen voi paljastaa vian, mutta sekään ei ole varmaa, jos verkko on muutenkin rasituksen alaisena. Jos kanava ei ollut saavutettavissa modeemin rekisteröitymisen aikana, niin testilaitteet näyttävät vähemmän niputettuja kanavia kuin pitäisi. (Volpe & Miller 2011.)

Yhteyden katkettua kanavaan kesken normaalin yhteyden CMTS lopettaa lähetyksien antamisen kyseiselle kanavalle ennen kuin uusi yhteys on onnistuneesti luotu ranging-prosessilla. CMTS voi myös mahdollisesti olla tekemättä tämän prosessin ja täten vaatia kaapelimodeemin uudelleenkäynnistämisen. CMTS ei välttämättä huomaa heti tai ollenkaan osittaista palvelua ja täten verkolle aiheutuu heikentyneen palvelun tila, josta kerrotaan tarkemmin seuraavassa osiossa. (Volpe & Miller 2011.)



Kuvio 24. Osittainen palvelu testilaitteella. (Volpe & Miller 2011.)

Vian toteamisen jälkeen asentajan on selvitettävä, mistä kohdalta verkkoa vika alkaa. Asentajan täytyy siis matkata vikapisteestä kohti CMTS:ää, tutkia kaikki mahdolliset vikapisteet (maadoitukset, liitännät, vahvistimet, haaroittimet ja jakajat), kunnes on päädytty pisteeseen, jossa viallinen kanava on vielä toimintakunnossa. Kun vikakohta on korjattu, on syytä tarkistaa kaapelimodeemilta asti kanavakohtaisesti, että vika on todella poissa. Mahdollisesti korjauksen jälkeen voi syntyä heikentyneen palvelun tila, josta kerrotaan tarkemmin seuraavassa osiossa. (Volpe & Miller 2011.)

6.5.2 Heikentynyt palvelu (Impaired Service)

Heikentyneellä palvelulla tarkoitetaan tilaa, jossa yhdellä tai useammalla kanavalla tapahtuu paljon tiedonsiirtovirheitä, mutta kanava kykenee kuitenkin kytkeytymään kaapelimodeemin kanssa. Todennäköisin syy heikentyneelle palvelulle on vika kaapeli-tv-verkossa. Tämä tulisi ottaa huomioon, ennen kuin asiakkaalle tarjotaan uutta kaapelimodeemia/laitteistoa. Tutkimuksien mukaan vain 1 % vian vuoksi palautetuista laitteista on todella aiheuttanut vian. (Volpe & Miller 2011.)

Todennäköisiä vikailmoituksia asiakkailta ovat:

- VoIP-ongelmat (robotti-ääni, pätkiminen, soittamisen epäonnistuminen jne.)
- VOD (ei voi toistaa elokuvaa, ei pysty selaamaan elokuvaalista)

- moninpeli-ongelmat (suuri latenssi, pelin katkeileminen)
- VPN-ongelmat (videopuheluiden katkeilu, VPN:n kaatuileminen jne.)
- hitaat paluukaistan siirtonopeudet (Volpe & Miller 2011.)

Heikentynyt palvelu häiritsee siis käyttäjämukavuutta paljon enemmän kuin osittainen palvelu. Vika on kuitenkin helpompi huomata testilaitteilla. High volume Packetloss -testiä suositellaan käytettäväksi, mutta sekään ei täydellä varmuudella huomaa vikaa, jos heikentynyt palvelu tapahtuu tietyllä aikajaksolla. Läpäisytesti (throughput) on myös toinen suositeltava testi. (Volpe & Miller 2011.)

On suositeltavaa myös pohtia mahdollista verkossa käytettävää modulaation laskemista ja kanavanvarausmenetelmän vaihtoa, jotka molemmat voivat parantaa häiriönsietoa. Lisäksi, onko kannattavaa väliaikaisesti nostattaa kaapelimodeemin ranging-vaiheen modulaatiota, jotta CMTS pitäisi huonolaatuisen kanavan osittaisen palvelun tilassa, eikä täten aiheuttaisi tiedonsiirtovirheitä. Koska DOCSIS 3.0 -modeemit käyttävät useampaa paluukanavaa, on tärkeää tarkistaa kanavat yksi kerrallaan. (Volpe & Miller 2011.)



Kuvio 25. Heikentynyt palvelu kanavakohtaisesti testilaitteella. (Volpe & Miller 2011.)

Kuviossa 25 nähdään kuinka paluukanavalla 19 MHz tapahtuu tiedonsiirtovirheitä. On tärkeää huomioida että vaikka varsinaisia tiedonsiirtovirheitä ei näkyisi testissä järjestelmän virheenkorjausmetodien ansiosta, niin signaalin laadun heikkeneminen antaa merkkejä heikentyneen palvelun tilasta. Vian toteamisen jälkeen vika korjataan kuten osittaisen palvelun tilassa: matkaamalla kohti CMTS:ää tarkistaen kaikki mahdolliset vikapisteet (maadoitukset, liitännät, vahvistimet, haaroittimet ja jakajat), kunnes on päädytty pisteeseen, jossa viallinen kanava on vielä toimintakunnossa. Kun vikakohta on korjattu, on syytä tarkistaa kaapelimodeemilta asti kanavakohtaisesti, että vika on todella poissa. (Volpe & Miller 2011.)

6.5.3 Valvomon rooli vikatilanteessa

Verkko on yleensä vikaantunut kauan ennen kuin asiakkaiden vikailmoitukset alkavat virrata valvomolle, täten valvomon rooli on erittäin tärkeä verkon vikaantumisen ennaltaehkäisemisessä ja vikojen korjaamisissa. Kuten osiossa 6.5.2 mainittiin, tutkimuksien mukaan vain 1 % vian vuoksi palautetuista laitteista on todella aiheuttanut vian. Valvomolle tämä on erityisen tärkeää tiedostaa vastaanottaessaan asiakkaiden vikailmoituksia. (Volpe & Miller 2011.)

Valvomon kannalta on tärkeää seurata aktiivisesti mahdollisimman laajasti verkon signaaliarvoja ja syöttää valvontajärjestelmille sovitut raja-arvot, jolloin valvomolle tulee suoraan ilmoitus verkon korjaustarpeesta. Näin voidaan varmistua verkon ylläpidon laadusta, vaikkei vikailmoitusta sattuisikaan tulemaan asiakkaalta. (Volpe & Miller 2011.)

Ilmoitukset toimenpide-epäonnistumisilta CMTS:llä, jotka viittaavat verkkovikaan ovat:

- REG-ACK (kanava ei ollut saavutettavissa modeemin rekisteröitymisen aikana)
- DBC-RSP (kanava ei ollut saavutettavissa dynaamisen kanavien niputuksen muutoksessa)
- CM-STATUS (kanava muuttui käyttökelvottomaksi normaalin operaation aikana). (Cablelabs 2011b, 288.)

Edellä mainitut vikailmoitukset viittaavat kuitenkin vain osittaisen palvelun tilaan, jossa kanavien lukumäärä on vajavainen. Heikentyneen palvelun tilan toteaminen vaatii valvomolta tarkkaa signaalin laadun seurantaa, eritoten MER- (Modulation Error Rate), BER- (Bit Error Rate) sekä FEC (Forward Error Correction) -arvojen seurantaa. (CableLabs 2011b, 288.)

7 TULOKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli DOCSIS 3.0 -tekniikan selvittäminen yleispiirteittäin, huomioida mahdollisia säästötoimenpiteitä sekä verkon ylläpidon ja vikatilanteiden selvittäminen. Tutkimus tarjoaa vastauksia kaikkiin tavoitteisiin. DOCSIS 3.0 -toimintaperiaate käydään läpi. Tutkimus tuo esille mm. TDMA- (A-TDMA) sekä S-CDMA-kanavanvarausmenetelmien järkevät käyttöympäristöt vikojen välttämiseksi ja modulaation merkityksen häiriönsiedolle. M-CMTS:n hyödyt sekä haitat käsitellään, lisäksi eQAM-laitteen toimintaa selvitetään. Tutkimus myös tarjoaa keinoja turvallisuuden lisäämiselle kaapelimodeemiyhteyksillä, sillä verkko on hyvin altis hyökkäyksille jaetun yhteytensä vuoksi.

Verkon rakentamisen ja ylläpidon kannalta tutkimus ottaa huomioon kaksisuuntaistamisen, HFC- ja RFoG-verkkojen toiminnan DOCSIS 3.0 -ympäristössä. Lisäksi verkon osittamisen merkitys ja toimenpiteet käydään läpi. Tutkimus pitää sisällään myös DOCSIS 3.0 -spesifikaation suositellut raja-arvot.

Verkon vikaantumisen kannalta tutkimuksessa käydään läpi osittaisen sekä heikentyneen palvelun tilat. Niiden syntyminen syyt selvitetään, sekä kuinka vikat paikannetaan ja korjataan. Tutkimus tuo myös ilmi operaattorin kannalta tärkeän seikan, että on tärkeää huolehtia asiakkaiden käyttävän 3.0-version kaapelimodeemeja, jottei verkon maksimikapasiteetti kärsisi. Tutkimuksen avulla Anvia-konsernin henkilökunnan ymmärrystä DOCSIS 3.0:a kohtaan voidaan mahdollisesti parantaa ja täten säästää konsernin toimenpidekuluja.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia DOCSIS 3.0 -tekniikan käyttöönottoon liittyviä kysymyksiä ja vastata niihin mahdollisimman käytännönläheisellä tavalla. Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin, mutta varsinaisen tuloksen laadukkuutta ei voida mitata ennen työn antamista virallisesti Anvian henkilökunnan käyttöön.

Haastavinta työssä oli alun vaatima runsas tiedon hankinta. Spesifikaation ollessa todella laaja ja tutkimuksen tekijälle melko tuntematon, se aiheutti suuren määrän työtä tiedon sisäistämiseksi. Tiedon karttuessa, tekniikan ymmärtäminen luonnollisesti helpottui ja muuttui tutkimuksen tekijälle entistäkin kiinnostavammaksi. Ongelmaksi kuitenkin muodostui opinnäytetyön rajaaminen, sillä DOCSIS 3.0 -tekniikan selvittäminen yleisellä tasolla opinnäytetyön mittaan osoittautui erittäin vaikeaksi.

DOCSIS 3.0 -tekniikan hyödyntäminen on operaattorille erittäin kannattava toimenpide taatakseen asiakkaille mahdollisuus erittäin nopeisiin Internet-yhteyksiin alueilla, joissa kuituverkkoa ei ole saatavilla. Eritoten hyödyllisen tekniikasta tekee se, että se voidaan ottaa käyttöön vanhalla kaapeli-tv-verkon alueella eikä vanhojen kiinteistöjen antenniverkon kaapelointiin tarvitse puuttua muuten kuin vikatilanteissa.

LÄHTEET

- Anvia. 2012. Tietoa konsernista. [www-dokumentti]. Anvia. [Viitattu 23.3.2012]. Saatavissa: <http://www.anvia.fi/fi-FI/Konserni/tietoakonsernista/perustietoa/Sivut/default.aspx>
- Anvia. 2011. PON-tekniikoiden käyttö liityntäverkoissa. [PDF-dokumentti]. Anvia. [Viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: Anvian sisäisessä käytössä.
- Akujuobi, C. & Sadiku, M. 2008. Introduction to Broadband Communication Systems. SciTech Publishing.
- Beijnum, I. 2011. Meet DOCSIS, Part 2: the jump from 2.0 to 3.0. [www-dokumentti]. Ars Technica. [Viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: <http://arstechnica.com/business/news/2011/05/meet-docsis-part-2-the-jump-from-20-to-30.ars/2>
- CableLabs. 2011a. Physical Layer Specification. [Verkkojulkaisu]. Cable Television Laboratories, Inc. [Viitattu 10.1.2012]. Saatavissa: http://www.cablelabs.com/specifications/CM-SP-PHYv3_0_110-111117.pdf
- CableLabs. 2011b. MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification. [Verkkojulkaisu]. Cable Television Laboratories, Inc. [Viitattu 10.1.2012]. Saatavissa: <http://www.cablelabs.com/specifications/CM-SP-MULPIv3.0-117-111117.pdf>
- CableLabs. 2011c. CableLabs 20th Anniversary. [www-dokumentti]. Cable Television Laboratories, Inc. [Viitattu 5.1.2012]. Saatavissa: <http://www.cablelabs.com/anniversary/data.html>
- Cable Europe. 2010. Cable Facts & Figures. [www-dokumentti]. Cable Europe. [Viitattu 10.1.2012]. Saatavissa: <http://www.cableeurope.eu/index.php?page=facts-figures>
- Chapman, J. 2008. DOCSIS PHY Layer. [Verkkojulkaisu]. Cisco Systems, Inc. [Viitattu 23.2.2012]. Saatavissa: [http://johntchapman.com/DOCSIS-PHY-overview-\(2008-10-23\).pdf](http://johntchapman.com/DOCSIS-PHY-overview-(2008-10-23).pdf)
- Cisco. 2000. DOCSIS and CMTS Architectural Overview. [Verkkojulkaisu]. Cisco Systems, Inc. [Viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: http://www.cisco.com/en/US/docs/cable/cmts/ubr10012/configuration/guide/u10k_a.pdf
- Electroline. 2004. The Electroline ReturnPath Amplifier (ERA). [Verkkojulkaisu]. Electroline Equipment, Inc. [Viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: http://www.electroline.com/en/products/drop_amplifiers/images/amp_3rp.pdf

- Gummalla, A. 2001. DOCSIS Overview. [Verkkajulkaisu]. Broadcom. [Viitattu 15.1.2012]. Saatavissa: http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm/public/jul01/presentations/gummalla_1_0701.pdf
- Jaakohuhta, H. 2010. DOCSIS 3.0. [PDF-dokumentti]. Datarocks. [Viitattu 12.1.2012]. Saatavissa: Anvian sisäisessä käytössä.
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2002. Kaapelitelevisioverkkojen kaksisuuntaistaminen. [Verkkajulkaisu]. Liikenne- ja viestintäministeriö. [Viitattu 23.3.2012]. Saatavissa: http://www.lvm.fi/fileserver/23_2002.pdf
- Pularikkal, B. 2010. Introduction to DOCSIS 3.0 [Verkkajulkaisu]. Cisco Systems, Inc. [Viitattu 27.2.2012]. Saatavissa: http://www.nanog.org/meetings/nanog46/presentations/Sunday/Byju_Intro_DOCSIS_N46.pdf
- Teleste. 2011. RF over Glass System and products. [PDF-dokumentti]. Teleste. [Viitattu 20.3]. Saatavissa: Anvian sisäisessä käytössä.
- Toivonen, M. 2011. EDGE QAM ja CMTS. [Koulutus PDF]. DiviPro. [Viitattu 12.1.2012]. Saatavissa: Anvian sisäisessä käytössä.
- Vecima. 2010. M-CMTS & DOCSIS 3.0 Standards Overview. [Verkkajulkaisu]. Vecima Networks Inc. [16.3.2012]. Saatavissa: www.vecima.com/com_pdf/mcmts_docsis3_wp_d01.pdf
- Voipio, K. & Uusitupa, S. 2009. Tietoliikenne aapinen: Teletekniikkaa ymmärrettävästi. 2. painos. Hakapaino Oy.
- Volpe, B. 2009a. DOCSIS and Cable Modems – How it works :: Tutorial Wrap Up [www-dokumentti]. The Volpe Firm. [Viitattu 1.2.2012]. Saatavissa: http://bradyvolpe.com/docsis-101/docsis101_wrap-up/
- Volpe, B. 2009b. DOCSIS and Cable Modems – How it works :: Cable Modem Registration. [www-dokumentti]. The Volpe Firm. [Viitattu 1.2.2012]. Saatavissa: http://bradyvolpe.com/docsis-101/docsis101_modem-registration/
- Volpe, B. 2009c. DOCSIS and Cable Modems – How it works :: Anatomy of a Burst. [www-dokumentti]. The Volpe Firm. [Viitattu 1.2.2012]. Saatavissa: http://bradyvolpe.com/docsis-101/docsis101_anatomy-of-a-burst/
- Volpe, B. 2009d. DOCSIS and Cable Modems – How it works :: Quality of Service. [www-dokumentti]. The Volpe Firm. [Viitattu 1.2.2012]. Saatavissa: http://bradyvolpe.com/docsis-101/docsis101_qos/

- Volpe, B. 2009e. Speeding Upstream – Part II DOCSIS 3.0 Tips. [www-dokumentti]. The Volpe Firm [Viitattu 29.3.2012]. Saatavissa: <http://bradyvolpe.com/docsis/speeding-upstream-part-ii/>
- Volpe, B. 2010. Hacking DOCSIS Cable Modems. [www-dokumentti]. The Volpe Firm. [Viitattu 1.3.2012]. Saatavissa: <http://bradyvolpe.com/troubleshooting-docsis/hacking-docsis-cable-modems/>
- Volpe, B. 2012. DOCSIS 3.0 Cable Modem Registration. [www-dokumentti]. The Volpe Firm. [Viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: <http://bradyvolpe.com/docsis-3-0/docsis-3-0-cable-modem-registration/>
- Volpe, B. & Miller, W. 2011. Advanced Troubleshooting in a DOCSIS 3.0© Plant [Verkojulkaisu]. The Volpe Firm. [Viitattu 15.3.2012]. Saatavissa: http://bradyvolpe.com/wp-content/uploads/2012/01/VM_Expo2011_v1-blog.pdf
- Wei-Tsong, L., Kuo-Chih, C., Chin-Ping, T. & Kuo-Kan, Y. 2006. How DOCSIS Protocol Solves Asymmetric Bandwidth Issue in Cable Network. [Verkojulkaisu]. Tamkang University. [Viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: www2.tku.edu.tw/~tkjse/9-1/9-1-6.pdf
- White, G. 2010. Channel Bonding in DOCSIS 3.0. [Verkojulkaisu]. Cable Television Laboratories, Inc. [Viitattu 20.2.2012]. Saatavissa: <http://www.cs.clemson.edu/~jmarty/projects/docsis/GregWhite-ChannelBonding.pdf>

LIITTEET

LIITE 1

Cisco 10K Helpful Commands & Info

By Brian Wilson

(When Trouble Shooting it really helps to know what each registration stage is and how it affects the next stage in the process.)

MAC State Value	Description
init(r1)	The CM sent initial ranging.
init(r2)	The CM is ranging. The CMTS received initial ranging from the CM and has sent RF power, timing offset, and frequency adjustments to the CM.
init(rc)	Ranging has completed. Note If a CM appears to be stuck in this state, it could be that the CM is able to communicate successfully on the cable network, but that the upstream is at capacity and does not have any additional bandwidth to allow the CM to finish registration and come online. Either manually move one or more CMs to other upstreams, or enable load balancing on the upstream using the cable load-balance group commands.
init(d)	The DHCP request was received, as DHCPDISCOVER. This also indicates that the first IP broadcast packet has been received from the CM.
init(dr)	The DHCP request has been sent to the cable modem.
init(i)	The cable modem has received the DHCPOFFER reply (DHCPACK) from the DHCP server that has assigned an IP address to the modem, but the modem has not yet replied with a DHCPREQUEST message requesting that particular IP address, nor has it sent an IP packet with that IP address. Note If a CM appears to be stuck in this state, the CM has likely received the DHCPOFFER reply from the DHCP server, but this reply might have contained one or more invalid options for that particular CM.
init(io)	The Cisco CMTS has seen the DHCP offer as sent to the cable modem from the DHCP server that has assigned an IP address to the modem.
init(o)	The CM has begun to download the option file (DOCSIS configuration file) using the Trivial File Transfer Protocol (TFTP), as specified in the DHCP response. If the CM remains in this state, it indicates that the download has failed.
init(t)	Time-of-day (TOD) exchange has started.
resetting	The CM is being reset and will shortly restart the registration process.
cc(r1)	The CM had registered and was online, but has received a Downstream Channel Change (DCC) or Upstream Channel Change (UCC) request message from the CMTS. The CM has begun moving to the new channel, and the CMTS has received the CM's initial ranging on the new downstream or upstream channel. At the MAC layer, the CM is considered offline because it is not yet passing traffic on the new channel, but this state does not trigger the flap-list counters.
cc(r2)	This state should normally follow cc(r1) and indicates that the CM has finished its initial ranging on the new channel, and is currently performing continuous ranging on the new channel. At the MAC layer, the CM is considered offline because it is not yet passing traffic on the new channel, but this state does not

	trigger the flap-list counters.
offline	The CM is considered offline (disconnected or powered down).
online	The CM has registered and is enabled to pass data on the network.
online(d)	<p>The CM registered, but network access for CPE devices using this CM has been disabled through the DOCSIS configuration file. The CM does not forward traffic to or from the CPE devices, but the CMTS can continue to communicate with the CM using DOCSIS messages and IP traffic (such as SNMP commands).</p> <p>Note If BPI was enabled in the DOCSIS configuration file sent to the CM, assume that the CM is using BPI encryption, unless other messages show that the BPI negotiation and key assignments have failed.</p>
online(pkd)	<p>The CM registered, but network access for CPE devices using this CM has been disabled through the DOCSIS configuration file. In addition, BPI is enabled and KEK is assigned.</p> <p>Note This state is equivalent to the online(d) and online(pk) states.</p>
online(ptd)	<p>The CM registered, but network access for CPE devices using this CM has been disabled through the DOCSIS configuration file. In addition, BPI is enabled and TEK is assigned. BPI encryption is now being performed.</p> <p>Note This state is equivalent to the online(d) and online(pt) states.</p>
online(pk)	The CM registered, BPI is enabled and KEK is assigned.
online(pt)	<p>The CM registered, BPI is enabled and TEK is assigned. BPI encryption is now being performed.</p> <p>Note If network access was disabled in the DOCSIS configuration file sent to the CM, the network disabled status takes precedence, and the MAC status field shows online(d) instead of online(pt) even when BPI encryption is enabled and operational.</p>
<p>Note If an exclamation point (!) appears in front of one of the online states, it indicates that the cable dynamic-secret command has been used with either the mark or reject option, and that the cable modem has failed the dynamic secret authentication check.</p>	
expire(pk)	The CM registered, BPI is enabled, KEK was assigned, but the current KEK expired before the CM could successfully renew a new KEK value.
expire(pkd)	<p>The CM registered, but network access for CPE devices using this CM has been disabled through the DOCSIS configuration file. In addition, BPI is enabled, KEK was assigned, but the current KEK expired before the CM could successfully renew a new KEK value.</p> <p>Note This state is equivalent to the online(d) and expire(pk) states.</p>
expire(pt)	The CM registered, BPI is enabled, TEK was assigned, but the current TEK expired before the CM could successfully renew a new KEK value.
expire(ptd)	The CM registered, but network access for CPE devices using this CM has been disabled through the DOCSIS configuration file. In addition, BPI is enabled, TEK was assigned, but the current TEK expired before the CM could successfully renew a new KEK value.

	Note This state is equivalent to the online(d) and expire(pt) states.
reject(m)	<p>The CM attempted to register but registration was refused due to a bad Message Integrity Check (MIC) value. This also could indicate that the shared secret in the DOCSIS configuration file does not match the value configured on the CMTS with the cable shared-secret command.</p> <p>In Cisco IOS Release 12.1(11b)EC1 and Cisco IOS Release 12.2(8)BC2 or later releases, this could also indicate that the cable tftp-enforce command has been used to require that a CM attempt a TFTP download of the DOCSIS configuration file before registering, but the CM did not do so.</p>
reject(c)	<p>The CM attempted to register, but registration was refused due to a number of possible errors:</p> <ul style="list-style-type: none"> • The CM attempted to register with a minimum guaranteed upstream bandwidth that would exceed the limits imposed by the cable upstream admission-control command. • The CM has been disabled because of a security violation. • A bad class of service (COS) value in the DOCSIS configuration file. • The CM attempted to create a new COS configuration but the CMTS is configured to not permit such changes. • The CM failed the timestamp check for its DOCSIS configuration file. (This could indicate a possible theft-of-service attempt, or a problem with the synchronization of the clocks on the CM and CMTS.)
reject(pk)	KEK key assignment is rejected, BPI encryption has not been established.
reject(pkd)	<p>The CM registered, but network access for CPE devices using this CM has been disabled through the DOCSIS configuration file. In addition, BPI encryption was not established because KEK key assignment was rejected.</p> <p>Note This state is equivalent to the online(d) and reject(pk) states.</p>
reject(pt)	TEK key assignment is rejected, BPI encryption has not been established.
reject(ptd)	<p>The CM registered, but network access for CPE devices using this CM has been disabled through the DOCSIS configuration file. In addition, BPI encryption was not established because TEK key assignment was rejected.</p> <p>Note This state is equivalent to the online(d) and reject(pt) states.</p>
reject(ts)	The CM attempted to register, but registration failed because the TFTP server timestamp in the CM registration request did not match the timestamp maintained by the CMTS. This might indicate that the CM attempted to register by replaying an old DOCSIS configuration file used during a prior registration attempt.
reject(ip)	The CM attempted to register, but registration failed because the IP address in the CM request did not match the IP address that the TFTP server recorded when it sent the DOCSIS configuration file to the CM. IP spoofing could be occurring.

reject(na)	The CM attempted to register, but registration failed because the CM did not send a Registration-Acknowledgement (REG-ACK) message in reply to the Registration-Response (REG-RSP) message sent by the CMTS. A Registration-NonAcknowledgement (REG-NACK) is assumed.
w-online	The WCM has registered and is enabled to pass data on the network.
w-online(d)	The WCM registered, but network access for CPE devices using this WCM has been disabled through the DOCSIS configuration file. The CM does not forward traffic to or from the CPE devices, but the WCMTS can continue to communicate with the WCM using DOCSIS messages and IP traffic (such as SNMP commands). Note If BPI was enabled in the DOCSIS configuration file sent to the WCM, assume that the CM is using BPI encryption, unless other messages show that the BPI negotiation and key assignments have failed.
w-online(pkd)	The WCM registered, but network access for CPE devices using this WCM has been disabled through the DOCSIS configuration file. In addition, BPI is enabled and KEK is assigned. Note This state is equivalent to the w-online(d) and w-online(pk) states.
w-online(pt)	The WCM registered, BPI is enabled and TEK is assigned. BPI encryption is now being performed. Note If network access was disabled in the DOCSIS configuration file sent to the WCM, the network disabled status takes precedence, and the MAC status field shows w-online(d) instead of w-online(pt) even when BPI encryption is enabled and operational.
w-online(ptd)	The WCM registered, but network access for CPE devices using this WCM has been disabled through the DOCSIS configuration file. In addition, BPI is enabled and TEK is assigned. BPI encryption is now being performed. Note This state is equivalent to the w-online(d) and w-online(pt) states.
w-online(pk)	The WCM registered, BPI is enabled and KEK is assigned.
w-expire(pk)	The WCM registered, BPI is enabled, KEK was assigned, but the current KEK expired before the WCM could successfully renew a new KEK value.
w-expire(pkd)	The WCM registered, but network access for CPE devices using this WCM has been disabled through the DOCSIS configuration file. In addition, BPI is enabled, KEK was assigned, but the current KEK expired before the CM could successfully renew a new KEK value. Note This state is equivalent to the w-online(d) and w-expire(pk) states.
w-expire(pt)	The WCM registered, BPI is enabled, TEK was assigned, but the current TEK expired before the WCM could successfully renew a new KEK value.
w-expire(ptd)	The WCM registered, but network access for CPE devices using this WCM has been disabled through the DOCSIS configuration file. In addition, BPI is enabled, TEK was assigned, but the current TEK expired before the WCM could successfully renew a new KEK value. Note This state is equivalent to the w-online(d) and w-expire(pt) states.

w-reject(pk)	KEK key assignment is rejected, BPI encryption has not been established.
w-reject(pkd)	The WCM registered, but network access for CPE devices using this WCM has been disabled through the DOCSIS configuration file. In addition, BPI encryption was not established because KEK key assignment was rejected. Note This state is equivalent to the w-online(d) and w-reject(pk) states.
w-reject(pt)	TEK key assignment is rejected, BPI encryption has not been established.
w-reject(ptd)	The WCM registered, but network access for CPE devices using this WCM has been disabled through the DOCSIS configuration file. In addition, BPI encryption was not established because TEK key assignment was rejected. Note This state is equivalent to the w-online(d) and w-reject(pt) states.

Here are a few very useful commands and explanations on what they do:

Command	Description
show cable modem vendor	Associates the name of a vendor with its Organizational Unique Identifier (OUI).
show cable modem summary	Displays displays voice call information for a particular CM, identified either by its IP address or MAC address.
show cable modem classifiers	Displays information about the classifiers for a particular CM.
show cable modem cnr	Displays information about the upstream carrier-to-noise ratio (CNR) for a particular cable modem.
show cable modem connectivity	Displays connectivity statistics for one or more CMs.
show cable modem errors	Displays error statistics for one or more CMs.
show cable modem flap	Displays flap list statistics for one or more cable modems.
show cable modem maintenance	Displays station maintenance (SM) error statistics for one or more cable modems.
show cable modem remote-query	Displays information collected by the remote-query feature.
show cable modulation-profile	Displays modulation profile group information.
show interface cable modem	Displays information about the CMs connected to a particular cable interface.
show interface cable sid	Displays cable interface information.

Shows sample output for the summary option for all enabled cable interface line cards:

Slimjim_Router# **show cable modem summary total**

Interface	Total Modems	Active Modems	Registered Modems
Cable5/0	746	714	711
Cable6/0	806	764	759
Total:	1552	1478	1470

Shows sample output for the summary option for all enabled upstreams on a specific cable interface line card:

Slimjim_Router# **show cable modem summary c5/0 total**

Interface	Total Modems	Active Modems	Registered Modems
Cable5/0/U0	294	272	271
Cable5/0/U1	256	248	246
Cable5/0/U2	196	194	194
Total:	746	714	711

Shows sample output for the phy option for a particular cable modem:

Slimjim_Router# **show cable modem 0010.7bb3.fcd1 phy**

MAC Address	USPwr (dBmV)	USSNR (dBmV)	Timing Offset (dBc)	MicroReflec (dBmV)	DSPwr (dBmV)	DSSNR (dBmV)
0010.7bb3.fcd1 0	25.16	0	0	----		

Shows sample output for the maintenance option for a particular CM:

Slimjim_Router# **show cable modem 0010.7bb3.fcd1 maintenance**

MAC Address	I/F	Prim	SM	Exhausted	SM Aborted
		Sid	Count	Time	Count Time
0010.7bb3.fcd1	C5/0/U5	1	3	Jun 1 10:24:52	0 Jan 1 00:00:00

Shows sample output for the connectivity option for a particular cable modem:

Slimjim_Router# **show cable modem 0010.7bb3.fcd1 connectivity**

Prim	1st time	Times	%online	Online time			Offline time		
Sid	online	Online		min	avg	max	min	avg	max
1	May 30 2000	4	99.85	48:20	11h34m	1d2h23m	00:01	00:59	03:00

Shows sample output for the flap option for a particular cable modem:

Slimjim_Router# **show cable modem 0010.7bb3.fcd1 flap**

MAC Address	I/F	Ins	Hit	Miss	CRC	P-Adj	Flap	Time
0010.7bb3.fcd1	C5/0/U5	0	36278	92	0	369	372	Jun 1 13:05:23

Shows sample output for the qos option for a particular cable modem:

Slimjim_Router# **show cable modem 0010.7bb3.fcd1 qos**

Sfid	Dir	Curr	Sid	Sched	Prio	MaxSusRate	MaxBrst	MinRsvRate	Throughput
		State	Type						
3	US	act	1	BE	7	2000000	1522	100000	0
4	DS	act	N/A	BE	0	4000000	1522	0	0

Shows sample output for the errors option for a particular cable modem:

Slimjim_Router# **show cable modem 0010.7bb3.fcd1 errors**

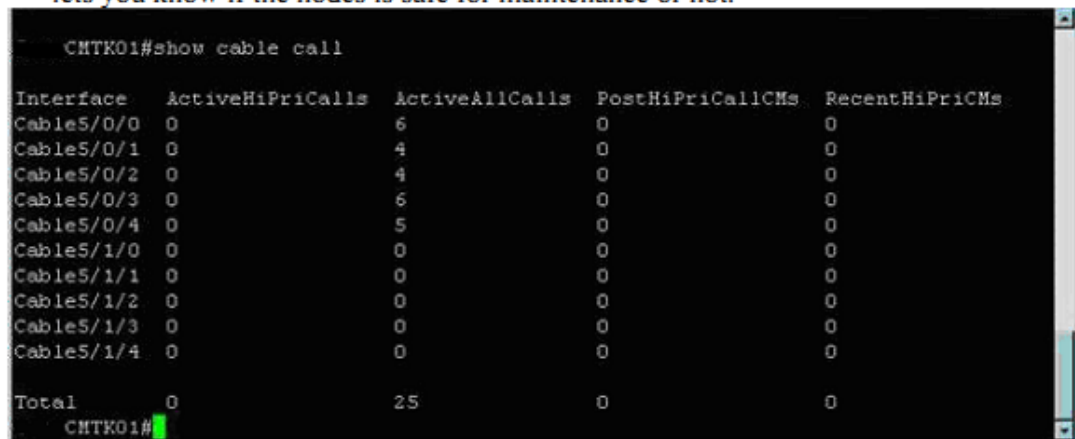
```
MAC Address      I/F      CRC      HCS
0010.7bb3.fcd1  C5/0/U5  0        0
```

Shows sample output for the cpe option for a particular cable modem:

```
Slimjim_Router# show cable modem 0010.7bb3.fcd1 cpe
SID Priv bits Type   State  IP address  method  MAC address
1   00         modem  up    10.20.113.2 dhcp    0010.7bb3.fcd1
```

Other useful commands are:

1. “[show cable call](#)” This command will let you see the active calls on the CMTS. This command is important because it will let you see how many calls are on the interfaces and 1. this can help you plan capacity. This command also shows you active E-911 calls, this will lets you know if the nodes is safe for maintenance or not.



```
CMTK01#show cable call
Interface      ActiveHiPriCalls  ActiveAllCalls  PostHiPriCallCMs  RecentHiPriCMs
Cable5/0/0    0                  6                0                  0
Cable5/0/1    0                  4                0                  0
Cable5/0/2    0                  4                0                  0
Cable5/0/3    0                  6                0                  0
Cable5/0/4    0                  5                0                  0
Cable5/1/0    0                  0                0                  0
Cable5/1/1    0                  0                0                  0
Cable5/1/2    0                  0                0                  0
Cable5/1/3    0                  0                0                  0
Cable5/1/4    0                  0                0                  0
Total          0                  25               0                  0
CMTK01#
```

2. “[show interfaces cable 5/0/0 modem 0 | include \[Mac address or IP address\]](#)” This command will let you get the status of a modem. When you add the last line of this command [include] you can use a part of the whole MAC or IP Address.

```
CMTK01#show interfaces cable 5/0/0 modem 0 | include 8.101.
20    10    host    unknown  8.101.47.50  static  0006.25e3.8fa3
126   11    host    unknown  8.101.50.37  static  0009.5ba1.f3e3
127   10    host    unknown  8.101.49.228 static  0030.1b27.e410
135   10    host    unknown  8.101.49.238 static  0008.00c0.cd33
150   10    host    unknown  8.101.50.57  static  0013.106b.ff86
360   11    host    unknown  8.101.47.51  static  0006.b104.737e
419   10    host    unknown  8.101.50.49  static  000f.6667.83a0
421   10    host    unknown  8.101.51.179 static  0012.1723.057a
431   10    host    unknown  8.101.50.56  static  000f.66e5.7976
723   10    host    unknown  8.101.51.170 static  0006.b122.76a6
771   11    host    unknown  8.101.50.47  static  000f.6667.513c
853   10    host    unknown  8.101.49.254 static  0013.10fe.6f51
CMTK01#
```

3. “[show controllers cable 5/0/0 upstream 0 | include SNR](#)” This command allows you to see the signal to noise ratio (SNR) on a cable upstream. With most upstream’s now 1-to-1 this command will help you see the SNR the CMTS is seeing back from the node in real time.

```
CMTK01#show controllers cable 5/0/0 upstream 0 | include SNR
US phy SNR_estimate for good packets - 25.462 dB
CMTK01#show controllers cable 5/0/0 upstream 0 | include SNR
US phy SNR_estimate for good packets - 26.960 dB
CMTK01#show controllers cable 5/0/0 upstream 0 | include SNR
US phy SNR_estimate for good packets - 26.7647 dB
CMTK01#
```

“[clear cable modem \[MAC or IP\]](#)” or “[clear cable modem \[MAC or IP\] Delete](#)” This command will allow you to clear out a cable modem that has been removed from the system or that might be hung up. FSR’s might need this command ran after swapping a cable modem.

```
CMTK01#clear cable modem 0000.39c1.7863 delete
CMTK01#
```

4. “[show cable modem \[IP or MAC\] flap](#)” This command will let you see if the cable modem has been taking hits, Misses, and flaps. Edgehealth has this information but for some reason it is not accurate so use this command to get the flap numbers. This command also lets you see the last time the modem had a flap. Flaps can help you to see if there are plant issues like bad drops or issues with line extenders.

```
CMTK01#sho cable modem 10.0.117.64 flap
MAC Address  I/F      Ins  Hit  Miss  CRC  P-Adj  Flap  Time
000f.9faa.754c C5/0/0/U0 0    43680 213  0    0      2    Jun 1 00:11:48
CMTK01#
```

.” [Show cable modem \[IP or MAC\] Verbose](#)” This command gives you a lot of information on the cable modem like the numbers of CEP IP’s, Flaps, bandwidth, errors, IP address, MAC address, RX/TX Power, time online and DOCSIS version.