



## **TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Tietotekniikka**

**Tietoliikennetekniikka**

## **INSINÖÖRITYÖ**

**DVB-T2-järjestelmän kehysrakenne ja käyttö**

**Työn tekijä: Gona Fazil Baker**  
**Työn ohjaaja: Jouko Kurki**

**Työ hyväksytty: 26.5.2010**

**Jouko Kurki**  
**Yliopettaja**



## **ALKULAUSE**

Tämä insinöörityö on tehty opinnäytetyönä Metropolia ammattikorkeakoulun Tietotekniikassa tietoliikennetekniikan suuntautumisvaihtoehdossa.

Haluan esittää suuret kiitokset valvojalleni Jouko Kurjelle insinöörityöaiheesta sekä rakentavista korjaus- ja parannusehdotuksista. Kiitokset kuuluvat myös kieliasuntarkastajalle Jussi Alhorinteelle.

Suurimmat kiitokset kuuluvat myös vanhemmilleni Fazil Bakerille ja Nihajat Ibrahimille sekä sisaruksilleni koko opiskelujen aikaisesta kannustuksesta ja yleisestä huolenpidosta työn valmistumisen suhteen.

Rakkaimmat kiitokset puolisolleni diplomi-insinööri Nasir Kadirille, kiitos tuestasi niin opiskeluaikana kuin elämän kaikkina muina hetkinä, tukesi on ollut korvaamaton.

Omistan tämän työn pojallamme Brua Romanille, jonka iloisuus ja ennakkoluulottomuus antoivat minulle voimaa saada tutkintoni loppuun.

Helsingissä 26.5.2010

Gona Fazil Baker

## TIIVISTELMÄ

<b>Työn tekijä:</b> Gona Fazil Baker	
<b>Työn nimi:</b> DVB-T2-järjestelmän kehysrakenne ja käyttö	
<b>Päivämäärä:</b> 26.5.2010	<b>Sivumäärä:</b> 40 s. + 4 liitettä
<b>Koulutusohjelma:</b> Tietotekniikka	<b>Suuntautumisvaihtoehto:</b> Tietoliikennetekniikka
<b>Työn valvoja:</b> yliopettaja Jouko Kurki  <b>Työn ohjaaja:</b> yliopettaja Jouko Kurki	
<p>DVB-projektin tavoitteena on pohjustaa uutta DVB-T2-standardia. Työhön lähdettiin puhtaalta pöydältä edellyttämättä yhteensopivuutta vanhaan tekniikkaan. Standardin valmistus ja tekniset toteutukset ajoittuvat vuosiin 2010–2012. DVB-T2-standardin saatavuus tuo uusia mahdollisuuksia maanpäälliseen TV-jakeluun, se toimii samalla periaatteella kuin DVB-T, mutta on tiedonsiirtokapasiteetiltaan tehokkaampi teräväpiirtotasaisen materiaalin lähettämiseen. DVB-T2-tekniikassa pakkaustapana käytetään kehittyneempää MPEG-4 / AVC- muotoa. Se tiivistää samaan tilaan neljästä viiteen teräväpiirtoista kanavaa. Palveluntarjoajat voivat tarjota kuluttajille myös uusia palveluja maanpäällisessä digitelevisiossa.</p> <p>DVB:n toisen sukupolven järjestelmät, jotka on varsinaisesti tarkoitettu HDTV-käyttöön, julkaistiin standardeina DVB-S2 vuonna 2004, DVB-T2 vuonna 2008 ja DVB-C2 vuonna 2009. Kaikissa kolmessa toisen sukupolven digi-TV-jakelujärjestelmässä on käytössä uusinta teknologiaa edustavat modulaatio- ja virheenkorjausmekanismit. Niillä saavutettu kaistanleveyden käyttöön tehokkuus onkin hyvin lähellä teoreettista maksimisuorituskykyä.</p> <p>Tässä insinööriyössä syvennyttään uuteen antennivastaanottoon järjestelmään DVB-T2:een. Kaapeliverkon päivitetty DVB-C2-standardi perustuu pitkälti DVB-T2-standardiin. Uusittu satelliittijakelun DVB-S2-järjestelmä onkin jo laajalti käytössä, se on rakennettu niin joustavaksi, että sitä voidaan käyttää olemassa oleviin satelliitteihin.</p>	
<b>Avainsanat:</b> DVB-T2/C2/S2, OFDM, HDTV, IP-TV	

## ABSTRACT

<b>Name:</b> Gona Fazil Baker	
<b>Title:</b> DVB-T2 structure and use	
<b>Date:</b> 26.5.2010	<b>Number of pages:</b> 40
<b>Department:</b> Information technology	<b>Study Programme:</b> Telecommunication
<b>Instructor:</b> Jouko Kurki, Principal Lecturer <b>Supervisor:</b> Jouko Kurki, Principal Lecturer	
<p>DVB Project's aim is to prepare a new DVB-T2 standard. Work was started with a clean slate without requiring compatibility with the old technology. Processing and technical implementations of the new standard are scheduled for years 2010-2012. DVB-T2 standard brings new opportunities for terrestrial television distribution. It works with the same principle as DVB-T, but has a more transmission capacity for HD-quality broadcasting. DVB-T2 technology tends to use more advanced MPEG-4 / AVC video coding technology. It encapsulates up to four or five high definition channels into the same space as DVB-T is capable to 4-5 standard definition channels using MPEG-2 compression. Service providers can offer consumers new services, including terrestrial digital television.</p> <p>DVB's second generation systems, which are actually intended for HDTV use, published standards DVB-S2 in 2004, DVB-T2 in 2008 and DVB-C2 in 2009. All three second generation digital distribution systems are using the latest technologies for modulation and error correction coding. With the new technology effectiveness of the bandwidth is very close to the theoretical maximum performance.</p> <p>In this study we look into new 2<sup>nd</sup> generation terrestrial broadcasting DVB-T2. Updated cable transmission DVB-C2 and 2<sup>nd</sup> generation satellite broadcasting which is already widely used, it is built so flexible that it can be used on existing satellites.</p>	
<b>Keywords:</b> DVB-T2/C2/S2, OFDM, HDTV, IP-TV	

## SISÄLLYS

### ALKULAUSE

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ANTENNIJAKELU DVB-T2</b>	<b>3</b>
2.1	Arkkitehtuuri	7
2.2	Kehysrakenne	8
2.3	OFDM-monikantaaaltomodulointi	9
2.4	Modulaatiotekniikka	11
2.5	Kierretty konstellaatio	12
2.6	Rinnakkaiset multipleksit	13
2.7	Virhesuojaus ja aikalomittelu	17
2.7.1	<i>SFN-verkko</i>	18
2.7.2	<i>Suojaväli</i>	19
2.7.3	<i>Pilotkantoaallot</i>	20
2.7.4	<i>Modulaattorit</i>	21
2.7.5	<i>Tehopiikkien rajoitus</i>	23
2.8	DVB-T2 Suomessa	25
<b>3</b>	<b>KAAPELIJAKELU DVB-C/C2</b>	<b>26</b>
3.1	DVB-C2 OFDM-modulaatio	29
3.2	Satelliittijakelu DVB-S/S2	30
<b>4</b>	<b>IP-TV HD SIIRROSSA</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>38</b>
	<b>VIITELUETTELO</b>	<b>39</b>

## 1 JOHDANTO

Teräväpiirtotelevisio lähetyksiä (HDTV, High Definition Television) varten on kehitetty uuden sukupolven maanpäällinen digitaalinen videolähetystoimintastandardi DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial), jota on kehitetty DVB (Digital Video Broadcasting)-projektin toimesta ja julkaistu eurooppalaisina standardeina (ETSI, European Telecommunications Standardisation Institute). Antennijakelussa DVB-T2-lähetyssstandardi lisää kapasiteettiä 30 – 100 prosenttia verrattuna nykyisin käytettyyn DVB-T:hen (Terrestrial). DVB-T2 mahdollistaa yhteen multipleksiin noin 35 Mbit/s lähetysvirran kun nykyisen antenniverkon kanavanipun siirtokapasiteetti on 22 Mb/s.

Englannissa BBC otti uuden antennijakelun koelähetykseksi vuonna 2007, jolloin se muutti toisen kahdesta multipleksistään DVB-T2:n mukaiseksi. Tällä tavoin yhtiö pääsi aloittamaan HD-lähetykset ilman lisätaajuuksien tarvetta. DVB-T:n ja DVB-T2:n odotetaan olevan pitkään käytössä rinnakkain. DVB-T2-tekniikan on tarkoitus levitä Englantiin Lontoon olympialaisiin 2012 mennessä. Suomessa DVB-T2-tekniikka otetaan käyttöön vuonna 2010.

DVB-T2-tekniikkaan on lisätty teknisiä innovaatioita, jotta saadaan vahvistettua suoritustehoa ja parantamaan yhden taajuuden verkkoarkkitehtuurin (SFN, Single Frequency Network) kattavuutta ja helpottamaan sekä lähettimen että vastaanottimen toteutusta. Kuvassa 1 on esitetty DVB-T2-järjestelmä kokonaisuudessaan, jota tullaan pilkkomaan tässä insinööriyössä.

Maanpäällistä lähetysverkkoa eli antenniverkkoa käytetään tiedonsiirtoon. Antennijakelussa on käytössä tällä hetkellä DVB-T:n lisäksi, jota käytetään Euroopassa, Etelä-Amerikassa ja Australiassa kaksi muuta jakelujärjestelmää. ATSC (Advanced Terrestrial System Committee), joka on DVB-T:n kanssa kilpaileva tekniikka, käytetään Yhdysvalloissa, Kanadassa, Meksikossa, Taiwanissa ja Etelä-Koreassa. ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial) on käytössä Japanissa.

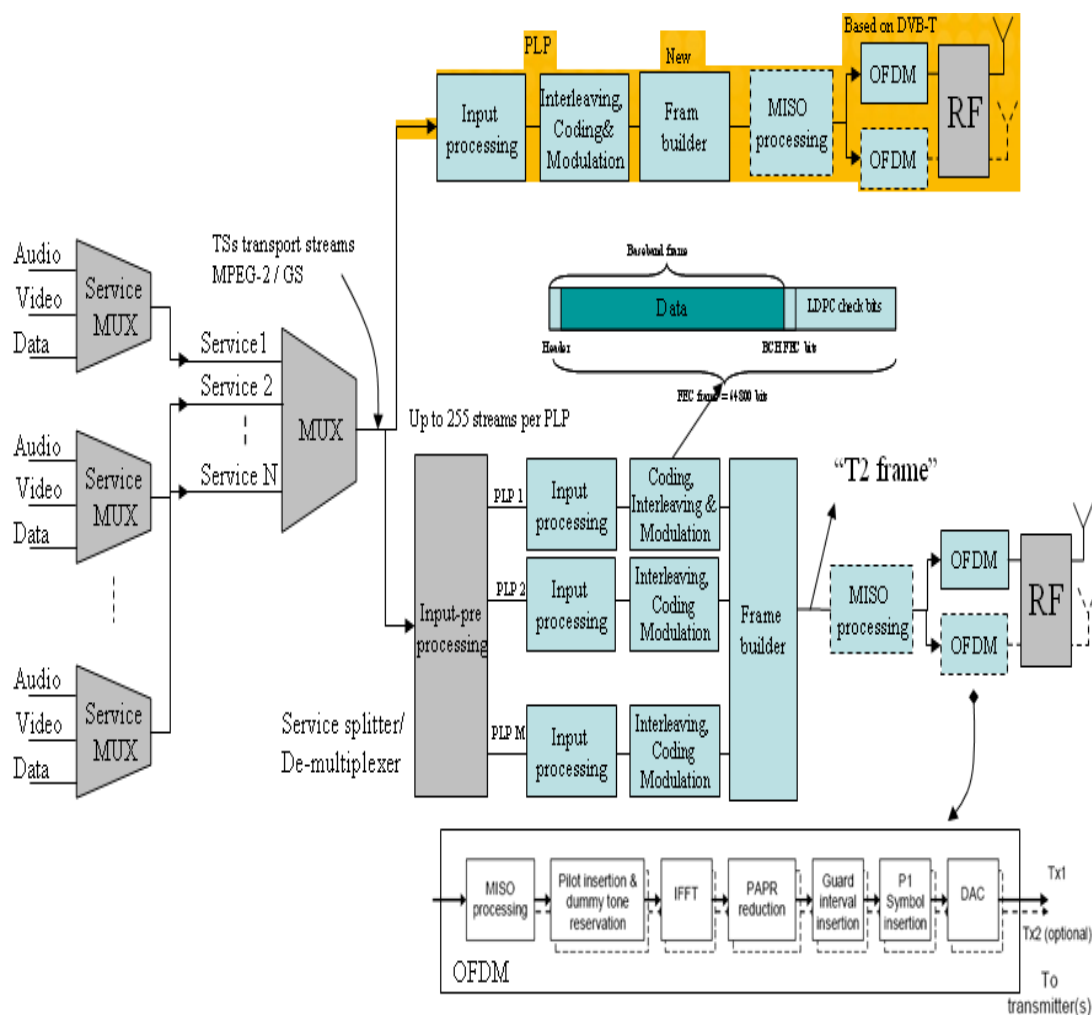
Teräväpiirtotarkkuuden omaavaa televisiota HD ready (High Definition) ja Full HD eli täysteräväpiirto. HD ready koostuu 1024 x 720 kuvapisteestä ja

television kuvantarkkuus on oltava vähintään 720 vaakajuovaa, jolloin se pystyy toistamaan 1280 x 720 kuvapisteen teräväpiirtokuvan kaikki pikselit.

HDTV tuo perinteiseen televisiokuvaan selkeästi tarkempaa kuvaa ja parempaa ääntä. HDTV-lähetykset lähetetään 16:9-kuvasuhteella. Kaupallisesti PAL (Phase Alternate Line) formaatit ovat minimissään 720p (1280 x 720 pikseliä) ja maksimissaan 1080i ja 1080p (1920 x 1080 pikseliä). PAL-järjestelmä näyttää 25 kuvaa sekunnissa, mutta ne koostuvat kahdesta lomitetusta puolikuvasta. Vaakajuovat piirretään ensin parittomina ja sitten parillisina. Lomitettu televisio näyttää 50 puolikuvaa sekunnissa. Progressiivinen signaali siirtää koko kuvan kerralla ruutuun. Kuvan kaikki juovat piirretään samanaikaisesti päinvastoin kuin lomitetussa signaalissa, joka näyttää vain kerralla vain joka toisen juovan. HDTV-lähetykset tarjoavat lähes viisi kertaa tarkempaa kuvaa kuin SDTV-lähetykset (Standard Definition Television).

Kuvanpakkaustekniikaksi otettiin MPEG-4 Part 10, jota otettiin MPEG-2-tekniikan avuksi. Se on tehokkaampi menetelmä, joka pakkaa videosaunan puolet pienempään tilaan. Se tunnetaan myös nimellä H.264 ja MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding). Sen edellytyksenä on, että digi-tv-jakelujärjestelmän kuva- ja äänisignaalit muutetaan digitaalimuotoon ja pakataan mahdollisimman tehokkaasti. Tämän jälkeen pakatuille kuva- ja äänisignaaleille tarvitaan järjestelmäkerros, jossa ne ovat sellaisessa muodossa, että ne voidaan viedä jakelujärjestelmään.

Tässä insinööritöössä perehdytään antennijakeluun DVB-T2- tekniikkaan ja tehdään yleiskatsaus kaapelijakeluun (DVB-C/DVB-C2) ja satelliittijakeluun (DVB-S/DVB-S2).



Kuva 1. DVB-T2-järjestelmä [17]

## 2 ANTENNIJAKELU DVB-T2

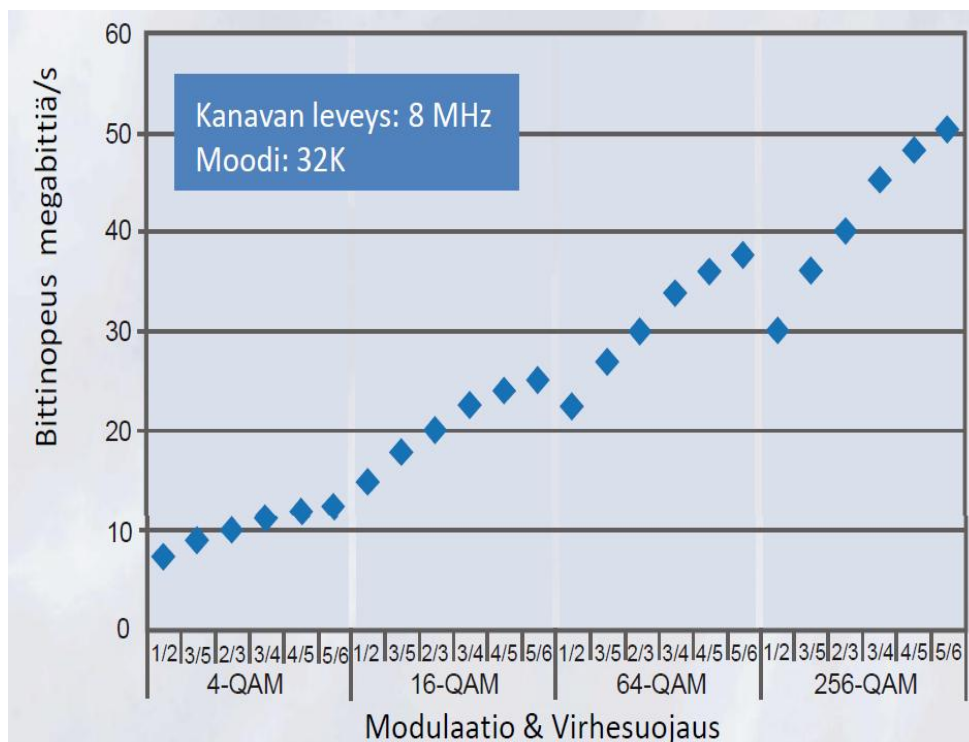
DVB-T2-järjestelmän tuomat merkittävimmät muutokset nähdään taulukosta 1. DVB-T2 on digitaalinen maanpäällinen lähetyksjärjestelmä, joka ottaa käyttöön viimeisimmät koodaustekniikat mahdollistaakseen erittäin tehokkaan äänen, videon ja tietopalvelujen toimituksen kiinteisiin, siirrettäviin ja mobiililaitteisiin. Tämä järjestelmä lähettää tiivistettynä digitaalista ääntä ja videota käyttäen OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)-modulaatiota. Data on tehokkaasti pakattua audio- ja videosignaalia kuten myös DVB-T:ssä. Suomessa käytössä olevien parametrien mukaan DVB-T-kanavanippuun mahtuu 4-6 ohjelmakanavaa ja sen siirtokapasiteetti on 22 Mb/s. DVB-T2:ssa MPEG-4 Part 10/AVC-pakkausmenetelmää käyttäen saadaan mahtumaan yhteen kanavanippuun neljä tai viisi teräväpiirtokanavaa, joka on noin kaksikymmentä perustarkkuudenkuvakanavaa. DVB-T2-datanopeus on noussut 22 megabitistä noin 35 Mb/s:iin.

Suorittaakseen virheenkorjausta DVB-T2 käyttää samaa koodausta kuin DVB-S2- ja DVB-C2-järjestelmissä eli BCH- ja LDPC-virheenkorjausmenetelmää (Bose-Chaudhuri-Hocquengham ja Low Density Parity Check Code). Yhdessä ne antavat erinomaisen suorituskyvyn ja hyvin toimivan signaalin korkeilla kohina- ja häiriötasoilla.

Merkittävin muutos on spektritehokkuuden parantaminen. Tämän mahdollistaa mm. siirtyminen OFDM:ssä 64-QAM-modulaatiosta 256-QAM-modulaatioon. Lisäksi DVB-T2-järjestelmässä voidaan käyttää uusia moodeja kuten 16K tai 32K OFDM-modulaatiota. DVB-T2-standardin mukaiset bitinopeudet eri modulaatioilla on esitetty kuvassa 2.

*Taulukko 1. DVB-T- ja DVB-T2-järjestelmien vertailu*

	DVB-T	DVB-T2	Tarkoitus
Virheenkorjaus	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 Convolution Coding & Reed Solomon	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6 LDPC & BCH	Bittivirheiden korjaus
QAM- Konstellaatio	QPSK, 16QAM, 64 QAM	QPSK, 16QAM, 64 QAM, 256 QAM	Symbolin muo- dostaminen amplitudista ja vaiheesta
OFDM- Moodi	2K, 8K	1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K	FFT:n koko
Suojaväli	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128	Suoja-aika, jon- ka ajan sisällä tulevat heijas- tumat eivät häi- ritse vastaanot- toa



Kuva 2. DVB-T2-järjestelmän bittinopeudet eri modulaatiolla ja virhesuojaustasoilla. Kanavan leveys on 8 MHz ja moodi 32K [5]

DVB-T2:n suorituskykyäparantavia ominaisuuksia:

- Ohjelmalähetys liikkuville ja paikallaan oleville vastaanottajille.
- 64-QAM -> 256-QAM
- Jopa 100 prosenttia korkeampi siirtokapasiteetti ja parannettu SFN-tekniikkaa.
- DVB-T perusrakenteen laaja uudelleen käyttö, joiden myötä DVB-T2-verkossa voidaan lähettää luotettavammin enemmän dataa kuin DVB-T-verkossa.
- Alamouti MISO (kaksi lähetysantennia)
- Uusi virhesuojaus (LDPC ja BCH).
- GSE-bittivirrät (Generic Stream Encapsulation), jotka antavat joustavia mahdollisuuksia IP-datan siirtoon.

Parannetut ominaisuudet:

- PAPR (Peak-to Average Ratio).
- Pilot-kantaaaltojen käyttö uudistettu.
- Uudet moodit 16K ja 32K.
- Kierretty konstellaatio.
- Uusi kehysrakenne, PLP (Physical Layer Pipe).
- Laajennettu kaistanleveys (pienin 1,7 ja muut 5, 6, 7, 8 ja 10 MHz).

Vuonna 2003 kehitettiin MPEG-2:ta tehokkaampi videopakkausstandardi MPEG-4 Part 10/AVC, sen pakkaustehokkuus on noin kaksi kertaa parempi kuin MPEG-2:ssä. Videosignaalin pakkaukseen matkapuhelimista HDTV lähettyksiin sekä multimediasovelluksiin Internet-protokollan verkoissa MPEG-4-pakkaustekniikka sopii erinomaisesti.

MPEG-4 AVC:n kuuluu kuusi eri profiilia. Tärkeimmät kaksi ovat Baseline Profile, joka on tarkoitettu mobiililaitteisiin, ja High Profile, joka on tarkoitettu HDTV-lähettyksiin. AVC-videon bittinopeus voi olla 64 kbps:sta 960 Mbps:iin, joten se on kehitetty myös tulevaisuutta ajatellen. Taulukosta 2 voidaan nähdä MPEG-4 Part 10/AVC- tasoja.

*Taulukko 2. MPEG-4 Part 10/AVC-tasot [18]*

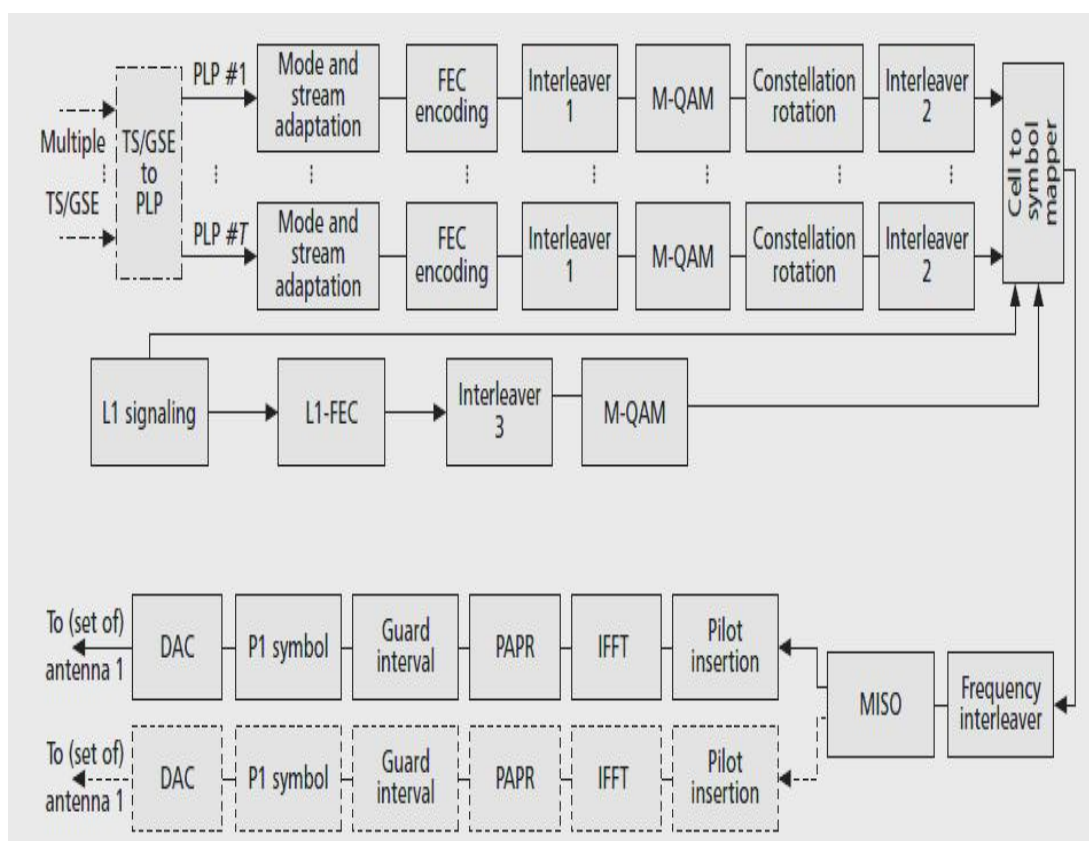
Level number	Typical picture size	Max. frame rate for typ. picture size	Max. compressed bit rate	Max. number of reference frames for typ. pict. size
1	QCIF	15	64 kbps	4
1.1	320x240 QCIF	10 30	192 kbps	3 9
1.2	CIF	15	384 kbps	6
1.3	CIF	30	768 kbps	6
2	CIF	30	2 Mbps	6
2.1	HHR	30/25	4 Mbps	6
2.2	SD	15	4 Mbps	5
3	SD	30/25	10 Mbps	5
3.1	1280x720p	30	14 Mbps	5
3.2	1280x720p	60	20 Mbps	4
4	HD 720p,1080i	60p/30i	20 Mbps	4
4.1	HD 720p,1080i	60p/30i	50 Mbps	4
4.2	1920x1080p	60p	50 Mbps	4
5	2k x 1k	72	135 Mbps	5
5.1	2k x 1k 4k x 2k	120 30	240 Mbps	5

## 2.1 Arkkitehtuuri

DVB-T2-järjestelmän yleinen arkkitehtuuri on esitetty kuvissa 1 ja 3. Järjestelmään syötetään yksi tai useampi MPEG-2 Transport Streamiä (TS) tai yleistä Streamiä (GSE).

GSE-esiprosessori (Generic Stream Encapsulation), joka ei varsinaisesti kuulu T2-järjestelmään, voi sisältää datan jakajan tai kanavointilaitetta, jotta TS voi jakaa yhtä tai useampaa loogista kanavaa T2-järjestelmään.

DVB-T2 mahdollistaa 256-QAM-modulaation käytön ja siinä käytetään uutta virheenkorjaustekniikkaa. Lisäksi COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing)-parametrit on laajennettu, jotta saadaan lisää joustavuutta ja näin olleen enemmän mahdollisuuksia erilaisiin asetuksiin. COFDM-tekniikassa bittivirta jaetaan tuhansille rinnakkaisille kantoaaltoille ja virheenkorjausbittejä varten luodaan uusia polkuja.

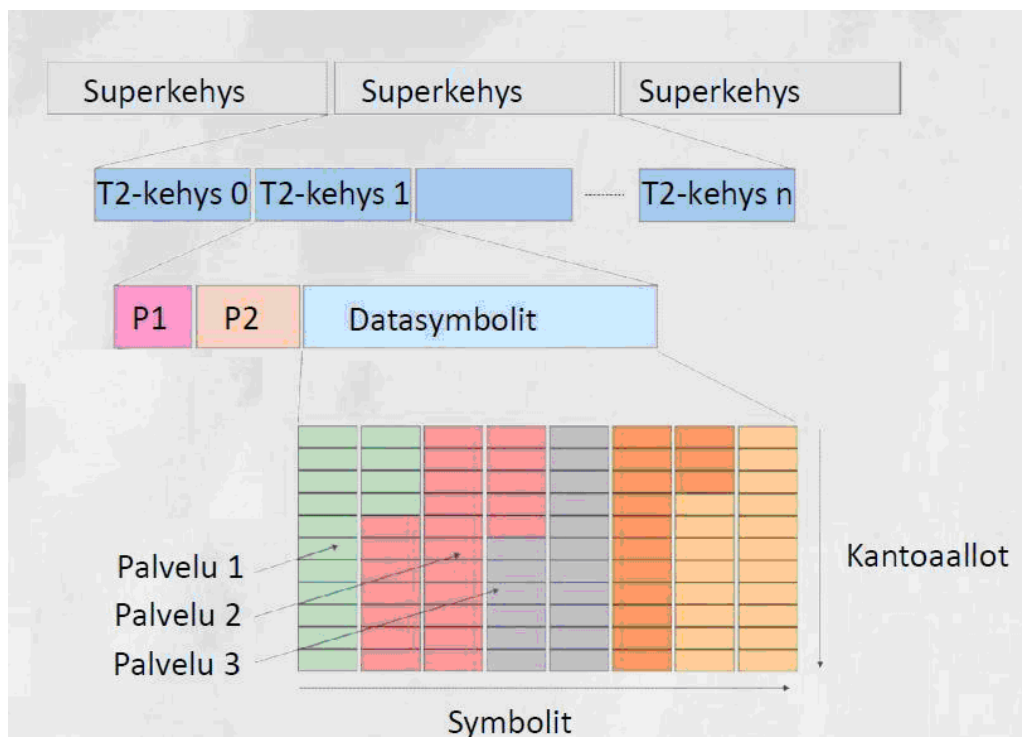


Kuva 3. DVB-T2-arkkitehtuuri [2]

## 2.2 Kehysrakenne

DVB-T2-tekniikassa on täysin uusittu kehysrakenne, joka mahdollistaa erilaisten tietojen lähettämisen eri kehyksissä. DVB-T2-tekniikassa käytettävä kehysrakennetta ei voi vastaanottaa nykyisellä DVB-T-digivastaanottimella. DVB-T-kehysten lähettäminen voidaan käyttää erilaisia modulaatioparametreja. Televisiolähetyksissä oleva hyötydata on MPEG-TS-datapaketti, kuitenkin standardi tukee IP-paketin lähettämistä hyötydatana. IP-paketointia kutsutaan IP-Baseband-kehykseksi, joka koodataan Generic Stream Encapsulation-menetelmällä. Teoriassa yhteen kanavanippuun voidaan lähettää samanaikaisesti useita erilaista dataa, eri vastaanotintyypeille optimoituja lähteitä. Käytännössä eri vastaanotintyypeille optimoidut kehykset lähetetään peräkkäin samasta lähettimestä. Eri modulaatioparametrit eri kehyksissä mahdollistavat erilaisia lähetyksiä kuten esimerkiksi samasta kanavasta lähetetään parempaa teräväpiirtokuvaa parempiin olosuhteisiin ja perustarkkuudenkuvaa huonompiin olosuhteisiin.

Kehyksessä hyötydatan mukana on edessä P1- ja P2-tietokentät, jonka avulla kehys tunnistetaan sekä käsitellään oikein. P1 tietokentässä saadaan tieto DVB-T2-kehyksestä sekä sen moduloinnissa käytettävä FFT-koko (Fast Fourier Transform). P2 tietokentässä on vastaavasti tieto eri palveluiden datan sijainti ja pituus sekä sisäinen signaalointitieto. DVB-T2 lisäsignaali vie noin 0,7 % siirtokaistasta, mutta tuo vastapalvelukseksi paljon joustavuutta, kuten näihin P1- ja P2-tietokenttiin voidaan määritellä datan lisäksi oma modulaationsa. Tämä parantaa häiriönsietokykyä sekä erottuu selvästi muista dataliikenteestä. DVB-T2-kehysrakenne tekniikassa on varauduttu tulevaisuuden uudistuksiin. Uudet ominaisuudet kerrotaan kehyksen P1-tietokentässä. Jos DVB-T2-vastaanotin ei ymmärrä kehyksen uutta ominaisuutta se jätetään käyttämättä. Tämä mahdollistaa uusien ominaisuuksien lisäämisen siten, että ne toimivat uusissa tai päivitetyissä DVB-T2-laitteissa, mutta häiritsemättä vanhaa laitetta.

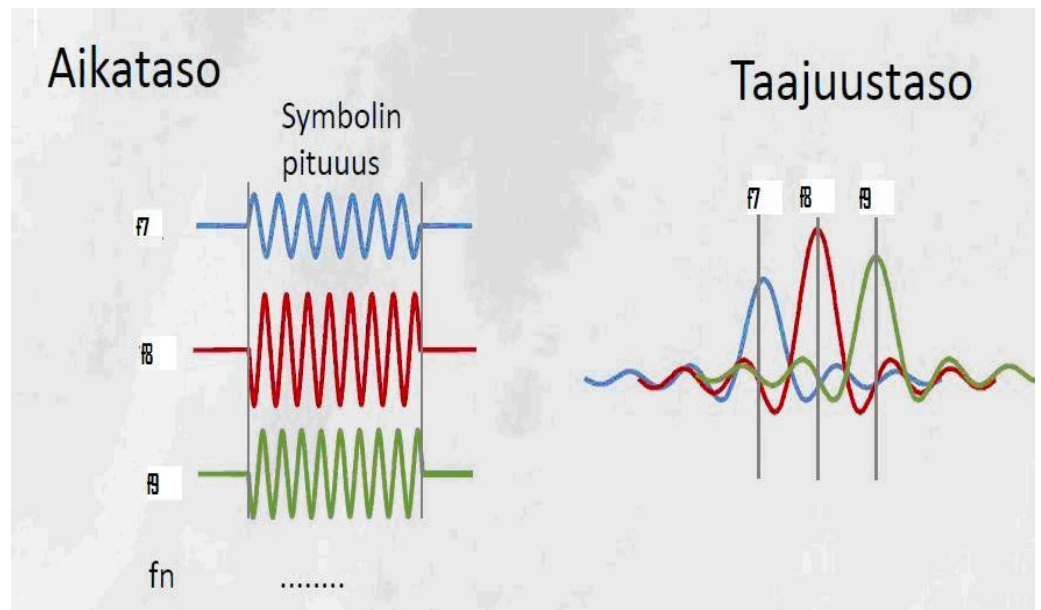


Kuva 4. DVB-T2-kehysrakenne, jossa P1- ja P2-symbolit on tarkoitettu signaalin nopeaan tunnistamiseen ja signalointiin [2]

### 2.3 OFDM-monikantaaaltomodulointi

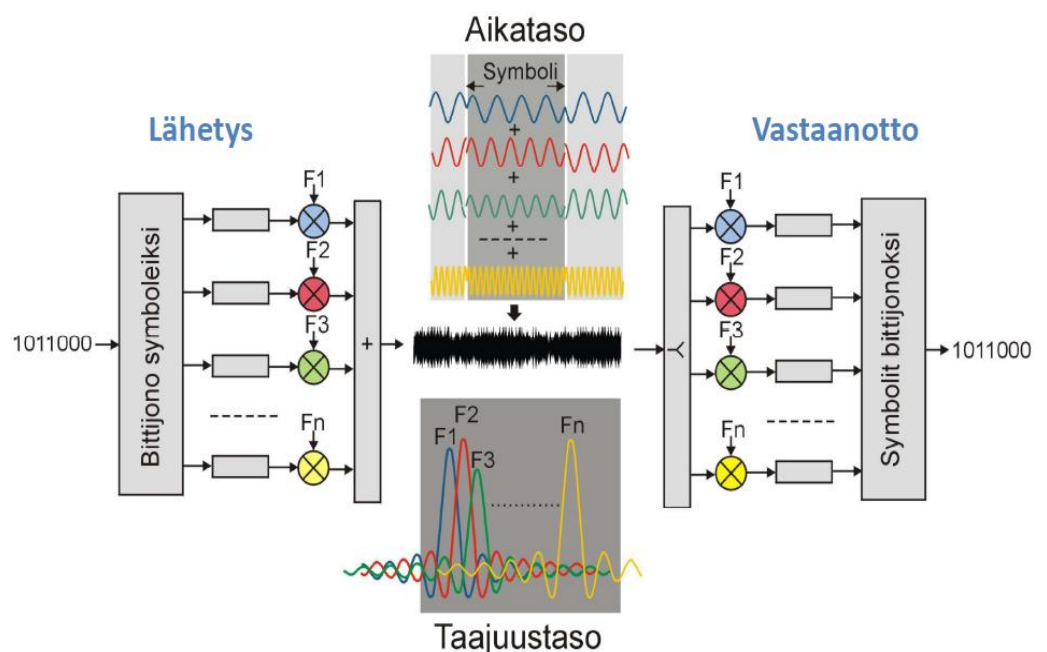
DVB-T2-järjestelmässä käytetään OFDM-monikantaaaltomodulaatiota (Orthogonal Frequency Division Modulation). Sen avulla tiedonsiirtoon käytetään yhden moduloituvan kantaallon sijasta tuhansia erillisiä kantaaltoja. Jokainen kantaalto siirtää muutaman kilobitin datavirran.

OFDM-tekniikassa lähetettävä data on jaettu eri taajuuksiin ja alikanaviin joi- ta käytetään rinnakkain. Alikanavien kaistat ovat kapeita ja niillä olevat sym- bolit ovat ortogonaalisia. Ortogonaalisuudella tarkoitetaan, että vierekkäiset kantaallot eivät häiritse toisiaan, koska yhden kantaallon taajuuden ol- leessa keskikohdassa muiden kantaaltojen amplitudi on nollassa (kuva 5).



Kuva 5. Yhden OFDM-kantaallon ortogonaaliset taajuusspektrit [5]

OFDM-tekniikka toimii siten, että lähettinpäässä multiplekseri lähettää data-virrat lähettimen modulaattoriin (kuva 6). Lähetin muodostaa lähetettävän signaalin käyttämällä käänteistä Fourier-muunnosta. Vastaanotimessa demodulaattori ja demultiplekseri muuttavat analogiset signaalit alkuperäiseen muotoonsa. Vastaanotin laskee myös amplitudit alikanavien taajuusspektristä.



Kuva 6. OFDM-järjestelmässä signaalin siirtoon käytetään suuri määrä erillisiä kanta-aaltoja.[5]

## 2.4 Modulaatiotekniikka

Modulaatio määritellään yleisesti prosessiksi missä kantoaallon jotain ominaisuutta muutetaan hyötysignaalin sisältämän informaation avulla. Lähettimessä modulaattori moduloi signaalin ja vastaanottimessa demodulaattori palauttaa eli demuloi moduloidusta signaalista hyötysignaalin. Modulaatiota langattomassa tiedonsiirrossa käytetään kolmeen eri asiaan.

- Modulaation avulla signaali voidaan siirtää halutulle taajuudelle.
- Modulaatio tarjoaa keinon, jolla hyötysignaalin sisältämä informaatio voidaan muokata muotoon joka on vähemmän altis siirtotien kohinalle ja häiriölle, sekä monitie-etenemisen aiheuttamille ongelmille.
- Modulaatio mahdollistaa monikäyttötekniikat, eli langattoman kanavan jakautumisen usean käyttäjän kesken.

Modulointitekniikoita on kehitetty useita. Modulointitekniikat kuten BPSK (Biphase Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), QAM ja OFDM mahdollistavat kaistan tehokkaamman käytön ja parantavat informaation alttiutta siirtotien häviölle ja häiriölle.

QAM-modulaatio yhdistää PM (Phase Modulation) –moduloinnin ja AM (Amplitude Modulation) –moduloinnin.

QAM-modulaatiosta on esimerkiksi 64-QAM ja 256-QAM. 64-QAM:ssa on esitetty kahdeksan amplitudia ja kahdeksan vaihe-eroa ja 256-QAM:ssa amplitudeja ja vaihe-eroja on 16. Mitä suurempinumeroinen QAM menee siitä, parempi tulee olla sekä signaali-kohina-suhteen (SNR, Signal-to-Noise Ratio), että bittivirhesuhteen (BER).

DVB-T sisältää modulaatioina QPSK-, 16-QAM ja 64-QAM:in. DVB-T2 sallii näiden lisäksi myös 256-QAM-modulaation. Vanhat moodit sallivat 2, 4, tai 6 bitin siirtämistä yhdessä symbolissa, uudessa taas 8 bittiä/symboli. Kapasiteetin kasvu on yli 33 prosenttia.

Kapasiteetin kasvu on hyvä saavutus, mutta vaikka 256-QAM-modulaatio tarjoaa paljon enemmän datasiirtoa, se ei kuitenkaan ole aina paras vaihtoehto, sillä 256-QAM on paljon häiriöherkempi kuin 64-QAM. Näin olleen se tarvitsee ainakin 6 dB lisää kenttävoimakkuutta eli lähetystehon nelinkertaisumista. [2, Li2009.]. Suurempaa häiriöherkkyyttä voidaan korjata tehokkaammalla LDPC-virheensuojaukskoodilla ja sillä, että dataan sisällytetään enemmän redundanssia, joka kuitenkin vie lisää siirtokaistaa. Tähänkin on-

gelmaan löytyy ratkaisu kierretyn modulaatiokuvion eli kierretyn konstellaation avulla, johon syvennymme seuraavassa kappaleessa.

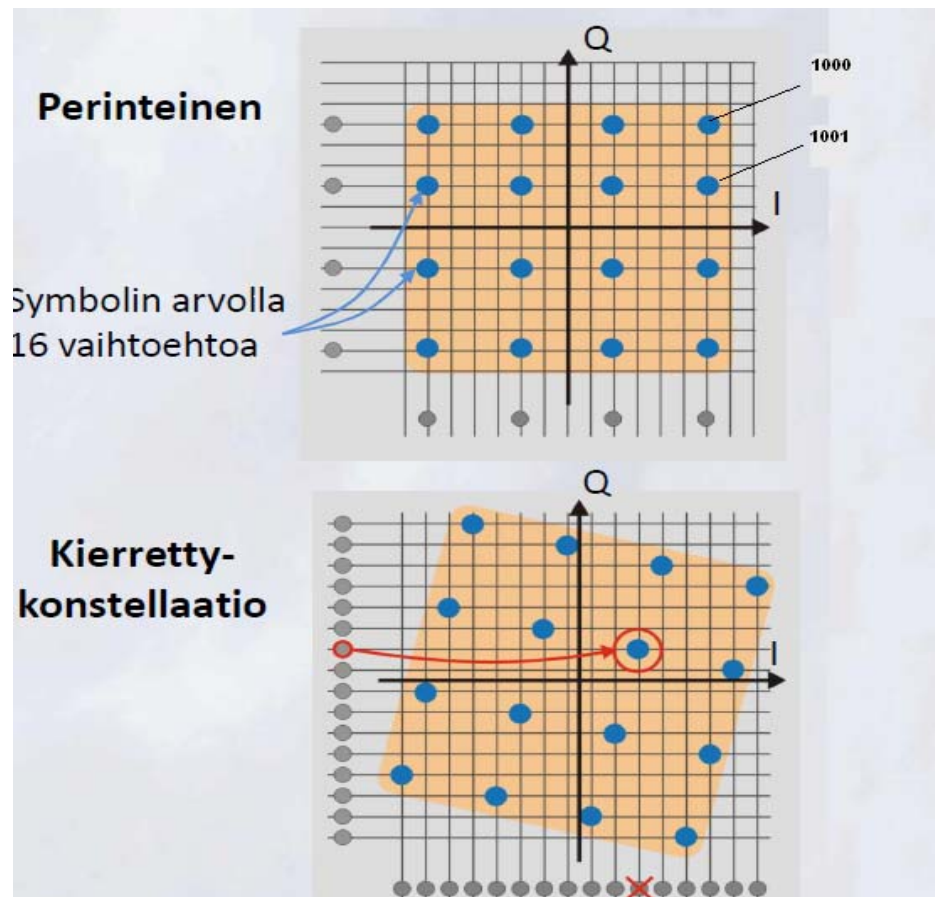
## 2.5 Kierretty konstellaatio

Konstellaatiokuva (tähtikuva) koostuu perinteisesti QPSK- ja QAM-modulaatiosta, kun signaalin hetkelliset amplitudit ja vaihearvot esitetään suorakulmaisessa koordinaatistossa I- ja Q-akselissa. QAM on modulaatiotekniikka, joka yhdistää vaihemodulaation ja amplitudimodulaation.

Konstellaation pisteiden ja niiden esittämän bittikuvion vastaavuus järjestetään Grey-koodin mukaan. Grey-koodilla tarkoitetaan binäärikoodaamista siten, että lukuesityksestä siirryttäessä seuraavaan vain yksi bitti vaihtaa tilaansa. Näin kohinan tai häiriöiden aiheuttama pieni virhe signaalissa muuttaa yhtä bittiä, jonka voi korjata virheenkorjauksella.

QAM:ssä moduloidaan signaalin amplitudia ja vaihekulmaa samanaikaisesti. Modulaatiosymbolien lukumäärä on usein jokin neljän potenssi ja se ilmaistaan lyhenteenä QAM edessä olevalla numerolla, esimerkiksi 256-QAM:lla saadaan vältettyä 8 bittiä tietoa jokaisella kantoaallon pulssilla eli sillä on kuusitoista amplitudia ja kuusitoista vaihe-eroa.

DVB-T2-järjestelmässä konstellaatiota voidaan kääntää niin, että pisteiden päällekkäisyyttä ei tapahdu, vaikka toinen akselista häipyisi kokonaan (kuva 7). Kierrätetyssä konstellaatiossa tiettyä kiertokulmaa sovelletaan kompleksitasossa niin, että kumpikin komponentti I tai Q saa riittävästi tietoa, mikä vastaanotettu symboli on kyseessä. Tämän jälkeen käynnistetään lomittelu-prosessi, jota suoritetaan ainoastaan Q-komponentin yli. Tämä tehdään, jotta voidaan lähettää I ja Q mahdollisimman tehokkaasti erillään eri kantoaalloilla ja hyvin virhesuojattuna. Tällä tavalla voidaan korjata konstellaatiopiste vastaanottimessa, vaikka yksi komponenteista tuhoutuisi. Toinen komponenteista voidaan käyttää korjaajana. Tarkoituksena olisi minimoida todennäköisyys ongelmille, jos molemmat komponentit tuhoutuisivat jakeluketjussa.



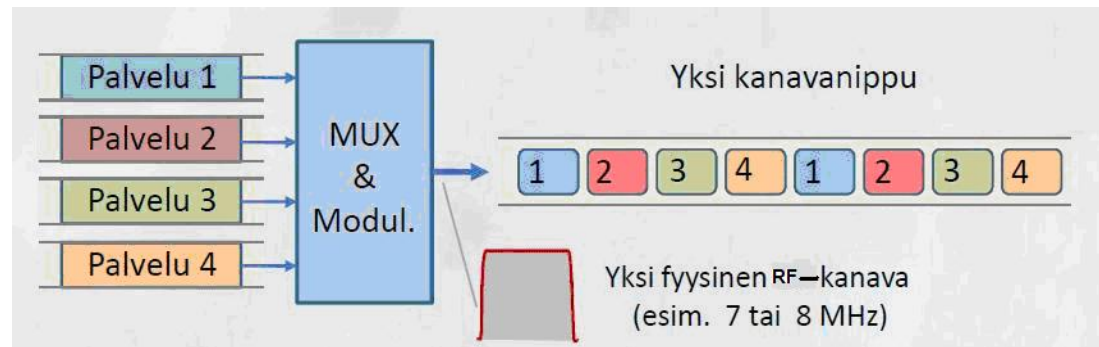
Kuva 7. DVB-T2-tekniikassa on mahdollista kääntää QAM-modulaatiokuva. Tällä varmistetaan, ettei modulaatioakselin vääristyminen aiheuta signaalin modulaatiopisteiden täydellistä päällekkäisyyttä [6]

## 2.6 Rinnakkaiset multipleksit

DVB-T2-järjestelmän merkittävin arkkitehtuurinen muutos on rinnakkaiset multipleksit eli fyysisen tason siirtoputki (PLP, Physical Layer Pipe). Järjestelmä on rakennettu hyvin joustavaksi. DVB-T2-järjestelmässä siirretään useita erilaisia GSE- (Generic Stream Encapsulation) ja TS-bittivirtoja. Standardista käytetään nimitystä PLP-virta. Eri PLP-virroille on mahdollista valita omat lomittelu- ja modulaatiotasot sekä virhesuojaustasot. Jokaiselle putkelle voidaan valita halutut lähetysparametrit. Tällöin sama lähetin voi jakaa erilaisia palveluja erilaisiin tarkoituksiin. Palveluista osa on tarkoitettu esimerkiksi kannettavilla laitteilla ja osa kiinteillä kattoantenneilla. Ongelma ratkaistiin PLP-rakenteen avulla, jossa palvelut välitetään aika-taajuustason kehysrakenteessa.

DVB-T-järjestelmässä on radiokanavia sekä yksi MPEG-2 multipleksi eli yksi TS-bittivirta. Siinä kaikki palvelut lähetetään samalla modulaatio- ja virhesuojauksella. Palvelujen vaatima bittinopeus on vapaasti valittavissa

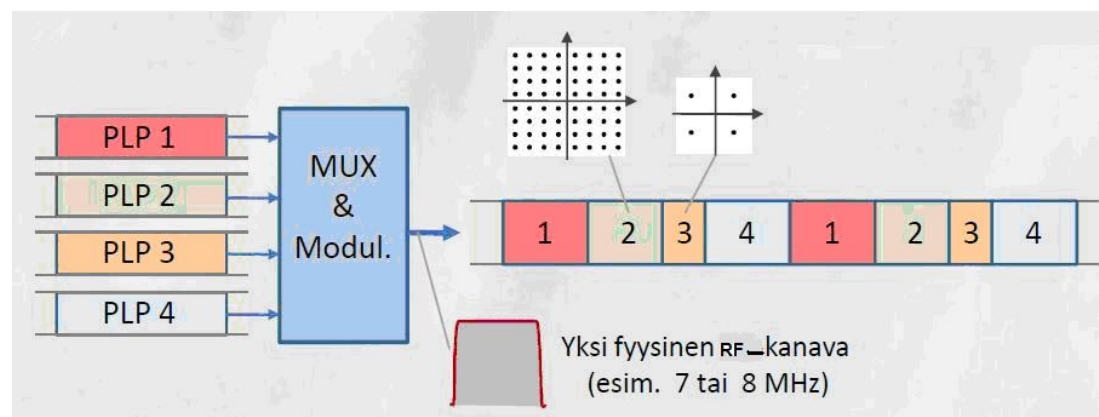
multipleksin siirtokyvyn rajoissa. Ensimmäiset DVB-T2-palvelut lähetettiin myös samalla periaatteella kuin DVB-T-järjestelmässä eli käytettiin yhtä PLP-bittivirtaa (kuva 9).



Kuva 9. DVB-T-järjestelmän yksi radiokanava PLP-bittivirta. Alussa useimmat DVB-T2-palvelut lähetettiin käyttämällä tätä järjestelyä eli yhtä PLP-bittivirtaa [5]

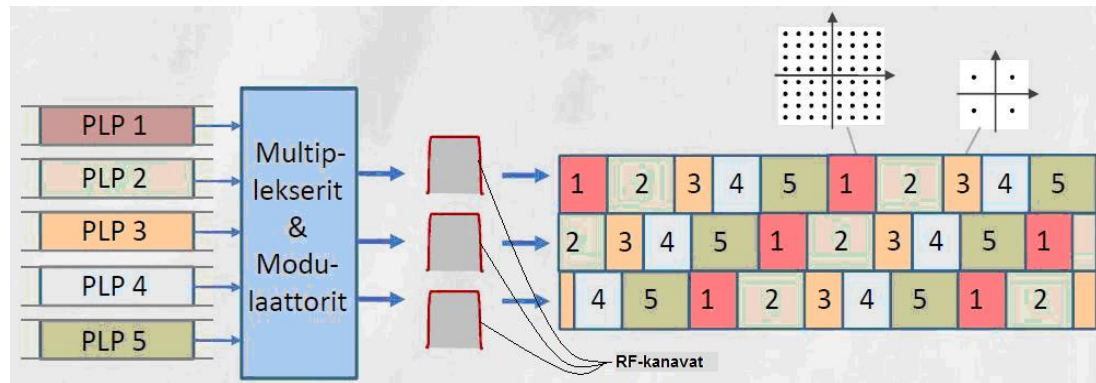
HDTV- ja mobiili-tv-palveluja voidaan jakaa samalla järjestelmällä kun käytetään useita fyysisiä PLP-bittivirtoja (kuva 10). HDTV voidaan lähettää modulaatiolla 256-QAM ja mobiili-tv-palveluille voidaan käyttää 16-QAM-modulaatiota sekä valita tehokkaampi virhesuojaus- ja lomittelumenetelmä.

Vastaanottimessa viritin ja kanavadekooderi voidaan kytkeä vain haluttujen PLP-pakettien vastaanottamiseksi, jolloin järjestelmä mahdollistaa tehonsäästön.



Kuva 10. HDTV-palveluksiin yksi radiokanava ja useita PLP-bittivirtoja. Eri PLP-bittivirroissa voidaan käyttää erilaista modulaatiota, virhesuojausta ja lomittelua [5]

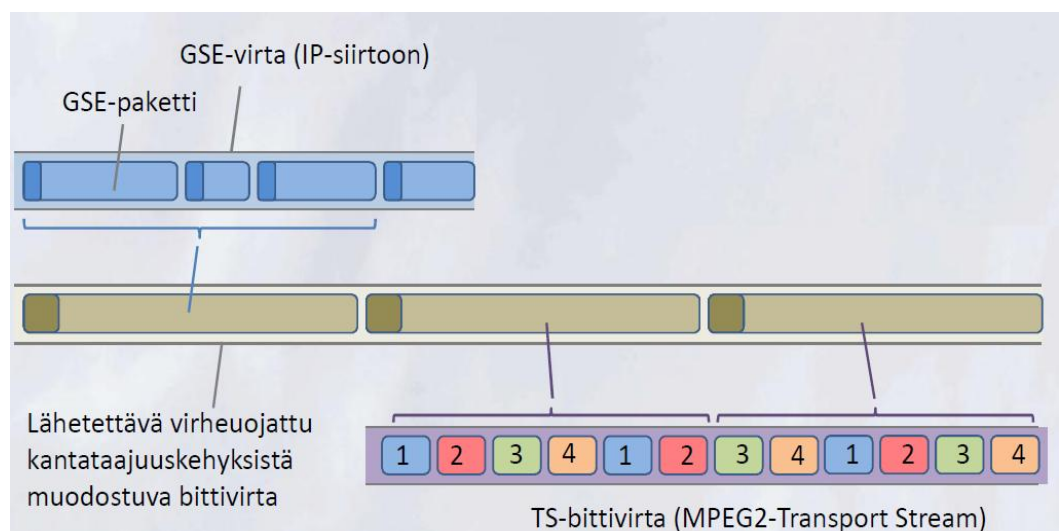
DVB-T2-järjestelmässä voidaan välittää useita radiokanavia ja useita PLP-bittivirtoja. PLP-bittivirtoja lähetetään usean yhteisesti multipleksatun RF-kanavan kautta. Näin voidaan säästää siirtokapasiteettiä, kun käytössä on useita kanavia. Tätä toimintaa kutsutaan aika-taajuus viipaloinniksi (TFS, Time Frequency Slicing) (kuva 11).



Kuva 11. DVB-T2-järjestelmässä on useita radiokanavia, useita PLP-bittivirtoja. Joukko PLP-bittivirtoja siirretään usean yhteisesti multipleksatun RF-kanavan kautta [5]

DVB-T2/S2/C2-järjestelmissä IP-pakettien siirtoon käytetään uutta mekaniismia: GSE-paketoina. IP-paketit sisältävät datan kuten äänen ja kuvan, protokollatiedon. Teoriassa yhteen kanavanippuun voidaan lähettää eri vastaanottotyypeille optimoituja läheteitä. Käytännössä eri vastaanottotyypeille optimoidut kehykset lähetetään peräkkäin samasta lähettimestä. Eri modulaatioparametrit eri kehyksissä mahdollistavat erilaisia lähetyksiä. Esimerkiksi samasta kanavasta lähetetään parempaa teräväpiirtokuvaa parempiin olosuhteisiin ja perustarkkuuden kuvaa huonompiin olosuhteisiin.

GSE-järjestelmässä sama multipleksi voi sisältää rinnakkaisia GSE- ja TS-bittivirtoja (kuva 12).



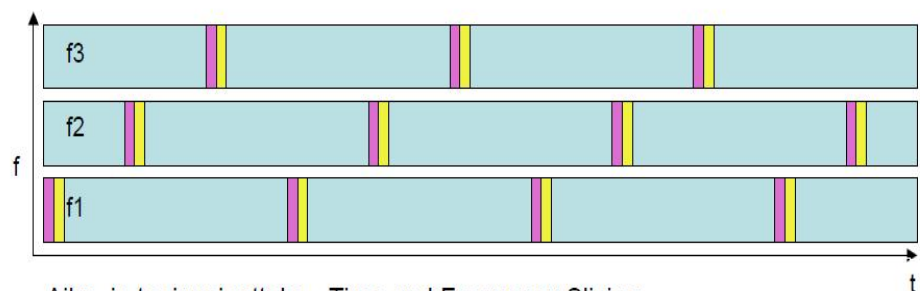
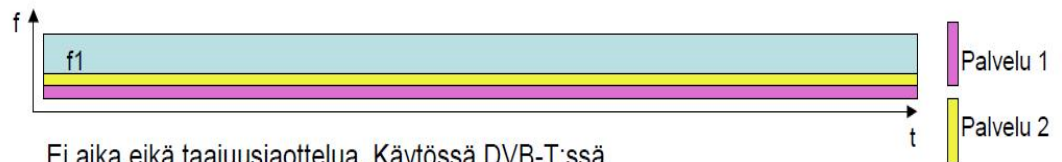
Kuva 12. DVB-S2/T2/C2-järjestelmissä IP-pakettien siirtoon on lisätty uusi mekaniismi GSE-paketointi (Generic Stream Encapsulation) [5]

DVB-T2-standardissa käytetään aika- ja taajuusjaottelua (TFS, Time Frequency Slicing). Tarkoituksena on lähettää yksi palvelu purskeina useilla kantaalloilla niin, että peräkkäiset purskeet lähetetään vuorotellen eri kanavanippujen taajuuksien määräämässä järjestyksessä. Ajan funktiona lähetettävät purskeet ovat tuttuja mobiililaitteiden DVB-H-standardista, jossa palvelut lähetetään vain yhdellä taajuudella ajan funktiona.

TFS-tekniikan merkittävin etu on siinä, että on, jos sama yritys hallitsee useita kanavanippuja. Tällöin saadaan statistinen multipleksaus kaikille lähetyskanaville. Näin muut kanavat voivat vahvistaa yhtä häipyvää kanavaa. TFS:n käyttö kuitenkin edellyttää vastaanottimelta kahta viritintä. Toinen tärkeä etu TFS-tekniikassa on diversiteettivahvistus. Ohjelma käyttää aika- ja taajuusjaottelua, jos yhdelle kanavalle ilmenee häiriötä, se ei vaikuta muihin kanaviin.

DVB-T2-standardidokumentissa lisäominaisuudeksi kuvattu TFS on NorDig-dokumentissa otettu HD-laitteiden pakolliseksi ominaisuudeksi. Sen avulla televisiolähetykset voidaan tarpeen vaatiessa lähettää usealla RF-kanavilla niin, että signaali hyppii nopeasti eri RF-kanavien eli kanavanippujen välillä. Dokumentin mukaan näitä RF-kanavia voi olla käytössä 2 -6 kappaletta.

DVB-T2-standardin kehittämisen alkuvaiheessa haluttiin myös astetta kehittyneemmän MIMO-antennitekniikan (Multiple Input Multiple Output) hyödyntämistä. Lopullinen standardi MIMO-tekniikkaa ei koskaan sisällytty mukaan, koska sen avulla saavutettu viidenneksen parannus ei ollut riittävä peruste kaikkien antennirakennelmien vaihtamiseen. Se ei ole kuitenkaan täysin suljettu pois, koska nykyinen DVB-T2-standardi sisältää laajennuksena FER-kehukset. Niiden avulla voidaan tarvittaessa antaa myöhemmin määrittämiset MIMO:n soveltamisesta, jos sitä halutaan joskus tulevaisuudessa käyttää tehostamaan taajuuksien käyttöä.

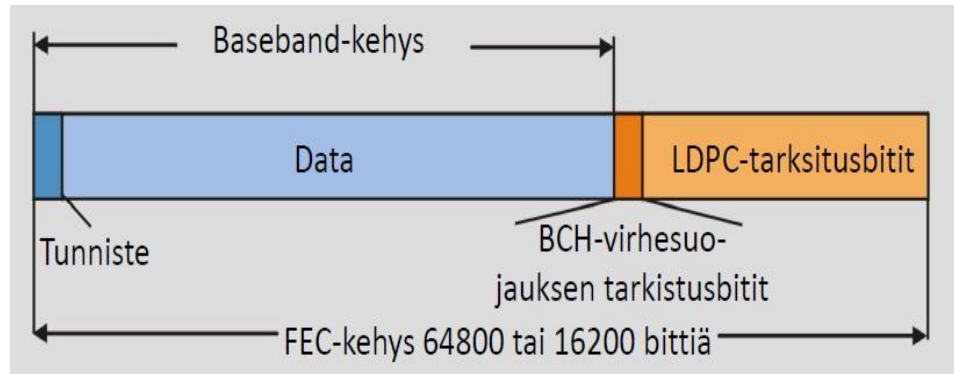


Kuva 13. Aika- ja taajuusjaottelu DVB-T ja DVB-T2 eri tapauksissa [6]

## 2.7 Virheensuojaus ja aikalomittelu

DVB-T2-järjestelmässä käytetään ulkokoodaukseen BCH-koodausta (Bose-Chaudhuri-Hocquengham). Se perustuu matriisilaskentaan ja pystyy korjaamaan useita virheellisiä bittejä yhdessä lohossa. DVB-T2-järjestelmässä BCH-koodaus lisää bittivirtaa 3 % verrattuna DVB-T-järjestelmän, jossa käytetään Reed Solomon-koodausta, joka vie siirtokapasiteettiä 8 %. Toinen virheensuojauksista on LDPC- virheensuojaus (Low Density Parity Check Code), jota käytetään myös DVB-S2- ja DVB-C2-järjestelmissä. LDPC-virheenkorkauskoodit ovat lineaarisia lohkokodeja ja perustuvat matriisilaskentaan. Virheenkorkausmenetelmä toimii hyvin, kun virheet ovat satunnaisesti hyötydatan seassa. LDPC-virheenkorkauskessa käytetään kahta erikokoista lohkoa virhesuojaukseen, jotka ovat 64800 tai 16200 bittiä eli suojattava eli suojattava lohkon koko on suuri verrattuna DVB-T2:ssa oleva (188 x 8 Byte). Suojasuhteena on käytössä mahdollisuudet: 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 (kuva 14). [1.]

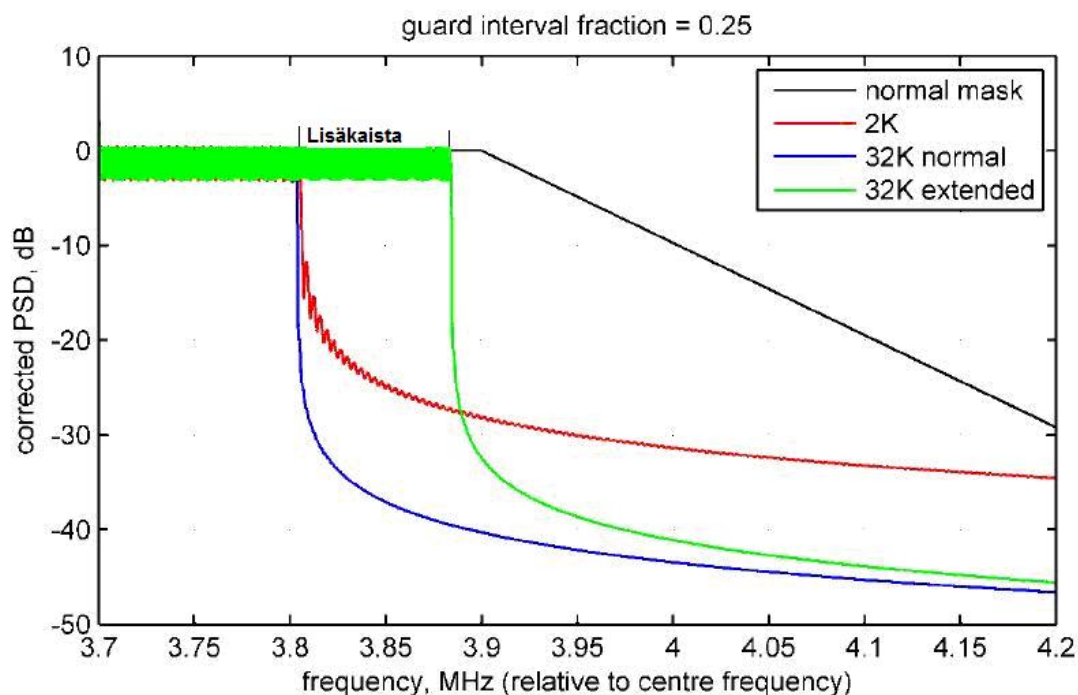
DVB-T2-järjestelmässä virheet satunnaistetaan bittilomitus (Bit-interleaving) tekniikalla, joka tapahtuu solun sisällä. Aikalomitus (Time-interweaving), joka tulee ajan funktiona, auttaa hetkellisissä häiriöissä ja taajuuslomitus (Frequency interleaving), joka tulee taajuuden funktiona, auttaa taajuuskohtaisissa häiriöissä.



Kuva 14. DVB-T2-järjestelmään valittiin sama, hyväksi havaittu, tehokas LDPC & BCH-virhesuojausmekanismi, jota käytetään myös DVB-S2-jakelussa [5]

### 2.7.1 SFN-verkko

DVB-T2 mahdollistaa myös kanavanipun lähettämisen yhtä taajuutta SFN (Single Frequency Network) käyttämällä koko Suomen alueelle, kun taas DVB-T-tekniikassa eri paikkakuntien lähettimet on lomitettava siten, etteivät häiritse toisiaan. DVB-T2-tekniikassa käyttämä yhden taajuuden tekniikka SFN mahdollistaa selvästi nykyistä suurempia alueita. DVB-T-tekniikka tukee FFT (Fast Fourier Transform) järjestelmä kokoja ovat 2K-, 8K-moodeja kun taas DVB-T2 tukee lisäksi 4K-, 16K-, 32K-moodeja, mikä laajentaa yhteistaajuusverkkoja. Voidaan käyttää samantaajuuden tekniikassa MISO-tekniikkaa (Multiple Input Single Output) yhtenäisverkossa, joka hyödyntää Alamouti Scheme-menetelmää. Tämä tekniikka auttaa koko kanavan häipymistä signaalista DVB-T-verkoissa siten, että päälähtetimenä rinnalla samalla taajuudella on parantavia alilähtetimiä tai toistimia. DVB-T2-tekniikassa ei tarvitse enää välttämättä suuria pääasemia vaan useita tiheämmin asetettuja samaa taajuutta käyttäviä lähtetimiä. DVB-T2 laajennettu kaistanleveys tuo lisää dataa kapasiteettia ja se mahdollistaa kaistanleveyden valinnan. Pienin on 1,7 MHz:iä sekä muut ovat 5, 6, 7, 8, ja 10 MHz:iä.

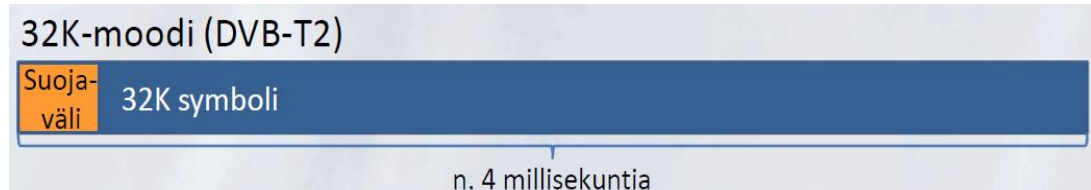


Kuva 16. Laajennettu kaistanleveys suuremmilla FFT:llä 8K, 16K ja 32K. Hyöty riippuu mitä pilotteja käytetään ja mikä FFT-koko valitaan. [6]

### 2.7.2 Suojaväli

DVB-T2-järjestelmässä uusia OFDM-moodeja: 1K, 4K, 16K, ja 32K on lisätty suurentaakseen kantoaaltojen määrää, joka saa kantoaallon symbolinopeutta pienenevänsä, tämä puolestaan mahdollistaa pidemmän suojavälin käyttöön ja maanlaajuisen yhdentajuuden verkkojen rakentamista. T2:ssä symbolin pituutta kasvatetaan, jotta suojavälin suhteellinen osuus pienenesi. Näin voidaan siirtää enemmän dataa signaalissa (kuva 15).

Tärkeimmät uudet moodit ovat 16K ja 32K, niillä saadaan taajuuskaistaa tehokkaammin käyttöön. Kantoaaltojen spektri on kapeampaa toisin kuin DVB-T-järjestelmässä, näin kokonaissignaalin leveyttä voidaan saada lisäämällä OFDM-signaaliin kantoaaltoja.



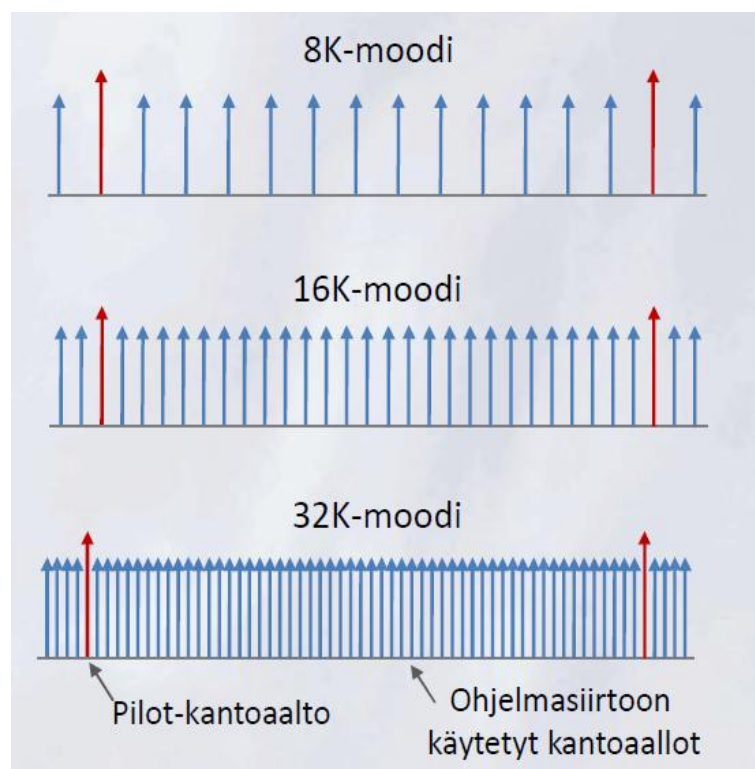
Kuva 15. DVB-T2 32K-moodin suojaväli, symbolien eteen varataan tietty aikajakso, jonka aikana kaikkien heijastuneiden signaalien tulisi saapua vastaanottiin. Käytettäessä 32K-moodia symbolien kesto on 3,584 millisekuntia. [5]

### 2.7.3 Pilotkantoaallot

OFDM-järjestelmissä pilotkantoaaltoja käytetään kanavointiestimointiin. Osa kantoaaltoista käytetään vastaanottimen säätämiseen ja synkronoitumiseen. Piloteilla on tunnettu vaihe ja amplitudi, jonka avulla voidaan korjata jakelutiellä syntyviä signaalivirheitä. Järjestelmässä on kahdeksan erilaista hajautettua pilottikuviota (Scattered Pilots). DVB-T2-järjestelmässä kahdeksasta kuviosta valitaan tehokkain suojavälin mukaan. Tällöin solusta kuluu vain 1 % hajautettuihin pilotteihin, kun taas DVB-T-järjestelmässä 8 % solusta kuluu hajautettuihin pilotteihin. [1.]

Toistuvat pilotit (Continual Pilots) riippuvat uusista moodeista. DVB-T2-järjestelmässä 8K- ja 32K-moodeissa toistuvat pilotit vievät solusta vain 0,35, % kun DVB-T-järjestelmässä viedään 2,6 %. [1.]

DVB-T2-järjestelmässä 16K- ja 32K- moodit pilotteja käytetään vähemmän, sillä käytettävissä on useampia kantoaaltoja. Tällöin ohjelmasiirtokapasiteetti kasvaa (kuva 17). DVB-T-järjestelmässä on käytössä sama pilotkantoaaltojen rakenne kaikissa moodeissa. DVB-T2-järjestelmässä pilotteja käytetään harkitummin. Eri lähetysmoodeille on optimoitu oma pilotrakenne. Näin voidaan pilotkantoaaltojen hukkaamaa siirtokapasiteetti saada minimoitua.



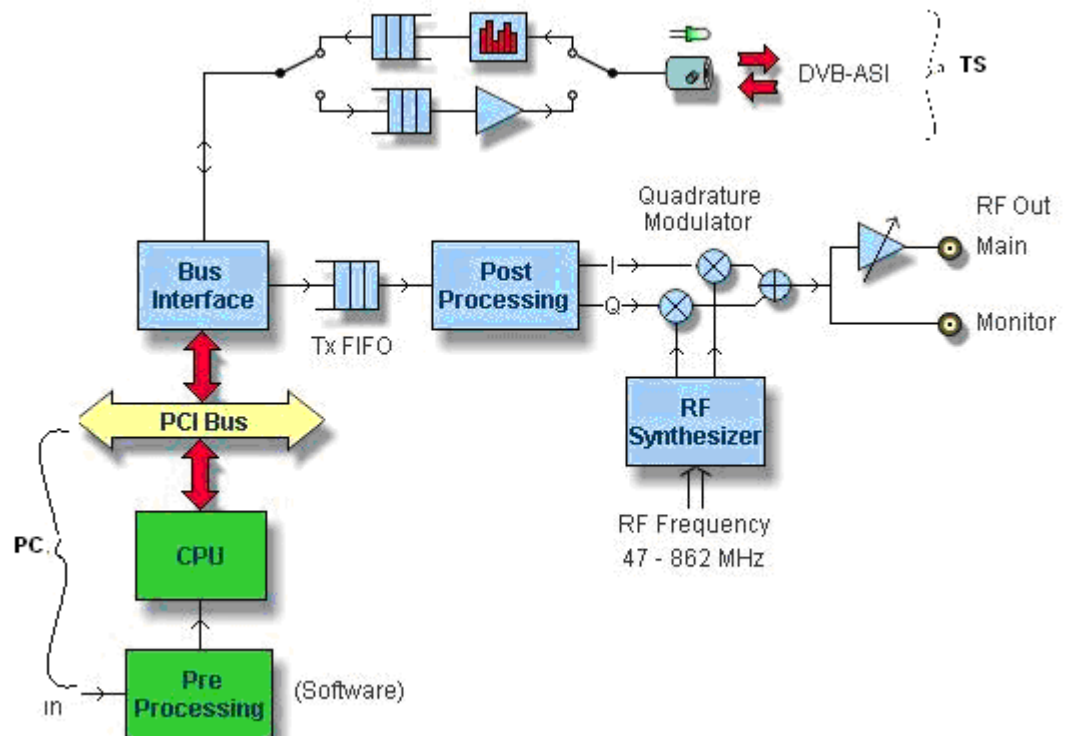
Kuva 17. DVB-T2-pilotkantoaalloille Eri palveluille voidaan antaa omat modulaatiot ja FEC:it, joten saman kanavanipun palveluilla voi olla erilainen robustisuus [5]

#### 2.7.4 Modulaattorit

DVB-T2-järjestelmää varten on kehitetty uusia modulaattoriyksiköitä. Niiden tarjonta oli alussa vähäinen, joten moni maa rakennutti itse oman modulaattorinsa koeverkkoa varten.

Itse lähettimen kannalta teräväpiirtoinen DVB-T2-lähetys on kohtalaisen helppo. Lähettimenä voi toimia miltei mikä tahansa nykyinen digitaalisiin DVB-T-lähetyksiin suunniteltu laite. Vain modulaattoriosassa joudutaan vaihtamaan (kuva 18). Antennin ja muun lähetintekniikan vaatimukset ovat aivan samat kuin nykyisessä DVB-T-tekniikassa. Lähettäjiä on tarjolla laaja valikoima eri valmistajilta. Niihin tarvitaan kuitenkin erillinen DVB-T2-modulaattoriyksikkö. Modulaattorien tarjonta on vielä vähäistä, joten esimerkiksi BBC joutui rakennuttamaan koeverkkoaan varten oman modulaattorin. Se perustui HAPS-51-FPGA kokeilukorttiin, jonka ytimenä on Xilinx Virtex-5 LX330 FPGA-piiri. Brittimodulaattorin toiminnot oli koodattu piirille VHDL:llä. [11]. Nykyisin ranskalainen TeamCast on lisensoinut BBC:ltä kokeilulähettimen tekniikan ja käyttää sitä omassa DVB-T2-modulaattorissaan, joka on saanut nimen Modulator Power4-T2 (kuva 19). Englannin kaupallisten televisioyhtiöiden T2-koelähetyksissä käytettiin puolestaan ranskalaisen Enensysin kehittämää modulaattoria. DVB-T2 Virtual RF Test Suite-testisignaali-paketti sisältää DVB-T2-signaaleja eri lähetysparametrein ja eri vastaanotto-oloissa. Signaalit toimitetaan tiedostoina USB-kiintolevyllä ja ne voidaan toistaa RF-signaaligeneraattorien avulla. Yhtiö tarjoaa lisäksi DVB-T2-testauspalveluja. Enensys julkisti alkuvuodesta astetta lopullisemman LabMod-DVB-T2-modulaattoriversion, joka on tarkoitettu verkkojen ja laitteiden testaamiseen sekä teknisiin demonstraatioihin. Varsinaisen moduloinnin lisäksi Enensysin laitteeseen sisältyy mahdollisuus simuloida radiotien ilmiötä ja toistaa PC:lle tallennettua dataa modulaattorin läpi. Modulaattori on rakennettu ohjelmoitavista FPGA-piireistä. Mittauslaitefirmoista Rohde & Schwarz on ollut erittäin aktiivinen T2-kehitysvälineiden kehittämisessä.

Finnsatin edustama digi-tv-mittalaitevalmistaja DekTec esitteli uuden standardin mukaisen modulaattorin IBC2009-messuilla Amsterdamissa. Modulaattori perustuu DecTecin DTA-115 PCI-korttiin ja siihen liittyvän ohjelmistoon. Ohjelmistoa voidaan täydentää kanavasimulaattorilla.



Kuva 18. DekTec DTA- 115-modulaattorin lohkokkaavio [11]

DekTec DTA-115 ominaisuudet:

- Tukee OFDM-, QAM-, VSB- modulaatioita.
- Hintaluokkaan n. 2600 Euroa.
- Kattaa koko VHF- ja UHF- taajuusalueen 47 ... 862 MHz.
- Kaksisuuntaisen DVB-ASI porttiin.
- Monitorin ulostulo liitin voidaan kytkeä digitaaliseen antennin vastaanottiin.
- Video ulostuloliitin.
- PC- ja TS-liitäntä.



Kuva 19. TeamCast:in Power4-T2-modulaattori [11]

Power4-T2:n tärkeimmät ominaisuudet:

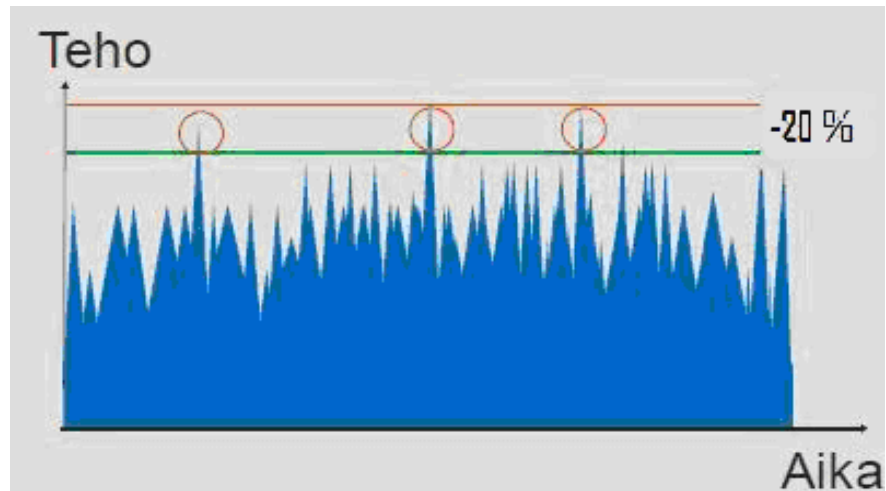
- Erittäin vakaa ja vaimennettu oskillaattori (OCXO).
- Helppokäyttöinen.
- Useita sisääntulo liitäntöjä (Satelliitti, TS ja IP).
- Redundanssin hallinta.
- MFN (monitaajuinen verkko) ja SFN (yksitaajuinen verkko).
- Erittäin korkea modulaation suorituskyky.
- GPS-toiminta (merellä, ilmassa).
- Tukee PLP:tä (Physical Layer Pipe).

#### 2.7.5 Tehopiikkien rajoitus

OFDM-monikantaaltomodulaation suurin haitta on se, että jos modulaatiokuvion pisteet eivät täsmää, sillä esiintyy voimakkaita huipputehoja eli PAPR (Peak-to-Average Power Ratio). Niitä syntyy, kun OFDM-signaalissa amplitudi ja vaihe muuttuvat aina siirrettävän datan mukaan, jolloin sisääntulevan signaalin huippuarvot saattavat olla paljon suuremmat kuin keskiarvo. Tästä johtuen joudutaan käyttämään suurempitehoisia lähettämiä, jossa hyötysuhde ei ole kovin hyvä.

DVB-T2-standardiin on kehitetty kaksi tapaa huipputehojen rajoittamiseen. Kantaaltojen varaustekniikassa (Tone reservation), yksi prosentti kantaalloista on varattu tehopiikkien rajoittamiseksi.

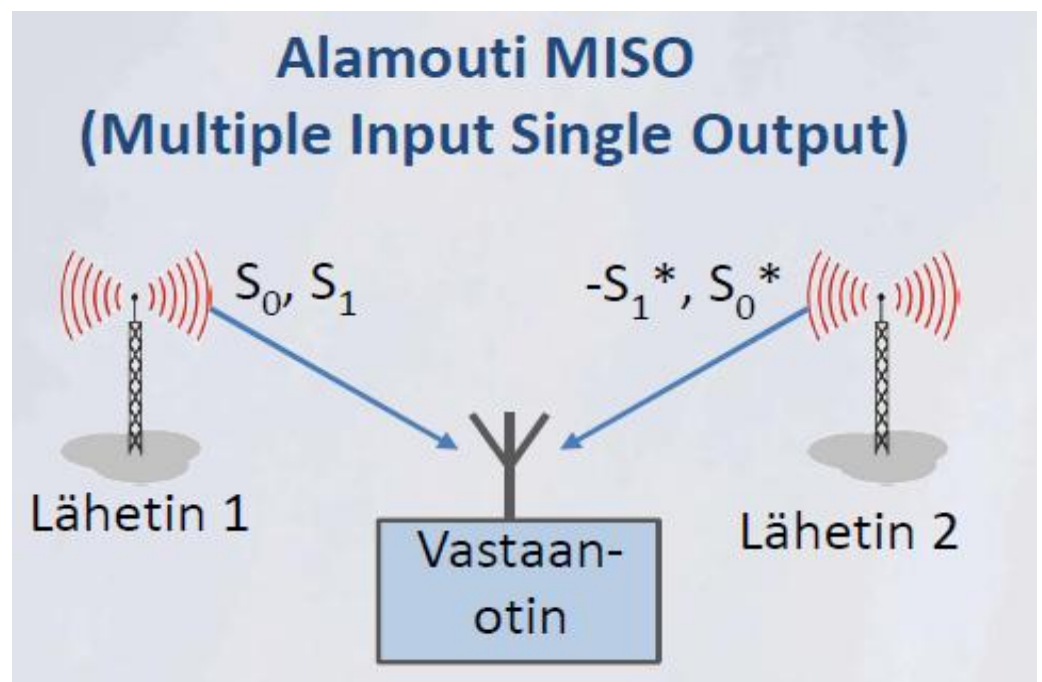
Toinen tapa rajoittaa tehopiikkiä on ACE-tekniikalla (Active Costellation Extension), Tehopiikkien vaimentamiseksi modulaatiokuvion pisteiden sijainnit vääristetään. Tätä menetelmää käyttämällä saadaan rajoitettua noin 20 prosenttia hukkatehoa (kuva 20). [7.]



Kuva 20. PAPR (Peak-to-Average Power Ratio). Rajoittamalla OFDM-moduloidun signaalin huippuja, voidaan lähtetimen tehonkulutusta pienentää 20 % [5]

Yhden taajuuden verkkoarkkitehtuuri (SFN, Single Frequency Network) on OFDM-tekniikan mahdollistama erikoisuus, jota voidaan hyödyntää lähetyksen verkon arkkitehtuurissa. DVB-T2-tekniikassa ei tarvitse enää suuria pääasemia vaan tiheämmin asetettuja samaa taajuutta käyttäviä lähiasemia.

DVB-T2-standardissa käytetään yksinkertaisissa yhden taajuuden verkoissa menetelmää Alamouti MISO (Multiple Input Single Output) esittämän koko kanavan häipymää. Menetelmä ei varsinaisesti nosta siirrettävää datamäärää, sillä parannetaan robustisuutta koko kanavan häipymää vastaan SFN-lähettimien välillä (kuva 21).



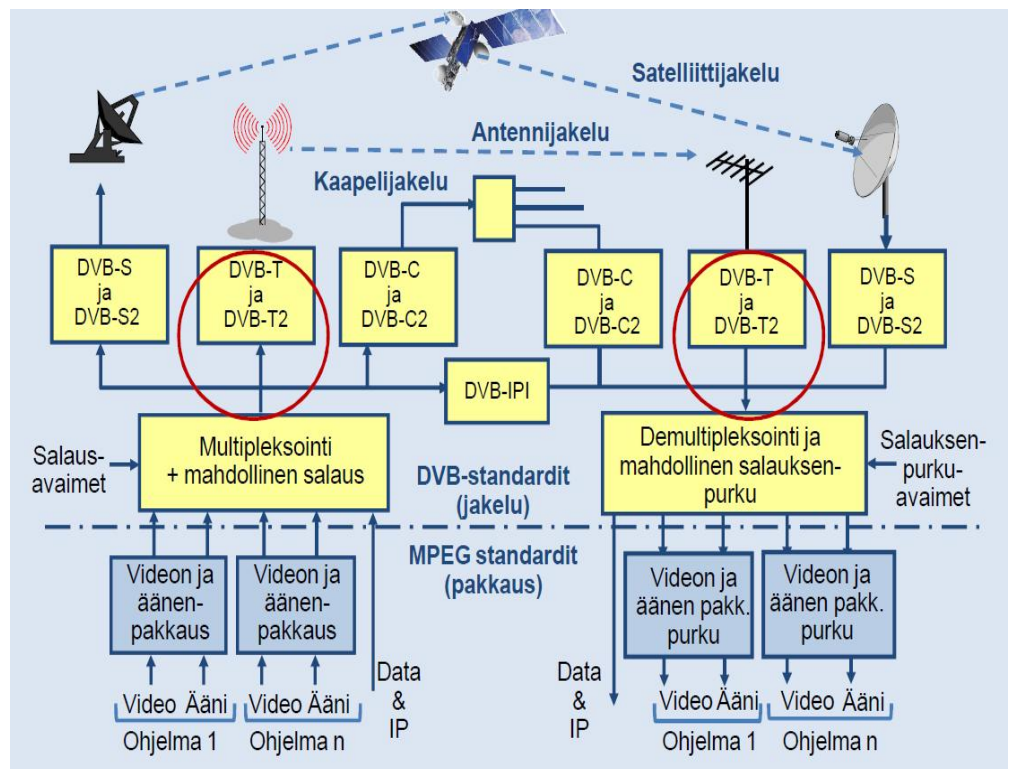
Kuva 21. DVB-T2-standardi antaa mahdollisuuden käyttää yksinkertaisissa SFN-verkoissa menetelmää Alamouti Scheme estämään koko kanavan häipymää [5]

## 2.8 DVB-T2 Suomessa

Suomessa DNA käynnistää antenniverkon HD-lähetykset käyttäen HD1- ja HD2-kanavanipuiissa uutta DVB-T2-teknologiaa (kuva 22). Lahden Radio- ja TV-museossa sijaitsevalla DVB-T2-lähetinasemalla tarjottiin HD-koelähetyksiä antenniverkoissa helmikuussa 2010. Suomi tulee olemaan ensimmäisiä maita maailmassa, joka tarjoaa myös antennitalouksiin teräväpiirtokuvaa.

Verkon rakentamisaikataulu ennakkosuunnitelmien mukaan olisi valmis vuoteen 2011 mennessä. Verkko rakennetaan ensin Etelä-Suomeen suurempiin kaupunkeihin ja myöhemmin muualle Suomeen. Uutta verkkoa suunnitellaan rakennettavaksi solutyypiksi, jossa käytetään suurempia määriä pienitehoisia lähettäjiä, joista lähtee samaa signaalia. Vaadittava peittoalue on 60 %, jota todennäköisesti saavutetaan vuoteen 2011 mennessä.

DNA esittelee suunnitelmiaan Liikenne- ja viestintäministeriölle kesäkuussa 2010, jonka jälkeen kaupallinen toiminta voi vähitellen alkaa.



Kuva 22. TV ja HDTV-jakelu [5]

Televisiotoiminnan teräväpiirtolähetyksiin käytettävä taajuusalue on tällä hetkellä Suomessa 174–230 MHz. VHF-alueella toimivan yhden kilowatin

lähettimen antenni on sijoitettu 145 metrin korkeuteen. Antennin säteilyteho on neljä kilowatin luokkaa.

Valtakunnallisille teräväpiirtolähetyksille on kaksi kanavanippua. Lisäksi taajuusalueella 470–790 MHz on yksi kanavanippu alueellisiin televisiotoiminnan teräväpiirtolähetyksiin pääkaupunkiseudulla. Antennit sijoitetaan neljään eri matkapuhelunmaastoon 36–80 metrin korkeuksille. Niiden säteilyteho on 450–500 watin luokkaa [22]. Pääkaupunkiseudun HDTV-pilotti toteutetaan yhteistyössä Ericssonin kanssa. (Liitteet (1/4)).

Jakeluverkoista ainoastaan antenniverkko tarjoaa tällä hetkellä liittymismahdollisuuden ja sitä kautta vapaasti vastaanotettavat kanavat kuluttajalle ilmaiseksi. Kaikissa muissa jakeluteissa kuluttaja maksaa joko suoraan tai yhtiövästikkeeseen kautta kuukausittaista liittymämaksua tv:n peruspalveluihin. Näissä verkoissa jakelukustannuksen maksavat kuluttajat. Antenniverkossa jakelukustannuksen kantavat tv-yhtiöt, joilla on suuri mielenkiinto ja mahdollisuus pitää antenniverkon jakelukustannukset kohtuullisina ilman kilpailua.

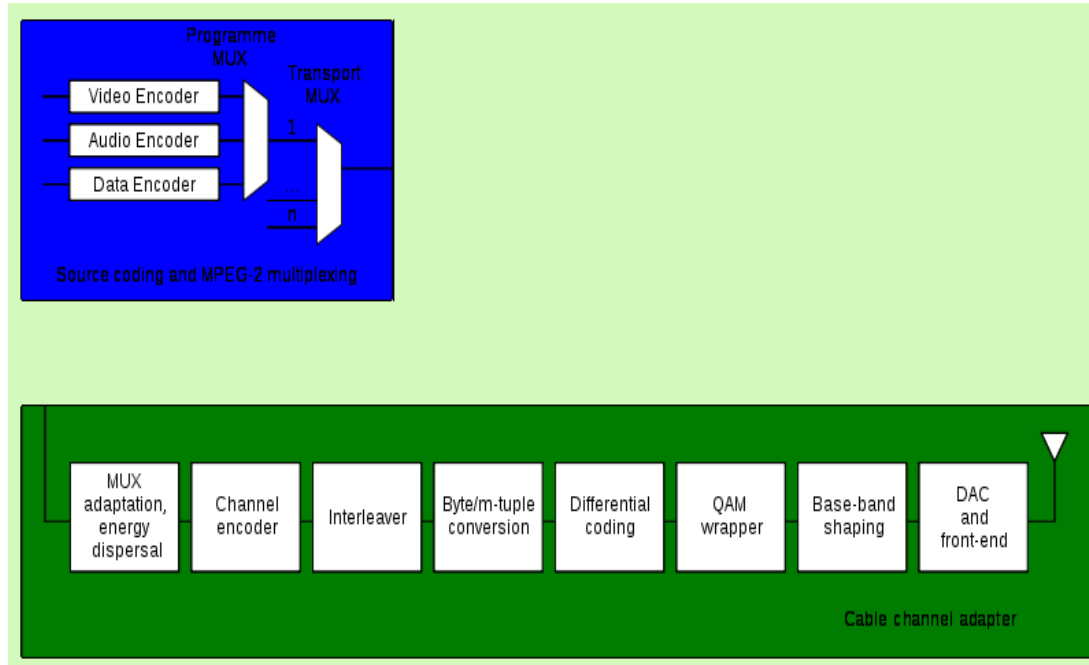
### 3 KAAPELIJAKELU DVB-C

DVB-C on lyhenne sanoista Digital Video Broadcasting – Cable. Se on DVB-versio, jossa tiedonsiirtoa varten käytetään kaapeliverkkoa. DVB-C-järjestelmä käyttää videon ja audion lähetykseen MPEG-2:sta tai MPEG-4:sta käyttäen 128-QAM- ja 256-QAM-modulaatiota. Käyttämällä 256-QAM:a pystytään yhdessä symbolissa siirtämään 8 bittiä informaatiota.

Kaapeliverkosto eroaa antennijakelusta hyvin paljon, TV-kaapeliverkko on antenniverkkoihin verrattuna suojattu hyvin häiriöiltä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, ettei kaikuja esiintyisi, etenkin silloin, jos rakenteissa on vikaa. Vastanottimessa häiriö voi ilmetä myös sellaisissa tapauksissa, jos verkon vahvistimissa ilmenee sekoitustuloksia.

DVB-C-standardi julkaistiin ensimmäisen kerran joulukuussa 1994, mutta sitä on kehitetty yhteensopivaksi nykyisiin oleviin kaapeliverkkoihin. Kuvassa 23 on esitetty DVB-C-järjestelmän tärkeimmät lohkokaaaviot. Järjestelmässä on useita samoja lohkoja kuin DVB-T:ssä. Koska DVB-C-järjestelmässä on useita modulaatiovaihtoehtoja, modulaattoriin menevät tavut on jaettava kullekin modulaatiolle sopiviin palasiin.

Eri kanavanippujen signaalitasot pyritään pitämään kaapeliverkossa keskenään optimitasolla. Kunkin multipleksin modulaatioparametrit määrittävät niiden vähimmäistason. Koska kaapeli on hyvin suojattu ympäristösignaalille, DVB-C sisältää vain Reed-Solomon-virhesuojauksen.



Kuva 23. DVB-C-järjestelmän tärkeimmät lohkot. Järjestelmässä on useita modulaatiovaihtoehtoja. [15]

DVB-C-järjestelmässä on viisi erilaista modulaatiomenetelmää. Niiden bittinopeudet voivat vaihdella välillä 25 – 50 megabittiä sekunnissa (taulukko 2). DVB-C-järjestelmässä digitaalista signaalia muokataan niin, että se mahtuu 8 MHz:n kaapelikanavaan, jotta saadaan vastaanottimelle sopivan levyinen taajuuskaista. Kantataajuinen suodatus voidaan jakaa tasaisesti lähtöpään ja vastaanottopään. Differentiaalinen enkoodaus järjestee modulaattorille menevät bitit tietyllä tavalla, jolloin vastaanotin on helpompi tahdistaa tulevaan datavirtaan demodulointia varten. Lähetyssä moduloitu signaali konvertoidaan ensin välitaajuudelle ja sen jälkeen halutulle kaapelitv:n lähetykanavalle. Kaapeliverkossa signaalia vahvistetaan useassa eri vaiheessa ja jaetaan edelleen jopa miljoonille katsojille.

Taulukko 3. DVB-C/C2-järjestelmien vertailu [1]

Ominaisuus	DVB-C	DVB-C2
Modulaatiovaihtoehdot	16-QAM...256-QAM	16-QAM...4096-QAM
Suojaväli	-	1/64 tai 1/128
Pilot-kantoaallot	-	Sirotellut ja jatkuvat pilotit
Bittivirranlomittelu	Bittilomittelu	Bitti-, aika- ja taajuuslomittelu
Moduloinnin periaate	Yksi moduloitu kantaalto	COFDM
Bittinopeus / 8 MHz	25 – 51 megabittiä sekunnissa	20 – 85 megabittiä sekunnissa
Moodit	Kiinteä koodaus ja modulaatio	Vaihtuva sekä adaptiivinen koodaus ja modulaatio
Sisäänmenosignaali	Yksi TS-bittivirta	Useita TS-bittivirtoja GSE
Virhesuojausmenetelmä	Reed-Solomon 204/188	LDPC BCH

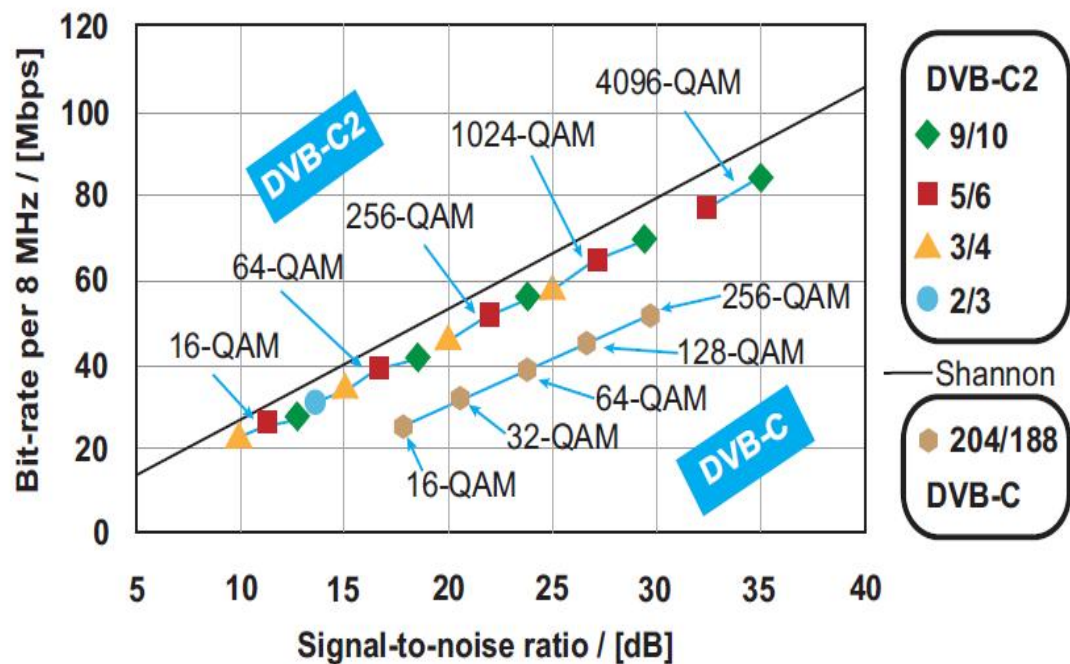
Seuraavassa kappaleessa syvennytään kehittyneempään kaapelijakeluun DVB-C2-tekniikkaan.

DVB-C2-(Video Broadcasting – The Second Generation Cable) on DVB-projektin kehittämä digitaalinen kaapelilähetys. DVB-C2 käyttää uusinta modulaatio- ja koodaustekniikkaa mahdollistaen erittäin tehokkaan käytön kaapeliverkossa.

DVB-C2-järjestelmän kehityksessä taajuuksien käyttöön on kiinnitetty erityisesti huomiota. Järjestelmässä on ominaisuuksia, joilla useita kanavia voidaan liittää yhteen. Häiriöille alttiita spektrin osia voidaan jakelussa dynaamisesti ohittaa. DVB-C2-järjestelmän ensimmäisiä käyttöalueita ovat uusinta tarjontaa edustavat tilausvideot- ja HD-palvelut. DVB-C2-järjestelmän ei tarvitse olla yhteensopiva DVB-C-järjestelmän kanssa, mutta laitevalmistajan on rakennettava C2-vastaanottimiin valmius C-järjestelmän vastaanottoon, sillä kaapeliohjelmalla jatketaan pitkään vanhaa järjestelmää käyttäen. Kuten edeltäjänsä DVB-C2 tarjoaa erilaisia vaihtoehtoja kaapeliasiakkailleen, joilla voidaan optimoida erilaisia verkkoja (taulukko 3).

Nykyisen modulaatiotekniikan verrattuna DVB-C2:ssä OFDM tarjoaa jopa 30–50 % datakapasiteetin kasvun, entistä paremman virheensuojatekniikan ja tuen Internet-palvelujen datasiirtoprotokollille. Spektritehokkuus DVB-

C2-tekniikassa on erinomainen. Spektritehokkuudella on teoreettinen maksimiraja, joka on lähellä Shannonin rajaa. Kanavan siirtonopeus on esitetty kuvassa 24. Valittu COFDM soveltuu paremmin maanpäälliseen lähetykseen, jossa signaali voi tulla lähettimeltä vastaanottimelle montaa reittiä, heijastuen esimerkiksi talon seinästä. Analogisessa kuvassa nämä erivaiheiset signaalit näkyvät haamukuvina. DVB-C2:ssa COFDM suojaa signaalia kaapelissa tapahtuvien heijastuksien aiheuttomilta ongelmilta.



Kuva 24. DVB-C2-järjestelmän signaali-kohinasuhde. Shannon-raja, on teoreettinen maksimi, joka voitaisiin täysin ideaalisella järjestelmällä saavuttaa [13]

### 3.1 DVB-C2 OFDM-modulaatio

OFDM-monikantaallot on määritelty uusiksi. Modulointia voidaan suorittaa monella tavalla. Tapoja ovat 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM ja 4096-QAM. Kaapelitelevisioiden DVB-C2-standardissa ollaan luopumassa yksinkertaisesta yhden kantaallon moduloinnista, jota DVB-C-standardissa käytetään ja tilalle otetaan antenniverkossa käytettävä COFDM-monikantaallomoduloinnin 4K-moodia versio. COFDM-monikantaallomoduloinnin käyttö mahdollistaa huomattavasti paremman kaapelin teoreettisen siirtokapasiteetin hyödyntämisen. Siirtokapasiteettien kasvu on lähes 30 %.

COFDM:ään siirtyminen saattaa yksinkertaistaa DVB-T2/C2-hybridivastaanottimien rakentamista, kun standardit muistuttavat enemmän toisiaan.

DVB-C-standardissa käytetään korkeintaan 256-QAM-modulointia yhdellä kanta-aallolla eli korkeintaan 8 bittiä symbolia kohden, kun taas DVB-C2-standardissa yksittäiset kanta-aallot voidaan moduloida jopa 4096-QAM-moduloinnilla eli 12 bittiä symbolia kohden. [1.]

Aika-taajuus-viipalointi auttaa tv-kanavan häiriötilanteissa. Siinä käytetään tehokkaasti aika- ja taajuuslomittelua. Aikalomittelu on tehokas kun halutaan päästä eroon impulssimaisista häiriöistä. DVB-C2-järjestelmässä käytetään sisäkoodaukseen LDPC-virhesuojaustekniikkaa, jota on käytetty myös DVB-S2-järjestelmässä eli satelliittijakelussa. Virheenkorjaus uudessa OFDM-modulaatiossa voidaan valita väliltä  $2/3 - 9/11$ .

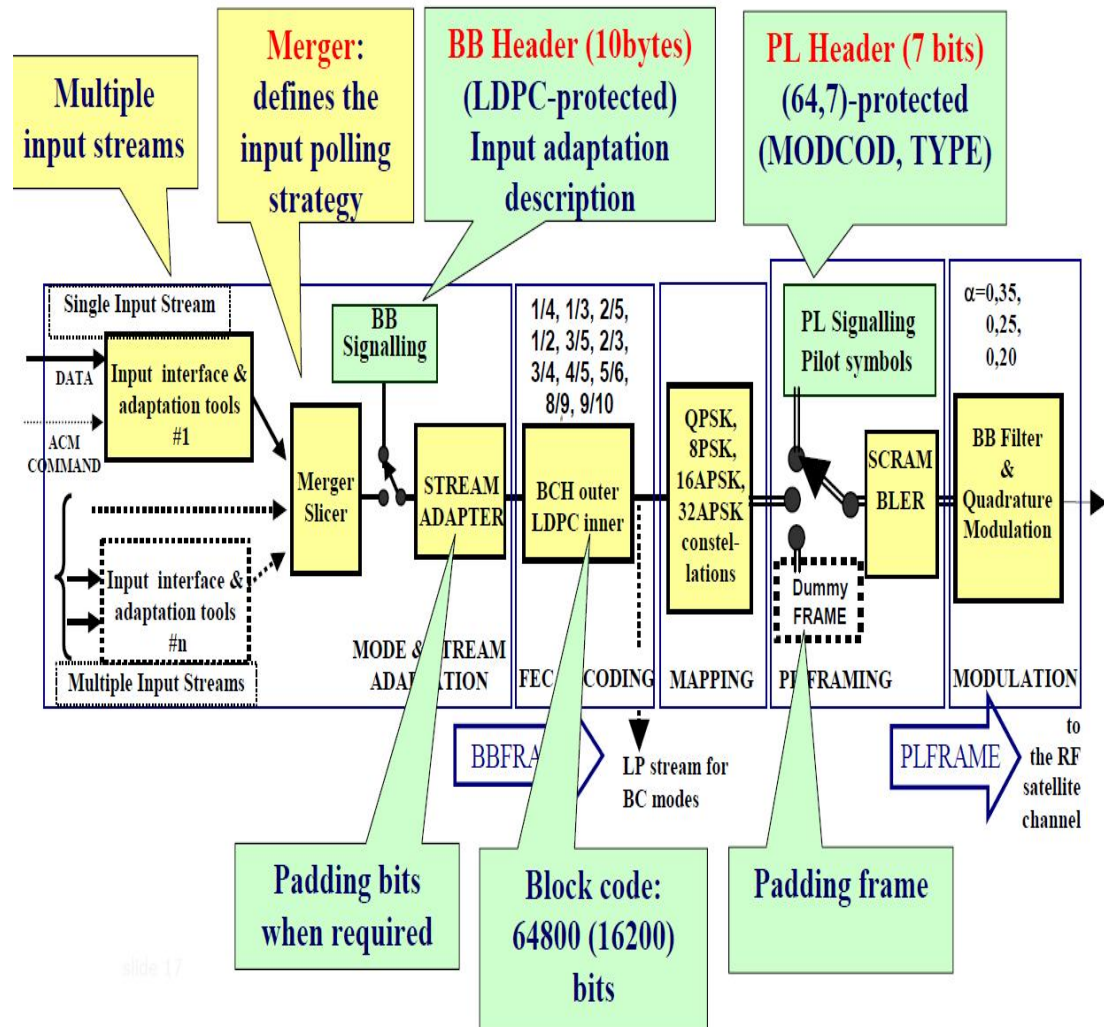
### 3.2 Satelliittijakelu DVB-S/S2

Digital Video Broadcasting – Satellite on osa DVB-projektia, jota on kehitetty jo vuodesta 1993. Satelliittijakelussa on mahdollista käyttää QPSK-nelivaihemodulaatiota tai BPSK-modulaatiota (Binary Phase Shift Keying). DVB-S-järjestelmässä on kaksikerroksinen virheensuojausmenetelmä, koska järjestelmässä on heikko signaalin taso. Kuvassa 25 on esitetty järjestelmän lähetys- ja vastaanottopään lohkot. Lähetysvaiheessa sisäänmenona on TS-bittivirta (Transport Stream), ja se koostuu 188 tavun paketeista, paketin sisältä löytyy 3 osoitettavaa, tunnistettava ja 184 sisältötavaa.

Ennen virhesuojakusen tekemistä sisääntuleva TS-bittivirta satunnaistetaan samalla tavalla kuin DVB-T- ja DVB-C-jakelussa. Pitkät ykkösten ja nollien jonot katkaistaan. Modulointimodolla signaalia on vältettävä, jotta estettäisiin kiinteätaajuisen kanta-aallon lähettämistä lähettimelle. Tällöin kaikki lähetysteho keskittyisi kiinteälle taajuudelle ja voisi yliohtaa vastaanottimien taajuusmuuntimia ja häiritä muiden kanavanippujen vastaanottoa.

Sisäkoodaukseen käytetään konvoluutiokoodausta. Konvoluutiokoodauksessa on jatkuva prosessi ja signaalin viivästyminen on hyvin vähäinen. Sen avulla pystytään vähentämään virheellisesti vastaanotettujen bittien määrä 1 – 10 prosentin arvosta noin 0,02 prosenttiin. [1.]

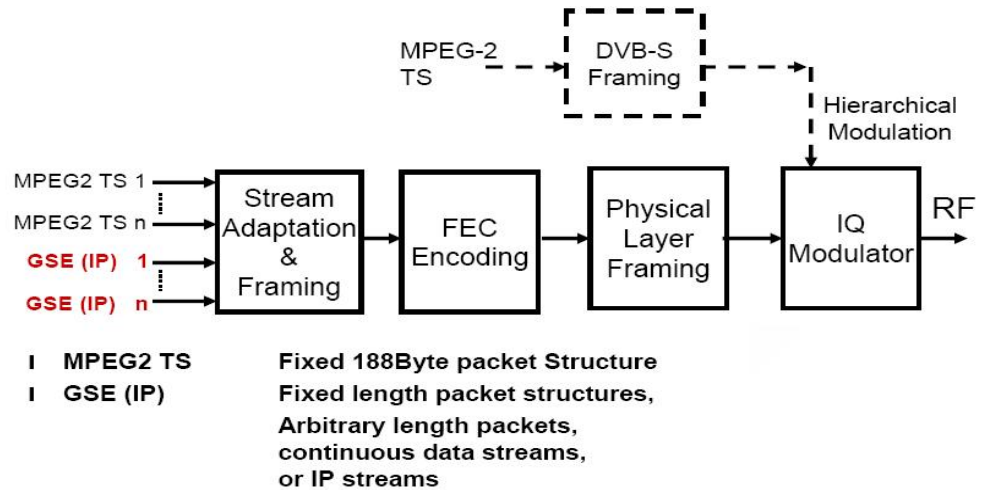
Ulkokoodaukseen käytetään Reed-Solomon-koodausta, jonka avulla voidaan korjata 8 virheellistä tavua 188 tavun paketista.



Kuva 25. DVB-S2-järjestelmän rakenne [9]

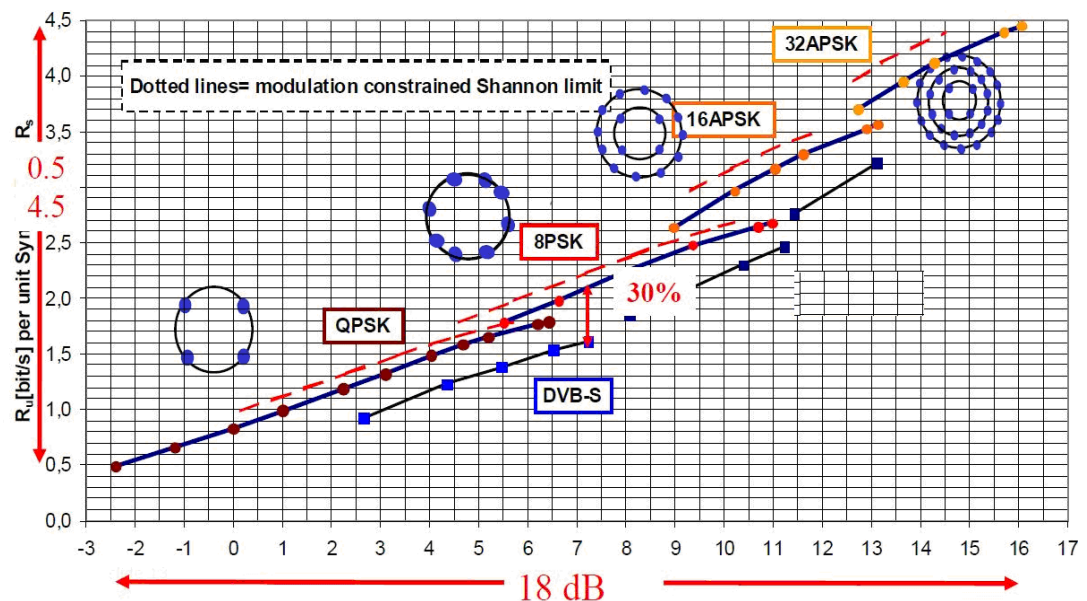
DVB-S2 (Digital Video Broadcasting – Satellite – Second Generation) on digitaalinen satelliittiviestintäjärjestelmä, jota on kehitetty DVB-S:n seuraajaksi palvelemaan tehokkaan tv-jakelun lisäksi myös muuta satelliittien kautta tapahtuvaa dataliikennettä esimerkiksi Internet-jakeluun.

Standardi on suunniteltu joustavaksi niin, että sitä voidaan käyttää myös olemassa oleville satelliiteille. DVB-S2-signaali voi sisältää ohjelmavirran, jonka DVB-S-vastaanottimet osaavat avata. DVB-S2-lohkokaavio on esitetty kuvassa 26. DVB-S2-standardin merkittävin etu on sillä saavutettu kapasiteetin lisäys, joka on yli 30 prosenttia. Parantunut suorituskyky voidaan käyttää myös niin, että DVB-C-järjestelmän tarjoama siirtokapasiteetti saavutetaan heikommissa vastaanotto-olosuhteissa.



Kuva 26. DVB-S2-lohkokaavio [18]

DVB-S2 käyttää uusinta modulaatio- ja koodaustekniikkaa ja tarjoaa suorituskyvyn, joka vastaa teoreettista rajaa (kuva 27). DVB-S2 soveltuu hyvin HDTV-jakeluun sen suuremman siirtokapasiteetin takia, DVB-S2 myös toimii 2...2,5 dB heikommalla signaalilla kuin DVB-C [1].



Kuva 27. DVB-S2-järjestelmän modulaatioiden vaatimat kantaaltokohinaetäisyydet ja niiden spektritehokkuudet. Shannonin-raja on kuvassa merkitty punaisella. [8]

DVB-S2-kehitys ja keskeiset tekniset ominaisuudet:

- Modulaatiotilat – neljä tilaa käytettävissä, QPSK- ja 8PSK-järjestelmät on tarkoitettu broadcasting-sovelluksille. 16APSK ja 32APSK edellyttää korkeampaa C/N-suhdetta ja on suunnattu pääasiassa ammattikäyttöön, kuten digitaaliseen uutisten keräykseen ja vuorovaikutteisiin palveluihin.

- DVB-S2 käyttää erittäin tehokasta virhesuojausjärjestelmää FEC (Forward Error Correction), joka perustuu BCH- ja LDPC-koodaukseen. Tarkoituksena on saavuttaa erinomainen suorituskyky heikommalle signaalille.

DVB-S2-modulaation kehityksen tavoitteena oli joustava ja moniin tarpeisiin skaalautuva järjestelmä, valittiin DVB-S2-standardiin useita vaihtoehtoisia modulaatiomenetelmiä. DVB-S2-järjestelmälle on samoja vaatimuksia kuin DVB-S-järjestelmälle. 8PSK (8-vaihemodulaatio) toimii vakioamplitudilla, jolloin se läpäisee myös epälineaariset toistimet. Järjestelmään on kuitenkin varattu kaksi amplituditasoa sisältävän modulaation käyttöön, joita voidaan käyttää vain uusimpien satelliittien kanssa. Tämä vaatii vastaanotossa voimakkaamman signaalin kuin QPSK tai 8PSK.

DVB-S2-järjestelmän modulaatiovaihtoehdot ovat QPSK, 8PSK, 16APSK ja 32APSK. QPSK on ainoa modulaatio, joka oli käytössä jo DVB-S-standardissa. APSK-menetelmässä modulointi tehdään muuttamalla sekä signaalin amplitudia että vaihetta. Modulaatiomenetelmän lisäksi DVB-S2-järjestelmä mahdollistaa usean vaihtoehtoisen virhesuojaustason käyttämisen. 16APSK- ja 32APSK ovat käyttökelpoisia uutisjakeluun ja ohjelmavälityksen tarpeisiin, joissa peiliantennin koko voi olla 1,5 metriä. LDPC-virhesuojaus valittiin ensimmäisenä DVB-S2-järjestelmälle, myöhemmin se otettiin käyttöön DVB-T2- ja DVB-C2-järjestelmissä.

HDTV- ja SDTV-jakeluun sekä DVB-S että DVB-S2 soveltuvat hyvin, mutta kustannussyistä uudet satelliittipalvelut jaetaan DVB-S2-järjestelmää käyttäen. DVB-S2-moodit mahdollistavat sellaisenkin signaalin ilmaisun vastaanotuksessa, jossa kohina on voimakkaampaa kuin signaali. Kantoaaltokohinaetäisyys (C/N) on tällöin alle 0 dB.

#### 4 IP-TV HD-SIIRROSSA

Internet-jakelun tekniikka on kehittynyt huimasti viime vuosina ja koteihin on ollut mahdollista saada HDTV-palveluja myös Internet-yhteyksien avulla. Nykyään on mahdollista käyttää kaapeli-tv-runkoverkkoa tv-ohjelmien ja IP-palvelujen siirtoon. IP-datasiiirtoon käytetään taloyhtiöissä Ethernet-tekniikkaa, jota ennen käytettiin paikallisverkoissa.

Internet-protokollan avulla saadaan siirrettyä dataa Internetissä. Siinä tiedonvälitykseen käytetään osoitteellisia datapaketteja. Datapaketeissa on lähettäjän sekä vastaanottajan osoitetiedot ja ohjausdataa, jonka avulla verkkoon lähetetyt paketit siirtyvät reitittimien kautta vastaanottajalle. Lähetysjärjestystä voidaan myös muuttaa itse, jolloin paketit kulkevat eri reittejä lähettäjältä vastaanottajalle. Tämä on haaste silloin, kun siirretään ääni- ja video-signaalia.

Internet-protokollan edut tv-signaalin siirrossa:

- Joustavuus monenlaisen datan siirtoon.
- Laiteohjelmisto on halpaa/ilmaista; laaja valikoima, koska monenlaiset laitteet tukevat IP-siirtoa.
- Tarvittava elektroniikka laitteissa on halpaa, sillä niitä valmistetaan suurina määrinä.
- Koska IP ei määrittele fyysistä siirtotietä, Internet-protokolla mahdollistaa tiedonsiirron erilaisissa ympäristöissä.
- Samaa perustekniikkaa käytetään kaikkialla maailmassa.
- On kaksisuuntainen ja tukee vuorovaikutteista ohjelmatarjontaa ja tilausvideotarjontaa.

Ongelmat tv-jakelussa:

- IP-tiedonsiirtoon tarvitaan suuri jatkuva bittinopeus.
- Kaupallisesti laajakaistaverkkojen rakentaminen maaseutualueelle on kallista.
- Käyttötottumuksen on vastattava tavallista televisiota. Kotona yhden television sijasta on pystyttävä käyttämään muitakin televisioita yhtäaikaaisesti.

Paras tapa HD-palvelujen jakeluun on käyttää kuituyhteyttä. Tähän on saatu ratkaisu tuomalla kuitu lähimpään puhelinkeskukseen tai asunnon kellariin,

matkan siirtoon voidaan käyttää ADSL- tai VDSL-tekniikkaa. Tässä hyödynnetään aikoinaan puhelimeen asennettua parikaapelia.

Uusissa rakennuksissa antennikaapelia ja Ethernet-tekniikkaa voidaan myös hyödyntää. Erilaisilla jakelutekniikoilla kuten DSL:llä (Digital Subscriber Line), ADSL:llä (Asymmetrical Digital Subscriber Line), VDSL2:llä (Very High Bitrate DSL) ja valokaapelijakelutekniikalla voidaan siirtää dataa koteihin ongelmitta, mutta DSL:ssä kapasiteetti on rajoitettu.

Nykyiset ADSL-tekniikat käyttävät modulaationa DMT:tä (Discrete Multitone), OFDM:n kantataajuista muunnelmää. ADSL- ja ADSL2-tekniikoissa laskevaan suuntaan käytössä oleva 1,1 MHz:n taajuusalue on jaettu 255 kanavaan. Kunkin kanavan häiriönsietokykyä ja tiedonsiirtonopeutta voidaan säätää erikseen. Nousevaan suuntaan käytetään taajuusaluetta 23–138 kHz, joka on jaettu 32 kanavaan. ADSL2+:n laskevan suunnan taajuusalue on 2,2 MHz ja kanavien lukumäärä 512.

Tiedonsiirto ADSL:ssä perustuu kehyksiin. Kehyksessä on yksi tavu jokaista kanavaa kohden. Jokaisella kanavalla siirrettävät bitit moduloidaan käyttäen QAM-menetelmää; yhdessä siirrettävien bittien jokaista eri arvoa vastaa erilainen signaalin vaihekulmaa ja voimakkuutta kuvaava kompleksiluku. Kunkin kanavan voimakkuus säädetään sopivaksi, ja digitaalinen signaaliprosessori muuntaa diskreetillä Fourier-käänteismuunnoksella kunkin kanavan vaihetta ja voimakkuutta vastaavat taajuustason kompleksiluvut aikatazon digitaalisiksi näytteiksi. Virheenkorjaukseen ADSL käyttää Reed-Solomon virheenkorjaustekniikkaa. Näin osa kanavista varataan virheenkorjaustiedon siirtoon. Lisäksi QAM-moduloinnissa käytetään Trelliskoodausta. Sen ansiosta ADSL:n häiriönsietokyky on parantunut 5,5 dB:tä ja parantanut suorituskykyä noin 10 prosenttia [19].

ADSL on verkkokytkintekniikka, jolla voi siirtää 8 Mb/s lankapuhelinta käyttäen ja ADSL2 12 Mb/s. Tekniikan viimeisintä ADSL2+ mahdollistaa jopa 24 Mb/s. ADSL tekniikkaa perustuu korkeiden taajuuksien käyttöön, puhetaajuus alue on 300 – 3400 hertsin alueella kun ADSL taas käyttää 23 000 – 1 100 000 hertsiä. Puhelinlinjoja ei ole alun perin suunniteltu ADSL:n tarvitsemien korkeataajuuksien signaalien välittämiseen. Tästä syystä ADSL toimii täydellä kapasiteetillaan vain suhteellisen lyhyillä puhelinlinjoilla. Pidemmällä etäisyyksillä korkeammat taajuudet heikentyvät niin paljon ettei niitä voi käyt-

tää enää tiedonsiirtoon. DMT:n täysi 8 Mb/s kapasiteetti toimii vain alle 2700 metrin puhelinlinjoilla, 2 Mb/s nopeudella se toimii noin 4800 metriin saakka. ADSL:n tärkein ominaisuus on tiedonsiirron epäsymmetrisyys; tiedonsiirto ADSL:ssä on erilainen laskevaan suuntaan, joka on 8 Mb/s ja nousevan suuntaan 800 kb/s, tämä sopi hyvin Internetin kotikäyttöön [19].

VDSL2-tekniikka on kehittynein DSL-tekniikoita. Se on erinomainen HDTV- ja videotilauspalvelujen siirtoon. Järjestelmää käytetään tiedonsiirtoon, missä kantoaallon modulaatio käyttäytyy sen mukaan, miten kantoaalto etenee puhelinjohdossa.

VDSL tarjoaa symmetrisen, eli eri suuntiin ja eri nopeudella toimivan tiedon siirron. Nopeudet voivat olla neljä kertaa suuremmat kuin ADSL:n mahdollistamat yhteydet. Järjestelmässä käytetään datasiirtoon menetelmää, jossa jokaisen kantoaallon modulaatio määräytyy hetkellisesti sen mukaan, miten kyseinen kantoaalto etenee puhelinjohdossa. Mikäli taajuudella on häiriö, signaali moduloidaan hyvin karkeasti. Niillä taajuuksilla, joilla yhteyden laatu on hyvä, kantoaaltoa voidaan moduloida monitasoisesti ja siirtää suurempi datamäärä. VDSL-tekniikaa käyttäen suurempi kaistanleveyttä saadaan datanopeudeksi jopa 200 megabittiä sekunnissa [20]. VDSL-tekniikaa siirtoetäisyydet ovat suurilla bittinopeuksilla enää satoja metrejä.

HDTV-palvelujen Internet-jakelua varten tarvitaan suurta kaistanleveyttä ja siihen valokuitutekniikka sopii erinomaisesti. Valokaapelijakelussa käytetään valokuitua, jonka halkaisija on 0,125 mm. Se on valmistettu kvartsilasista ja siinä voidaan siirtää signaalia kymmeniä kilometrejä ilman minkäänlaisia vahvistimia. Datanopeus on kertaluokkaa suurempi kuin missään muussa kaapelissa. Hyvät ominaisuudet kuidulle ovat esimerkiksi ne, että siihen eivät vaikuta sähkömagneettiset häiriöt. Sitä on myös erittäin hankalaa salakuunnella.

Laajakaistaa voidaan pitää kaapeli-tv-tarjonnan jatkeena. Sen avulla operaattori pystyy tarjoamaan muiden laajakaistapalvelujen lisäksi saman verkon ja jakelulaitteiston kautta myös tv-sisältöjä. Laadukas tv-ohjelmien jakelu on mahdollista IPTV-verkon kautta, koska verkon operaattori pystyy tarjoamaan käyttäjälle tarvittavat siirtokapasiteetit.

IPTV-vastaanottoon tarvitaan IPTV-digisovitin, joka liitetään Ethernet-kaapelilla datamodeemiin. Digibokseissa on HDMI (High Definition Multimedia Interface) –liitin, jolla tv-signaali kytketään televisioon.

IPTV-HD-palvelun tuominen kotiin puhelinlinjaa pitkin on hyvin haasteellista. Tarvittava bittinopeus kanavaa kohti on noin 12 megabittiä sekunnissa. Tv-jakelun mahdollisuudet laajakaistaverkoissa nojautuvat pitkälti laajempaan ohjelmatarjontaan. Laajakaistaverkon kautta on mahdollisuus tarjota tilausvideopalveluja palvelimelta, joihin on tallennettuna tuhansia elokuvia ja muuta viihdettä. IPTV-palvelun tuottaja pakkaa tv-ohjelmat joko MPEG-4 AVC- tai VC1-kuvanpakkausta käyttäen. Reaaliaikaiset ohjelmat kytketään suoraan reitittimen kautta valokuidulla eteenpäin. Ohjelma voidaan reitittää samanaikaisesti suurelle määrälle kuluttajille. IP-ohjelmavirta tuodaan puhelin-keskukseen, missä kotitaloudet kytkeytyvät siihen.

HD-laatuiseen Internet-videopalvelujen käyttöön on tarjolla runsaasti laitteita. Käytännössä kaikki PC-laitteet ovat käyttökelpoisia. Internet-liitäntä löytyy myös lähes kaikista pelikonsoleista ja tallentavista digisovittimista. Myös matkapuhelimet pystyvät jatkossa esittämään HD-laatuisia sisältöä ainakin näyttöön yhdistettynä.

## 5 YHTEENVETO

Analogisten lähetysten päättymisestä, voidaan olettaa, että maat alkavat lähettää palveluja käyttäen DVB-T2-standardia. Joissakin maissa uusi standardi voidaan käyttää HDTV-palveluihin sekä maksuttomiin ja maksullisiin kanaviin, mutta voidaan käyttää myös parantamaan nykyistä DVB-T-standardia. On kuitenkin epätodennäköistä, että lyhyellä aikavälillä olisi mahdollista korvata DVB-T DVB-T2:lla. Pikemminkin voidaan olettaa, että DVB-T- ja DVB-T2-standardit tulevat palvelemaan rinnakkain useiden vuosien ajan. Tämä tarjoaa katsojille erityyppisiä palveluja.

DVB-T2-standardin saatavuus tuo uusia mahdollisuuksia maanpäälliseen digitaalitelevisioon. Maanpäällisen toisen sukupolven järjestelmän kehittämiseen on ollut kaupallisesti kova tarve. On edelleen tärkeää optimoida taajuuksien käyttö samalla kun luodaan katsojille mahdollisuus käyttää uusia palveluja. Monissa maissa DVB-T2-standardi antaa palveluntarjoajalle mahdollisuuden lähettää katsojille houkuttelevampaa teräväpiirtotelevisiotarjontaa valikoimaa digiverkossa. Lisäksi DVB-T2-standardi mahdollistaa tulevaisuudessa muita palveluja. Seuraavan sukupolven palvelut, kuten 3D-TV hyötyvät kapasiteetin lisäyksestä DVB-T2:ssa.

Mittakaavaedun hyödyntämistä kaikkialla Euroopassa, valtakunnallisten tv-jakelutoimittajien on otettava käyttöön yhteinen DVB-T2-vastaanottimien määrittely. Näin voidaan estää markkinoiden pirstoutumista ja varmistetaan, että kuluttajat voivat valita DVB-T2-vastaanottimia laajasta valikoimasta mahdollisimman edulliseen hintaan. Juuri tästä syystä valmistajat ovat aloittaneet toimenpiteet, siitä minkälaisia vaatimuksia DVB-T2-vastaanottimille on asetettava kaikkialla Euroopassa.

DVB-T2 tarjoaa paljon uusia mahdollisuuksia. 100 prosenttia korkeampi siirto kapasiteetti ja parannettu SFN-tekniikkaa sekä toimivuus lähellä teoreettista maksimisuorituskykyä, voidaan olettaa, että DVB-T2-standardi tulee olemaan käytössä pitkään tulevaisuudessa.

## VIITELUETTELO

- [1] Ikonen, Ari, Teräväpiirtotelevisio [kirja]. Saatavissa: Teräväpiirtotelevisio, 1. painos 2009, ISBN: 978–652-92-6406–3.
- [2] Vangelista Lorenzo Li2009, "Key Technologies for Next-Generation Terrestrial Digital television Standard DVB-T2," IEEE Communications Magazine, 2009, 10.
- [3] DVB-C2 OFDM-modulation [verkkodokumentti]. [viitattu 9.1.2010]. Saatavissa: <http://www.dvb.org/technology/standards/a138.dvbc2.den302769v111.pdf>.
- [4] DVB.org [verkkodokumentti]. [viitattu 9.1.2010]. Saatavissa: <http://www.dvb.org>.
- [5] DVB-T2 Esittely Turun Radioseura Helmikuu 2010 [verkkomateriaali]. [viitattu 7.2.2010]. Saatavissa: [http://www.telestory.fi/DVBT2\\_Esittely\\_Turun\\_radioseura\\_helmikuu%202010.pdf](http://www.telestory.fi/DVBT2_Esittely_Turun_radioseura_helmikuu%202010.pdf).
- [6] Engdahl Tomi, "Suomi valitsi DVB-T2-lähetystekniikan," Prosessori, 2009, 9.
- [7] DVB-T2 Elektroniikkainsinööri Kari Risberg [verkkodokumentti]. [viitattu 7.2.2010]. Saatavissa: [http://www.telestory.fi/DVBT2\\_Esittely\\_Turun\\_radioseura\\_helmikuu%202010.pdf](http://www.telestory.fi/DVBT2_Esittely_Turun_radioseura_helmikuu%202010.pdf).
- [8] DVB-S2 The Second Generation For Satellite Broad-band Services [verkkodokumentti]. [viitattu 8.2.2010]. Saatavissa: [http://www.img.lx.it.pt/~fp/cav/Additional\\_material/DVBS2%20The%20Second%20Generation%20Standard%20for.pdf](http://www.img.lx.it.pt/~fp/cav/Additional_material/DVBS2%20The%20Second%20Generation%20Standard%20for.pdf).
- [9] DVB-S2 Presentation [verkkodokumentti]. [viitattu 8.2.2010]. Saatavissa: <http://www.estec.esa.nl/pub3/satlabs/Presentations/Technology/Technology%20-%20Nera.pdf>.
- [10] Multimediakeskus kotiin Tomi Rauhala [verkkodokumentti]. [viitattu 10.2.2010]. Saatavissa: [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/7363/Rauhala\\_Tomi.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/7363/Rauhala_Tomi.pdf?sequence=1).
- [11] DVB-T2 Modulator [verkkodokumentti]. [viitattu 10.2.2010]. Saatavissa: <http://www.teamcast.com/en/maj-e/c2a2i17222/products/modulators/dvb-t2-modulator.htm>.
- [12] DVB-H Seminaari [verkkodokumentti]. [viitattu 12.2.2010]. Saatavissa: <http://www.docstoc.com/docs/22214480/DVB-Seminaari>.
- [13] DVB-C2 Fact Sheet [verkkodokumentti]. [viitattu 12.2.2010]. Saatavissa: [http://www.dvb.org/technology/fact\\_sheets/](http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/).

- [14] DVB-S2 Fact Sheet [verkkodokumentti]. [viitattu 16.2.2010]. Saatavissa: [http://www.dvb.org/technology/fact\\_sheets/](http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/).
- [15] DVB-C [verkkodokumentti]. [viitattu 12.4.2010]. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Dvbc\\_tx\\_scheme.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Dvbc_tx_scheme.svg).
- [16] Requirements to NorDig-T2 compliant IRDs [verkkodokumentti]. [viitattu 12.4.2010]. Saatavissa: <http://www.nordig.org/qaspecifications.htm>.
- [17] Digita, " DVB-T2-systeemi," Metropolia, 2009, 11.
- [18] "Rohde & Schwarz" DVB-T2 seminaari materiaali.
- [19] Asymmetric Digital Subscriber Line [verkkodokumentti]. [viitattu 20.4.2010]. Saatavissa: <http://www.internode.on.net/residential/broadband/adsl/extreme/performance/>.
- [20] VDSL [verkkodokumentti]. [viitattu 19.4.2010]. Saatavissa: <http://personal.inet.fi/koti/raike/verkot>.
- [21] DVB-T2-standardi [verkkodokumentti]. [viitattu 9.1.2010 – 30.4.2010]. Saatavissa: [www.dvb.org](http://www.dvb.org).
- [22] "DNA demosi jo T2-teräväpiirtoa, " Prosessori, 2010, 2.

DNA TV:n digitaaliset kanavaniput ja taajuudet:

**Kanavanippu 1**

Modulaatio:

Kaikki paikkakunnat QAM128

Symbolinopeus:

Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 2**

Taajuus:

Kaikki paikkakunnat 370 MHz

Modulaatio:

Kaikki paikkakunnat QAM128

Symbolinopeus:

Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 3**

Taajuus:

Kaikki paikkakunnat 362 MHz

Modulaatio:

Savonlinna QAM256, Muut paikkakunnat QAM128

Symbolinopeus:

Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 4**

Taajuus:

Kaikki paikkakunnat 354 MHz

Modulaatio:

Kaikki paikkakunnat QAM128

Symbolinopeus:

Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 5**

Taajuus:

Kaikki paikkakunnat 346 MHz

Modulaatio:

Kaikki paikkakunnat QAM128

Symbolinopeus:  
Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 6**

Taajuus:  
Kaikki paikkakunnat 338 MHz

Modulaatio:  
Kaikki paikkakunnat QAM128

Symbolinopeus:  
Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 7**

Taajuus:  
Kaikki paikkakunnat 322 MHz

Modulaatio:  
Kaikki paikkakunnat QAM128

Symbolinopeus:  
Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 8**

Taajuus:  
Kaikki paikkakunnat 314 MHz

Modulaatio:  
Kaikki paikkakunnat QAM128

Symbolinopeus:  
Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 9**

Taajuus: 162 MHz  
(Oulun seutu 378 MHz)  
(Lahti, Kuopio, Kotka ja Loviisa 242 MHz)

Modulaatio:  
Karjaa QAM256  
Muut paikkakunnat QAM128

Symbolinopeus:  
Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 10**

Taajuus:

Kaikki paikkakunnat 306 MHz

Modulaatio:

Kaikki paikkakunnat QAM128

Symbolinopeus:

Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 11**

Taajuus:

Oulu, Kuopio, Pori, Lohja ja Ylivieska 266 MHz

Lahti, Kuopio, Oulu, Kotka, Iisalmi, Salo, Laitila ja Loviisa 298 MHz

Parainen 394 MHz

Muut paikkakunnat 154 MHz

Modulaatio:

Pori, Rauma, Raisio ja Laitila QAM256

Muut paikkakunnat QAM128

Symbolinopeus: Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 12**

Taajuus:

Pori ja Lohja 282 MHz

Muut paikkakunnat 290 MHz

Modulaatio:

Kaikki paikkakunnat QAM256

Symbolinopeus:

Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 13**

Taajuus:

Oulu, Kuopio, Pori, Lohja ja Ylivieska 274 MHz

Muut paikkakunnat 282 MHz

Modulaatio:

Kaikki paikkakunnat QAM256

**Kanavanippu 14**

Taajuus:

Oulu, Kuopio, Pori, Lohja ja Ylivieska 266 MHz

Muut paikkakunnat 274 MHz

Modulaatio:

Kaikki paikkakunnat QAM256

Symbolinopeus:

Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 15**

Taajuus:

Lohja ja Pori 290 MHz

Oulu, Kuopio ja Ylivieska 258 MHz

Muut paikkakunnat 266 MHz

Modulaatio:

Kaikki paikkakunnat QAM256

Symbolinopeus:

Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 16**

Taajuus:

Kaikki paikkakunnat 250 MHz

Modulaatio:

Kaikki paikkakunnat QAM256

Symbolinopeus:

Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s

**Kanavanippu 17**

Taajuus:

Ylivieska 242MHz

Kuopio 330MHz

Muut paikkakunnat 258 MHz

Modulaatio:

Kaikki paikkakunnat QAM256

Symbolinopeus:

Kaikki paikkakunnat 6.875 Msymbol/s