

Tampereen ammattikorkeakoulu

Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka

Opinnäytetyö

Teppo Alestalo

DVB-T ja DVB-T2

Työn ohjaaja
Tampere 08/2010

Lehtori Ari Rantala

Tekijä	Teppo Alestalo
Työn nimi	DVB-T ja DVB-T2
Sivumäärä	31
Valmistumisaika	31.08.2010
Työn ohjaaja	Lehtori Ari Rantala
Avainsanat	DVB-T, DVB-T2, OFDM, modulaatio

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyöraportin tarkoituksena on koota tiivistetty tietopaketti DVB-T- ja DVB-T2-järjestelmistä lähinnä teknisestä näkökulmasta. Maailmassa ollaan siirtymässä pääosin digitaalisiin järjestelmiin ja koska digitaali-tv:n kaapeli- ja satelliittiversioita ei voida maantieteellisistä syistä käyttää joka alueella, niin DVB-T ja DVB-T2 ovat erittäin tärkeitä tulevaisuuden standardeja.

DVB-T- ja DVB-T2-järjestelmät perustuvat pääosin OFDM-modulaatiotekniikkaan ja sen avulla video- ja audiodataa siirretään antenniteitse vastaanottimille. Varsinkin DVB-T2-tekniikka soveltuu erinomaisesti tulevaisuuden teräväpiirtolähetyksiä varten ja sillä saadaan hyödynnettyä arvokas radiospektri tehokkaasti.

Työssä on ensin kuvattu DVB-T- ja DVB-T2-järjestelmiä yleisellä tasolla ja sen jälkeen syvemmin lähtien lähettimen ja vastaanottimen lohko- ja rakenteista. Myös tärkeä OFDM-tekniikka ja eri modulaatiotavat on kuvattu yleisellä tasolla. Erityisesti on keskitytty DVB-T2-järjestelmän uudistuksiin ja tärkeimpiin eroihin verrattuna DVB-T-järjestelmään.

Valitettavasti koululla ei vielä ollut käytössä mitään laitteita mittauksia varten, joten työ jäi puhtaasti teoreettiselle pohjalle. Tuloksena silti syntyi ihan hyvää yleistietoa aiheesta.

Writer	Teppo Alestalo
Thesis	DVB-T and DVB-T2
Number of pages	31
Graduation time	31.08.2010
Thesis supervisor	Senior lecturer Ari Rantala
Keywords	DVB-T, DVB-T2, OFDM, modulation

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to give information about the DVB-T and DVB-T2 systems mainly from a technical point of view. Most of the countries are making a transition towards digital systems and because the digital televisions cable and satellite versions can't be used everywhere due to geographical reasons the DVB-T and DVB-T2 are very important standards of the future.

DVB-T and DVB-T2 systems are mainly based on OFDM modulation and with it video and audio data is being transmitted using aerial connection. Especially DVB-T2 technology suits very well for the futures high definition broadcasts and with it the valuable radio frequency spectrum can be used efficiently.

First the DVB-T and DVB-T2 systems are described in general and after that in depth starting with the block diagrams of the transmitter and receiver and the frame structures. The important OFDM technology along with the conventional modulation schemes is also described in general. The focus is especially in the differences between the DVB-T and DVB-T2 systems.

Unfortunately there wasn't any DVB-T devices available for measurements so this thesis is mainly theoretical. Still this resulted in giving good general information about the subject.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun tietoliikennetekniikan opinnäytetyönä. DVB-T- ja DVB-T2-järjestelmät vaikuttivat mielenkiintoisilta ja muutenkin ajankohtaisilta, joten päätin tehdä niistä opinnäytetyöni.

Haluan kiittää Ari Rantalaa ohjeista työn suhteen.

Työ on julkinen.

Tampereella 06.08.2010

Teppo Alestalo

LYHENTEET JA TERMIT

A/D	<i>Analog-to-digital converter</i> , muunnin, joka muuntaa signaalin analogisesta digitaaliseksi.
AFC	<i>Automatic frequency controller</i> , automaattinen taajuusohjain, mitä käytetään DVB-T-vastaanotimessa.
Alamouti	Alamouti nimisen henkilön kehittämä lohkokoodaustekniikka, jota käytetään DVB-T2-järjestelmässä.
BCH	<i>Bose-Chaudhuri-Hocquengham</i> , virheenkoraustekniikka, mitä käytetään DVB-T2-järjestelmissä.
BER	<i>Bit error rate</i> , bittivirhesuhde.
C/N	<i>Carrier-to-noise ratio</i> , moduloidun signaalin signaali-kohinasuhde.
DAC	<i>Digital-to-analog converter</i> , muunnin, joka muuntaa signaalin digitaalisesta analogiseksi.
DVB-H	<i>Digital Video Broadcasting – Handhelds</i> , digitaalisten tv-lähetysten standardi matkapuhelintyyppisiä päätelaitteita varten.
DVB-T	<i>Digital Video Broadcasting – Terrestrial</i> , digitaalisten tv-lähetysten maanpäällistä verkkoa käyttävä standardi.
FEC	<i>Forward error correction</i> , virheenkoraustekniikka, missä lähetetään lähetetään pieni määrä hyödyttöä koodattua informaatiota varsinaisen tiedon seassa ja jos alkuperäistä tietoa katoaa, niin tämän koodatun informaation avulla se voidaan palauttaa alkuperäiseen muotoon.
FEF	<i>Future extension frame</i> , DVB-T2-kehiksen osa, mikä on tarkoitettu tulevaisuuden päivityksiä varten.
FFT	<i>Fast Fourier transform</i> , nopea Fourierin muunnos on algoritmi, jolla saadaan laskettua diskreetti Fourier-muunnos tehokkaasti. Käytetään erityisesti OFDM-tekniikassa
FIR	<i>Finite impulse response</i> , lineaarinen suodatin, jonka toimintaperiaatteena on nopea Fourier-muunnos. Käytetään DVB-T-vastaanotimessa.
LPDC	<i>Low-density parity-check code</i> , lineaarinen virheenkoraustekniikka, mitä käytetään DVB-T2-järjestelmissä.

- MISO** *Multiple-input and single-output*, moniantennilähetystekniikka, mitä hyödynnetään DVB-T2-järjestelmässä.
- MPEG-2** *Moving Picture Experts Group*, kuvan pakkauksen standardi.
- NCO** *Numerically controlled oscillator*, numeerisesti kontrolloitu oskillaattori, mitä käytetään DVB-T-vastaanotimessa.
- OFDM** *Orthogonal frequency-division multiplexing*, ortogonaalinen taajuusjakoinen modulointimenetelmä, joka perustuu diskreettiin Fourier-käänteismuunnokseen.
- PLP** *Physical layer pipe*, fyysinen kerros DVB-T2-järjestelmässä, jolla voidaan siirtää bittivirtoja joustavasti, koska eri PLP-osille voidaan erikseen määrittää koodausaste ja konstellaatio.
- QAM** *Quadrature Amplitude Modulation*, modulointitekniikka, missä moduloidaan samanaikaisesti ja toisistaan riippumatta signaalin amplitudia ja vaihekulmaa.
- QPSK** *Quadrature Phase Shift Keying*, nelivaiheinen vaiheavainnus, modulaatiomenetelmä, missä moduloiva signaali muuttaa kantoaallon vaihetta suoraan ja hetkellinen vaihe kertoo sanoman arvon.
- RF** *Radio frequency*, radiotaajuus.
- SAW** *Surface acoustic wave filter*, pinta-aaltosuodatin, mitä käytetään DVB-T-vastaanotimessa.
- TPS** *Transmission Parameter Signalling*, DVB-T-kehiksen osa, joka sisältää parametreja lähetetystä signaalista.
- UHF** *Ultra high frequency*, mikroaaltojen taajusalue välillä 0,3-3 GHz.
- VHF** *Very high frequency*, radiotaajuudet välillä 30-300 MHz.

Sisällys

TIIVISTELMÄ	i
ABSTRACT	ii
ALKUSANAT	iii
LYHENTEET JA TERMIT	iv
Sisällys	vi
1 Johdanto	1
2 DVB-T:n käyttö maailmassa	2
3 DVB-T:n perusteet	3
3.1 DVB-T-lähttimen tekninen kuvaus	4
3.2 DVB-T-vastaanottimen tekninen kuvaus	6
3.3 DVB-T-signaalin siirtokehys	8
3.3.1 Laskuesimerkki	9
4 Yleistä DVB-T2:sta	10
4.1 DVB-T2:n historia ja tulevaisuus	10
4.2 DVB-T2:n muutokset	11
5 OFDM yleisesti	13
5.1 OFDM:n matemaattinen esitys	15
6 DVB-T-järjestelmien modulaatiotavat	16
6.1 QPSK-modulaatio	16
6.2 16-QAM-modulaatio	16
6.3 64-QAM-modulaatio	18
6.4 256-QAM-modulaatio	19
7 DVB-T2-järjestelmä	20
7.1 Arkkitehtuurinen malli	21
7.1.1 SS1	21
7.1.2 SS2	21
7.1.3 SS3	22
7.1.4 SS4	22
7.1.5 SS5	22
7.1.6 Protokollapinot	23
7.2 DVB-T2-kehysrakenne	24
7.3 DVB-T2-signaalin spektri	25
7.4 Tärkeimmät uudistukset	26
7.4.1 PLP	26
7.4.2 Lisäkaistanleveydet	26
7.4.3 Alamouti-pohjainen MISO	26
7.4.4 Uudet FFT-moodit ja suojavälit	27
7.4.5 Uudet virheenkorjaustekniikat	27
8 Yhteenveto	29
Lähteet	30
Liitteet	32

1 Johdanto

DVB-T on lyhenne sanoista Digital Video Broadcasting - Terrestrial, eli digitaalivideolähetyksen maanpäällistä verkkoa käyttävä osa. DVB-T on lähinnä Euroopassa käytetty standardi, jonka ensimmäinen versio julkaistiin maaliskuussa 1997. Sen jälkeen siitä on tullut suosituin maanpäällistä verkkoa käyttävä systeemi maailmassa. Se on erittäin joustava ja mahdollistaa useiden palvelujen käytön, esimerkiksi teräväpiirtolähetykset, vakiopiirtolähetykset ja käytön myös mobiililaitteissa. [7]

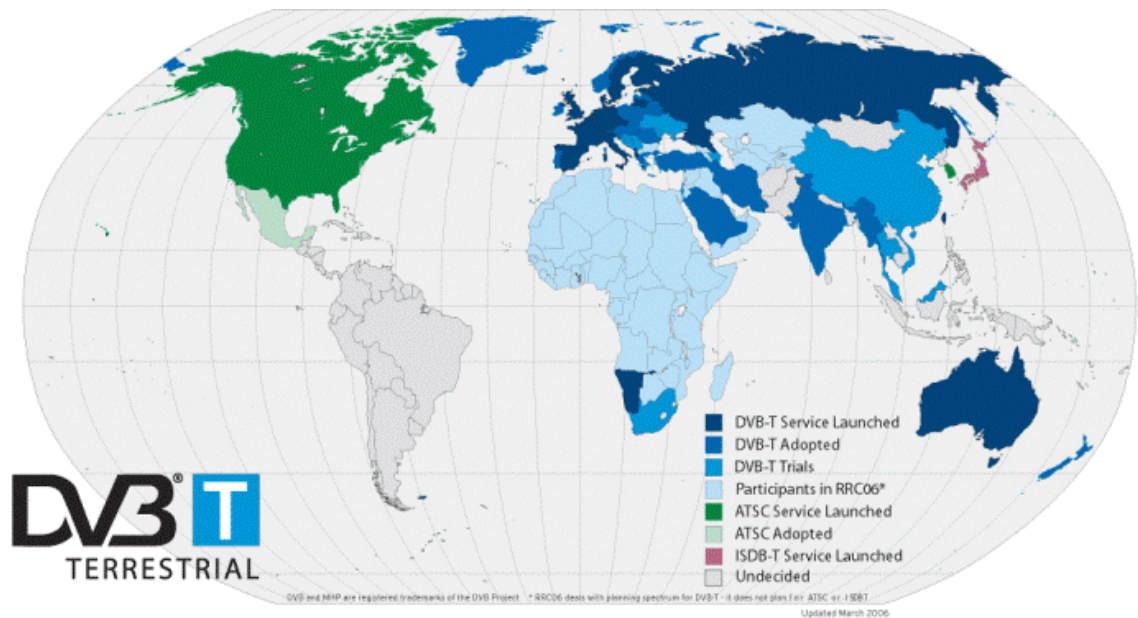
Kun DVB:tä lähetettiin kehittämään vuonna 1993 painotus oli lähinnä kaapeli- ja satelliittiversioiden puolella helpomman tekniikan ja säännöllisemmän asiakaskunnan takia. Maanpäällistä verkkoa käyttävä systeemi tuo mukanaan ongelmia, kuten kohinaa ja monitie-etenemistä. Nämä huomioonottamalla saatiin lopulta määriteltyä millainen DVB-T-systeemin pitäisi olla. [7]

DVB-T2 tarjoaa huomattavia parannuksia DVB-T:hen verrattuna. DVB-T2 käyttää uusimpia modulointi- ja koodausmenetelmiä, joilla saadaan spektri 30-50 % tehokkaammin käyttöön verrattuna DVB-T:hen äänen, videon ja datan siirtoa varten. DVB-T2-standardia ei ole kuitenkaan tarkoitettu välittömästi korvaamaan DVB-T:tä, vaan niiden oletetaan toimivan yhdessä vielä useita vuosia. [7]

Siirtymällä digitaalisiin järjestelmiin on jo monissa maissa päästy analogisista järjestelmistä kokonaan eroon, jolloin arvokas UHF- ja VHF-spektri on saatu käyttöön muihin tarkoituksiin. DVB-T2:een siirtymällä tätä prosessia saataisiin nopeutettua sen tarjoamien uusien palveluiden avulla.

2 DVB-T:n käyttö maailmassa

Kuvasta 1 nähdään, että DVB-T-järjestelmä on lähinnä käytössä Euroopassa muutaman muun maan ohella. Esimerkiksi Yhdysvalloissa on taas käytössä aivan oma järjestelmänsä ja Etelä-Amerikassa ei ole vielä tehty päätöksiä standardin suhteen.



Kuva 1 DVB-T:n levinneisyys [7]

Ensimmäiset koelähetykset aloitettiin vuonna 1997 Englannissa, jonka jälkeen standardia ruvettiin ottamaan käyttöön muissakin Euroopan maissa. Eniten DVB-T-vastaanottimia on myyty Englannissa, Saksassa, Ranskassa, Italiassa, Espanjassa ja Australiassa. Monissa maissa on myös otettu teräväpiirtolähetykset käyttöön DVB-T:tä käyttäen, vaikkakin DVB-T2 tarjoaa siihen huomattavasti paremmat olosuhteet. [7]

Vuonna 2006 yli 100 maata Euroopassa, Afrikassa ja Lähi-idässä pääsi yhteiseen sopimukseen DVB-T:n tai DVB-T2:n käytöstä ja ne otetaankin käyttöön lähitulevaisuudessa. Vuonna 2007 päästiin myös sopimukseen Kaakkois-Asiassa, ja myös siellä DVB-T luultavasti otetaan käyttöön lähivuosien aikana. [7]

3 DVB-T:n perusteet

DVB-T käyttää hyväkseen OFDM-modulaatiota. Tämän avulla digitaalinen datavirta voidaan jakaa useiksi hitaammiksi datavirroiksi, jonka jälkeen voidaan käyttää joitain perinteisiä modulaatiomenetelmiä. Tällä saadaan aikaan tehokas signaali, joka kestää erittäin hyvin vaikeita kanavan olosuhteita. DVB-T:n tekniset ominaisuudet tekevät siitä erittäin joustavan systeemin. Se käyttää hyväkseen kolmea erilaista modulointitapaa: QPSK, 16QAM ja 64QAM. Kantoaalto ovat joko 2k-moodissa, jolloin käytössä on 1705 kantoaaltoa tai 8k-moodissa, jolloin käytössä on 6817 kantoaaltoa. 2k-moodi soveltuu pieniin yhden taajuuden verkkoihin ja 8k-moodi taas pieniin tai suuriin. Se voi operoida 6, 7 tai 8 MHz kanavanleveyksillä. [7]

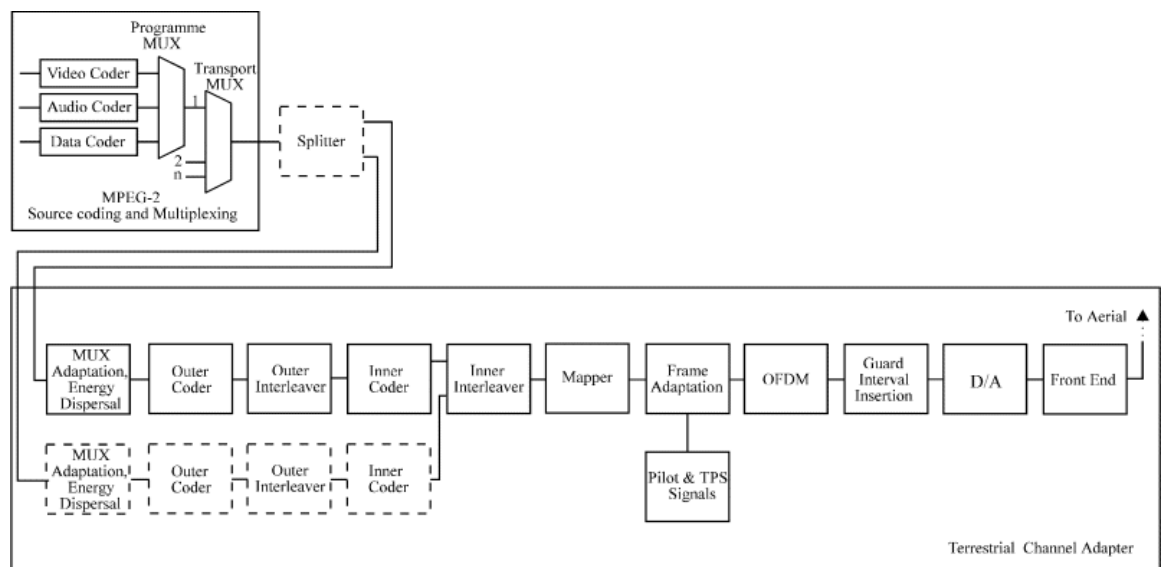
DVB-T käyttää tiettyä suojavälitekniikkaa, jolla voidaan hallita voimakasta monitie-etenemistä. Näitä on neljä erilaista vaihtoehtoa. DVB-T käyttää myös viittä erilaista FEC-virheenkorjaustasoa. Näiden kaikkien eri parametrien avulla DVB-T-verkko voidaan suunnitella vastaamaan verkko-operaattorin tarpeita. [7]

DVB-T-standardi soveltuu myös hyvin mobiililaitteiden käyttöön ja se onkin otettu käyttöön monissa kaupallisissa palveluissa. Tätä varten DVB-T:tä kehitettiin edelleen DVB-H-standardiksi, joka on erityisesti kannettavia laitteita varten ja perustuu suurimmalta osin DVB-T:hen. [7]

Yksi erityinen piirre DVB-T:ssä on, että se kykenee hierarkkiseen modulaatioon. Tällä tekniikalla kaksi eri datavirtaa moduloidaan yhdeksi DVB-T-signaaliksi, jolloin voidaan lähettää dataa kahdelle täysin erityyppiselle vastaanottimelle, joissa on täysin erilaiset palvelut. Voidaan esimerkiksi lähettää samalla teräväpiirtokuvaa sekä dataa kannettaville laitteille. [7]

3.1 DVB-T-lähettimen tekninen kuvaus

Kuvan 4 lohkokkaaviosta nähdään lähettimen periaatteellinen toiminta. Alussa pakattu video, audio ja data multipleksoidaan ohjelmadatavirroiksi. Yksi tai useampi näistä liitetään MPEG-2-siirtobittivirraksi. Tiedonsiirtokapasiteetti riippuu koodaus- ja modulointiparametreista, ja se voi olla 5-32 Mbit/s. Jakajassa kahta erilaista siirtobittivirtaa voidaan lähettää yhtäaikaan käyttäen hierarkkista lähetystä. Tätä käytetään usein teräväpiirtokuvan ja vakiopiirtokuvan lähettämistä varten samassa kantoaallossa. [4]



Kuva 2 DVB-T-lähettimen lohkokkaavio [4]

Multiplekserin adaptoinnissa siirtobittivirta tunnistetaan vakiokokoisina 188-bittisinä datapaketteina, jonka jälkeen tämän bittisekvenssin korrelaatio puretaan. Ulkoisessa kooderissa suoritetaan virheenkorjausta käyttämällä Reed-Solomon-lohkokoodia, jolla voidaan korjata maksimissaan kahdeksan bitin virhe jokaisesta 188 bitin paketista. [4]

Ulkoisessa lomittajassa käytetään konvoluutiolomitusta uudelleenjärjestääkseen lähetettyä dataa niin, että se ei ole niin herkkä

pitkille virhejaksoille. Sisäisessä kooderissa jatketaan virheenkorjausta konvoluutiokoodilla. Sisäisessä lomittajassa data järjestetään taas uudestaan, jolla yritetään estää purskemaisia virheitä. Tähän käytetään tiettyä lohkolomitustekniikkaa. Tämän jälkeen digitaalinen bittisekvenssi yhdistetään kantataajuuden moduloituun symbolien sekvenssiin. Tässä käytetään QPSK-, 16QAM- tai 64QAM-modulointia. [4]

Kehyksen muodostuksessa symbolit järjestetään 1512, 3024 tai 6048 symbolin lohkoiksi. Näistä saadaan taas kehys, mikä koostuu 68 lohkoa ja superlohko mikä koostuu neljästä kehyksestä. Jotta voidaan yksinkertaistaa vastaanottoa niin jokaiseen lohkoon lisätään lisäsignaaleja. Ohjaussignaaleja käytetään synkronointiin ja TPS-signaalit (*transmission parameter signalling*) lähettävät lähetettävän signaalin parametreja. Tämän jälkeen suoritetaan OFDM-modulointi ja lisätään suojaväli. Viimeisessä vaiheessa digitaalinen signaali muunnetaan analogiseksi ja sen jälkeen se moduloidaan VHF- tai UHF-radiotaajuudeksi. [4]

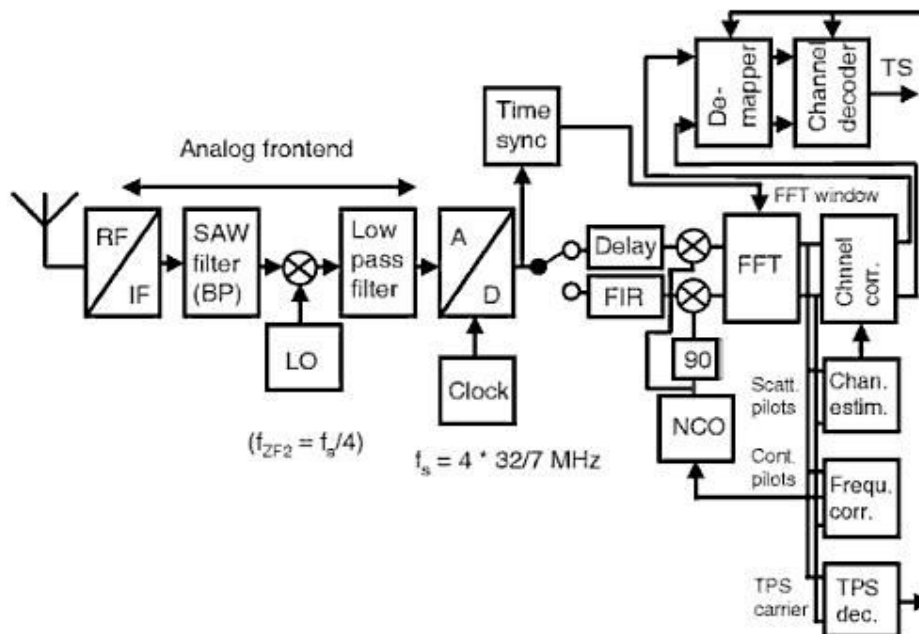
DVB-T-standardissa voidaan valita hierarkkisen ja ei-hierarkkisen lähetyksen välillä. Hierarkkisessa lähetyksellä käytetään myös katkoviivalla piirrettyjä osia lohkoakaaviosta. Kaksi erillistä MPEG-siirtobittivirtaa prosessoidaan ennenkuin ne yhdistetään signaalin konstellaatioon modulaattorin avulla. Toinen näistä siirtobittivirroista on korkean prioriteetin bittivirta ja toinen matalan prioriteetin. Yleensä esimerkiksi teräväpiirtokuvaa lähetetään korkean prioriteetin bittivirtana. [4]

Ei-hierarkkisessa lähetyksessä yksinkertaisesti ohitetaan katkoviivalla piirretyt osat ja signaali kulkee suoraan. Tyypillisesti ei-hierarkkinen lähetys voidaan jakaa monen tai yhden kanavan lähetyksiin. Yhden kanavan lähetyksiä käytetään kun tarvitaan koko kaistanleveys esimerkiksi

erittäin korkealaatuista lähetystä varten. Monen kanavan lähetyksessä taas voidaan lähettää useampaa kanavaa yhtäaikaan. [4]

3.2 DVB-T-vastaanottimen tekninen kuvaus

Vastaanotettu RF-signaali muunnetaan ensin virittimessä välitaajuudeksi. Normaalisti tämä on 36 MHz. Sen jälkeen signaali johdetaan SAW:n (*surface acoustic wave filter*) eli pinta-aaltosuodattimen läpi, jossa se suodatetaan kanavanleveydelle 6, 7 tai 8 MHz. Tämän suodatuksen jälkeen vierekkäiset kanavat vaimennetaan saavuttaakseen riittävän taso häiriöiden välttämiseksi. Välissä oleva sekoitin muuntaa välitaajuuden toiseksi välitaajuudeksi, mikä on yleensä 5 MHz. Tämän jälkeen signaali vieään vielä alipäästösuotimen läpi, jossa suodatetaan kaikki signaalin komponentit, jotka ovat yli puolet näytetaajuudesta. [1]



Kuva 3 DVB-T-vastaanottimen lohkokaavio [1]

Seuraavaksi signaali muunnetaan digitaaliseksi muuntimella. Tämän jälkeen suoritetaan synkronointi korrelaatiota hyväksikäyttäen. Sitten korrelaatiofunktiolla asetetaan FFT-näyteikkuna tiettyyn asentoon ja tämä signaali syötetään FFT-prosessorille. Tämän jälkeen datavirta jaetaan kahteen osaan kytkimen avulla. Koska nämä kaksi datavirtaa ovat sitten eri vaiheisia, niin tämä eliminoidaan FIR-suotimen (*finite impulse response*) avulla. Tämä vaihe aiheuttaa viivettä, mikä sitten täytyy huomioida myöhemmin. Sitten nämä datavirrat johdetaan monimutkaiseen sekoittimeen. Tämän ja NCO:n (*numerically controlled oscillator*) eli numeerisesti kontrolloidun oskillaattorin avulla sitten korjataan itse DVB-T-signaalin taajuus. Apuna käytetään AFC:ta (*automatic frequency controller*) eli automaattista taajuuskorjainta. [1]

FFT-signaalin prosessointilohko muuntaa COFDM-symbolit takaisin taajuusasteiseksi. Tässä on kuitenkin vielä paljon vaihesiirtoa olemassa kaikissa COFDM-apukantoaalloissa. Mutta koska DVB-T-signaalissa on paljon ohjaussignaaleja, joilla voidaan suorittaa kanavaestimointia ja kanavakorjausta vastaanottimessa, niin vääristymät saadaan hyvin korjattua. Tästä kanavan koodin purkajan kautta saadaan lopullinen siirtobittivirta ulos. [1]

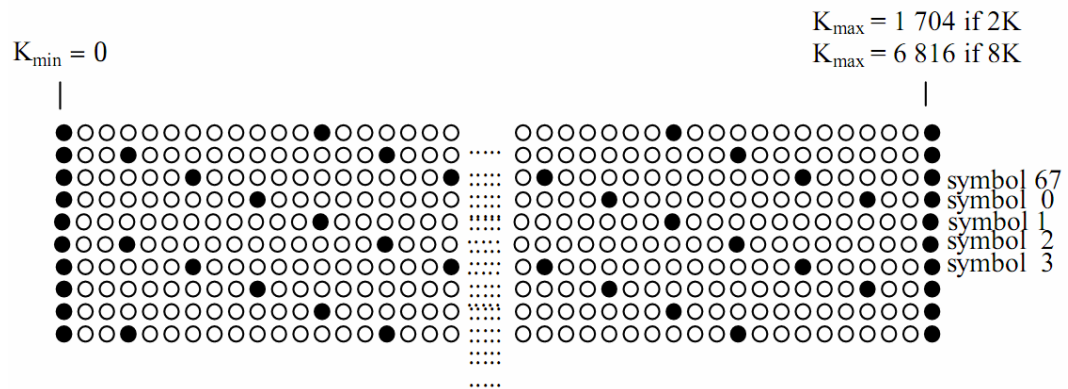
Vaikkakin DVB-T-vastaanotin itsessään on erittäin monimutkainen laite, niin nykyisen mikropiiritekniikan avulla suurin osa sen moduleista voidaan rakentaa yhdelle piirille. Koska DVB-T-tekniikka on ollut olemassa jo yli vuosikymmenen, niin erilaisia kaupallisia sovelluksia vastaanottimista löytyy todella monelta eri valmistajalta ja myös erilaisia malleja on suuri määrä.

Yleisin versio DVB-T-vastaanottimesta on erityinen digiboksi, mutta myös television sisäänrakennettuja versioita löytyy ja tietokoneille löytyy omia PCI-väylään asetettavia sisäisiä kortteja tai USB-väylään käyviä

ulkopuolisia versioita. Yleensä digisovittimet on tarkoitettu vain yhden kanavan vastaanottamiseen, mutta on olemassa versioita, joissa on useampi viritin ja näin yhden kanavan katsominen ja toisen tallentaminen onnistuu yhtäaikaan. Useissa sovittimissa on myös lähiverkkoliitäntä, jolla nauhoitettu ohjelma on kätevä siirtää tietokoneen kovalevylle. Nykyään itse digibokseista löytyy myös isot kovalevyt joihin mahtuu useita tunteja ohjelmia.

3.3 DVB-T-signaalin siirtokehys

DVB-T:ssä lähetettävä signaali koostuu kehyksistä. Kehys taas koostuu 68 symbolista, jotka sijaitsevat kuvan 4 y-akselilla. Symboli muodostuu 1705 kantaallosta 2k-moodissa ja 6817 kantaallosta 8k-moodissa jotka näkyvät x-akselilla. Symbolien välinen lähetysaika on T_s , joka koostuu hyötyajasta T_U ja suojavaalista. [3]



Kuva 4 DVB-T-signaalin siirtokehys [3]

Kaikki symbolit sisältävät dataa ja referenssi-informaatiota. Datan lisäksi kehys sisältää ohjaussoluja ja TPS-soluja. Ohjaussoluja voidaan käyttää kehys-, taajuus- ja aikasykronointiin, kanavaestimointiin, lähetystyyppin tunnistamiseen ja vaihekohinan seuraamiseen. [3]

TPS on lyhenne sanoista Transmission Parameter Signalling. TPS-solut sisältävät tietoa moduloinnista, hierarkkista informaatiota, suojavälin, suojaustason, lähetysmoodin, kehysnumeron ja solun tunnistustiedon. TPS lähetetään vierekkäisinä TPS-soluina, joita on 17 2k-moodissa ja 68 8k-moodissa. Kaikki saman symbolin TPS-solut sisältävät saman erilailla koodatun informaatiobitin. [3]

3.3.1 Laskuesimerkki

Lasketaan symbolien kokonaiskestoajaa, kun käytössä on 8 MHz kanavan leveys. Symbolin hyötyaika T_U tällä kanavanleveydellä on 448 mikrosekuntia. Käytetään esimerkiksi $\frac{1}{4}$ suojaväliä, jolloin suojavälin kestoajaksi saadaan $448 \mu\text{s} / 4 = 112 \mu\text{s}$. Symbolin kokonaiskestoajaa voidaan täten laskea kaavalla $T_S = \text{suojavälin kestoajaksi} + T_U$. Eli $T_S = 112 \mu\text{s} + 448 \mu\text{s} = 560 \mu\text{s}$.

4 Yleistä DVB-T2:sta

Vaikkakin DVB-T2:n periaatteellinen toiminta on hyvin samanlaista verrattuna DVB-T:hen, se tarjoaa silti huomattavia uudistuksia, joilla saavutetaan parempi spektrin käyttö. Tämän takia siihen yritetäänkin siirtyä niin nopeasti kuin mahdollista. Tärkeintä kuitenkin on DVB-T2:n tarjoama lisäkaista, mikä tarjoaa hyvät puitteet teräväpiirtolähetyksiä ja muita tulevaisuuden palveluita varten.

4.1 DVB-T2:n historia ja tulevaisuus

Analogisista järjestelmistä poissiirtymistä haluttiin nopeuttaa DVB:n käyttöönoton jälkeen ja tämän takia alettiin kehittämään päivitystä maanpäällisen verkon digitaalistandardiin. Vuonna 2006 perustettiin varsinainen virallinen tutkimusryhmä kehittämään edistyksellistä modulaatiomenetelmää, joka sitten voitiin yhdistää uuteen maanpäällisen verkon standardiin. [7]

DVB-T2-standardi on erityisen tärkeä tulevaisuutta ajatellen, koska teräväpiirtolähetykset tulevat yleistymään useimmissa maissa. DVB-T2:n huomattavasti tehokkaampi spektrin käyttö tarjoaa teräväpiirtolähetyksille tarvittavan kaistan paremmin kuin DVB-T-standardi. Myös lukuisat eri kaupalliset palvelut hyötyvät tästä paremmasta spektrin käytöstä. Vaikka käytössä on nykyään satelliittien ja kaapelin kautta tapahtuvat digitaalilähetykset, niin maanpäällistä verkkoa käyttävät systeemit ovat silti tärkeitä ajatellen alueita, joihin muilla tavoilla lähetykset ei onnistu ja eritoten kannettavien laitteiden tapauksessa. Tämän takia oli tärkeää päivittää myös maanpäällisen verkon standardi uuteen versioon. [7]

DVB-T2-standardi saatiin vasta viimeisteltyä kesällä 2008 ja tarvittavan standardisoinnin takia sitä päästään varsinaisesti käyttämään vasta tulevaisuudessa. DVB-T2-modulaattoreita on kuitenkin jo markkinoilla,

kuten myös testiversioita itse vastaanottimista ja kohta päästään varsinaiseen kaupalliseen tuotantoon niiden osalta. Ensimmäiset DVB-T2-lähetykset tullaan ottamaan käyttöön Englannissa vielä vuonna 2009. Valitettavaa aina tällaisissa standardin päivityksissä on tietenkin se, että ne tarvitsevat uudenlaisen vastaanottimen ja tämä tietenkin hidastaa siirtymistä monissa maissa. Esimerkiksi Suomessa ensimmäisten teräväpiirtolähetyksen, jotka käyttävät DVB-T2-standardia pitäisi alkaa vuonna 2010. [7]

4.2 DVB-T2:n muutokset

DVB-T2 toimii perustasolla hyvin samanlailla kuin DVB-T. Se käyttää myös OFDM-modulointia ja kuten DVB-T:n tapauksessa, sen useat eri moodit tarjoavat erittäin joustavan standardin. DVB-T2 käyttää LPDC (*low density parity check*) koodausta yhdistettynä BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquengham*) koodaukseen. Tämä yhdistelmä tarjoaa erittäin hyvän suorituskyvyn korkeiden kohinatasojen ja häiriöiden olosuhteissa. [7]

	DVB-T	DVB-T2
FEC	Convolutional Coding + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LPDC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modes	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
FFT size	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Scattered Pilots	8% of total	1%, 2%, 4%, 8% of total
Continual Pilots	2.6% of total	0.35% of total

Kuva 5 DVB-T vertailutaulukko [7]

Käytössä on myös uusi tekniikka nimeltään pyörivät konstellatit (*rotating constellations*), jonka pitäisi auttaa huomattavasti vahvan signaalin aikaansaamisessa. Tämän lisäksi on mekanismi, jolla voidaan erikseen säätää palveluita kanavan sisällä ja sillä voidaan myös säästää virtaa purkamalla vain yksi kanavista koko kanavanipun sijaan. DVB-T2:ssa on myös keino päivittää standardia tulevaisuudessa. [7]

Kuvan 5 vertailutaulukosta nähdään myös muut tärkeät erot, virheenkorojauksessa siis käytetään erilaisia koodauksia ja myös käytettäviä virheenkorojaustasoja on enemmän. Nämä uudet koodausmenetelmät käyttävät huomattavasti vähemmän kaistaa verrattuna DVB-T:n Reed-Solomon-menetelmään. Myös modulointimenetelmissä on otettu käyttöön uusi 256QAM-modulaatio, joka sallii 8 bitin koodauksen jokaisessa taajuusvälissä. [7]

DVB-T2 sallii myös enemmän FFT-moodeja verrattuna DVB-T:hen. Suuret FFT-moodit pienentävät huomattavasti yhden taajuuden verkkojen ylikuuluvuutta. Mutta doppler-siirtymän takia suurilla FFT-moodeilla ei ole paljon käyttöä esimerkiksi todellisessa mobiiliympäristössä. Suurempi määrä eri suojavalejä myös parantaa signaalin laatua. DVB-T2 käyttää myös suurempaa määrää ohjauskuvioita, joilla saavutetaan huomattavasti pienempi ylikuuluvuus kuin DVB-T:n tasainen 8 %. [7]

Kokonaisuudessaan DVB-T2 tarjoaa vähintään 30 % suurempaa kapasiteettia verrattuna DVB-T:hen, sen erittäin hyvällä spektrin käytöllä saavutetaan melkein Shannonin teoreettiset rajat. Tämä tietysti tarkoittaa, että voidaan lähettää parempilaatuista kuvasignaalia ja enemmän tv-kanavia. DVB-T2 käyttää myös MPEG-4 AVC H.264 pakkausta, jolla saavutetaan erittäin hyvä pakkaustehokkuus. [7]

5 OFDM yleisesti

OFDM eli orthogonal frequency-division multiplexing on olennainen osa sekä DVB-T- että DVB-T2-järjestelmää. OFDM-moduloinnissa datavirta jaetaan useaksi hitaammaksi datavirraksi apukantoaaltoja käyttäen. Jokaista näistä sitten moduloidaan jollain käytännön modulointimenetelmällä kuten esimerkiksi DVB-T:n tapauksessa QPSK ja QAM. Tästä saavutetaan huomattava etu verrattuna yhden kantaallon järjestelmiin, erityisesti monitie-etenemisestä johtuvaan häpymiseen. Suojavälitekniikalla voidaan eliminoida ISI eli intersymbol interference, symbolien välinen keskinäisinterferenssi. [8]

Yleisesti ottaen DVB-T-järjestelmissä puhutaan COFDM:stä (*coded orthogonal frequency-division multiplexing*), mikä on käytännössä sama asia kuin OFDM, mutta käytössä on myös virhekorjauskoodaus. COFDM ei ole sinällään pelkkä modulointimenetelmä, vaan siihen liittyy myös kanavointitoiminto. Sana ortogonaalisuus tarkoittaa järjestelmässä sitä, että kaikki kantaallot ovat ortogonaalisia toisiinsa nähden. Käytännössä yhden kantaallon taajuuden ollessa keskikohdassaan, niin muiden aaltojen amplitudi on nollassa. Tämän takia kantaallot eivät häiritse toisiaan. [7]

OFDM soveltuu käytettäväksi moniin eri tekniikoihin, esim. puhelinlinjoihin, ADSL-tekniikkaan, WLAN-järjestelmiin, langattomiin puhelimiin ja tietysti myös DVB-T- ja DVB-H-järjestelmiin. Siitä onkin tullut erittäin suosittu kaikkiin laajakaistaisiin digitaalisiin järjestelmiin. [8]

OFDM:n etuihin kuuluu mm. vaikeisiin kanavaolosuhteisiin sopeutuminen ilman monimutkaisten korjaimien käyttöä, korkea spektritehokkuus verrattuna perinteisiin modulointimenetelmiin ja hajaspektritekniikkaan, tehokas toteutus käyttäen FFT:tä eli Fast Fourier

Transformia ja se ei ole myöskään herkkä aikasykronaatiosta johtuviin virheisiin. Miinuksia tekniikassa on, että se on herkkä doppler-siirtymälle ja taajuussykronaatiosta johtuville ongelmille, koska taajuuspoikkeaman myötä apukantoaalto eivät enää ole ortogonaalisia ja se johtaa häiriöihin niiden välillä. Käytetty suojavälitekniikka vie myös järjestelmän kokonaistehokkuutta. [8]

Tarkemmin esitettynä OFDM-tekniikat perustuvat diskreettiin Fourier-käänteismuunnokseen. Moduloitavien symbolien taajuuksien voimakkuudet ja vaihekulmat muunnetaan diskreetin Fourier-käänteismuunnoksen avulla digitaalisen signaalin vaihteluiksi. Tämä taas muunnetaan DAC-muuntimella (*digital-to-analog converter*) analogiseksi OFDM-signaaliksi. Tätä voidaan sitten käyttää sellaisenaan tai moduloida radiotaajuista kantoaaltoa. Kanavien ja bittien määrä vaihtelee paljon, esimerkiksi kanavia voi olla käytössä kymmenistä useisiin tuhansiin. Eri kanavilla voidaan sitten käyttää eri modulaatiotapoja. Jos käytössä on esimerkiksi 16-QAM-modulaatio, niin yhden taajuuskanavan sisällä voidaan siirtää 4 bittiä. [8]

Demoduloinnissa sitten taas käytetään diskreettiä Fourier-muunnosta, jossa A/D-muuntimelta (*analog-to-digital converter*) saatavat näytteet muunnetaan taajuuskanavien voimakkuutta ja vaihetta kuvaaviksi kompleksiluvuiksi. Tästä sitten valitaan kanavan kompleksilukua lähinnä vastaava bittikuvio. [8]

Bittisiirtonopeus OFDM-järjestelmässä riippuu käytetystä virheenkorjaustasosta, modulaatiotavasta ja suojavälin pituudesta. Esimerkiksi Suomen DVB-T-järjestelmässä päästään lukemaan 22,12 Mbit/s. [8]

5.1 OFDM:n matemaattinen esitys

OFDM-signaali voidaan kuvata seuraavalla kaavalla:

$$\nu(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi kt/T}, \quad 0 \leq t < T,$$

Missä $\{X_k\}$ kuvaa datasymboleita, N on apukantaaaltojen määrä ja T on OFDM-symbolin aika. Apukantaaaltojen välistys $1/T$ tekee niistä ortogonaalisia symbolien aikajaksossa, joka näkyy tarkemmin seuraavasta:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{T} \int_0^T (e^{j2\pi k_1 t/T})^* (e^{j2\pi k_2 t/T}) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T e^{j2\pi(k_2 - k_1)t/T} dt = \delta_{k_1 k_2} \end{aligned}$$

Tässä $*$ tarkoittaa kompleksikonjugaattia ja δ on Kroneckerin delta. Jotta välttyttäisi symbolien väliseltä keskinäisinterferenssiltä, niin tähän vielä lisätään suojaväli T_g . Sen jälkeen lisätään syklinen osa, että $-T_g \leq t < 0$ välissä oleva signaali vastaa väliä $(T - T_g) \leq t < T$. Tästä saadaan:

$$\nu(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi kt/T}, \quad 0 \leq t < T,$$

Tämä voi olla reaalinen tai kompleksilukuinen. Yleisesti ottaen signaalia voidaan kuvata seuraavalla kaavalla:

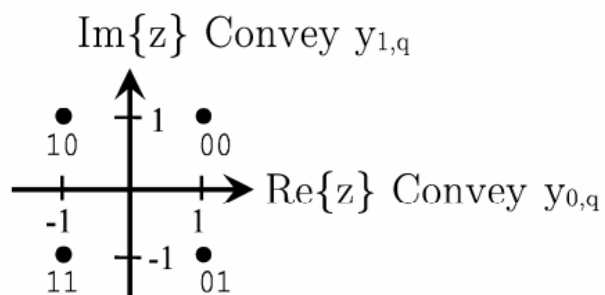
$$\begin{aligned} s(t) &= \Re \{ \nu(t) e^{j2\pi f_c t} \} \\ &= \sum_{k=0}^{N-1} |X_k| \cos(2\pi[f_c + k/T]t + \arg[X_k]) \end{aligned} \quad [8]$$

6 DVB-T-järjestelmien modulaatiotavat

DVB-T-järjestelmät pohjautuvat perinteisiin modulaatiotapoihin QPSK (*quadrature phase shift keying*) ja QAM (*quadrature amplitude modulation*). Näiden avulla saadaan sitten siirrettävä tieto sovitettua siirtotielle.

6.1 QPSK-modulaatio

QPSK:ssa eli nelivaiheisessa vaiheavainnuksessa on käytössä vain neljä vaihe-eroa. Vaiheavainnus itsessään kuuluu eksponentiaalisiin modulaatiomenetelmiin. Se toimii siten, että moduloiva signaali muuttaa kantoaallon vaihetta suoraan ja hetkellisestä vaiheesta nähdään sanoman arvo. QPSK:n tapauksessa kaksi bittiä 00, 01, 10 ja 11, kuten nähdään kuvan 6 konstellaatiosta. Tämä tarkoittaa sitä, että jokaisella kantoaallon pulssilla saadaan välitettyä 2 bittiä tietoa. Tätä voidaan käyttää sekä DVB-T-järjestelmässä että DVB-T2-järjestelmässä. [5]



Kuva 6 QPSK-konstellaatio [5]

QPSK

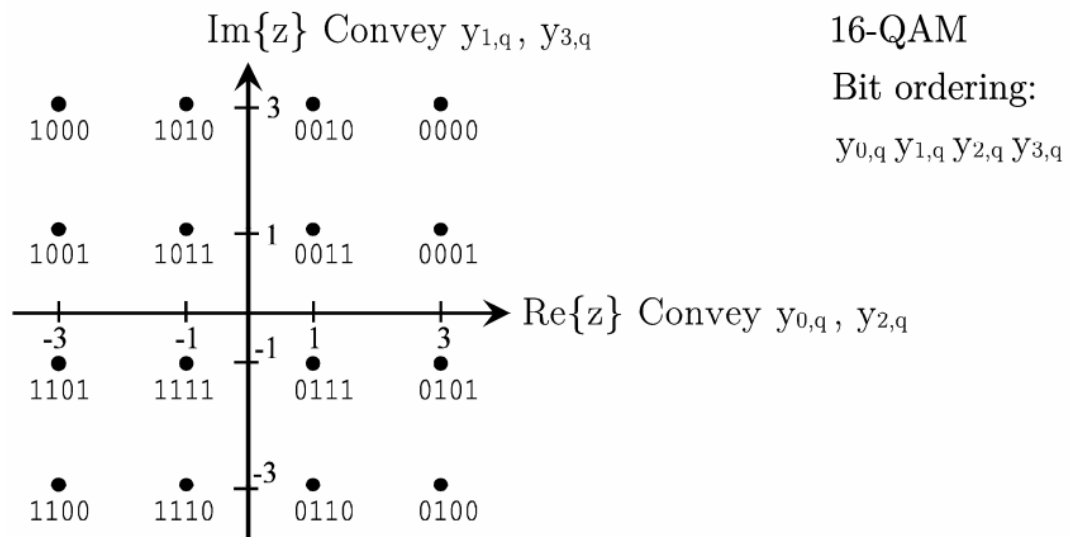
Bit ordering:

$y_{0,q} y_{1,q}$

6.2 16-QAM-modulaatio

16-QAM-modulaatiotavassa yhdistetään vaihemodulaatio ja amplitudimodulaatio. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että moduloidaan samanaikaisesti ja toisistaan riippumatta signaalin amplitudia ja

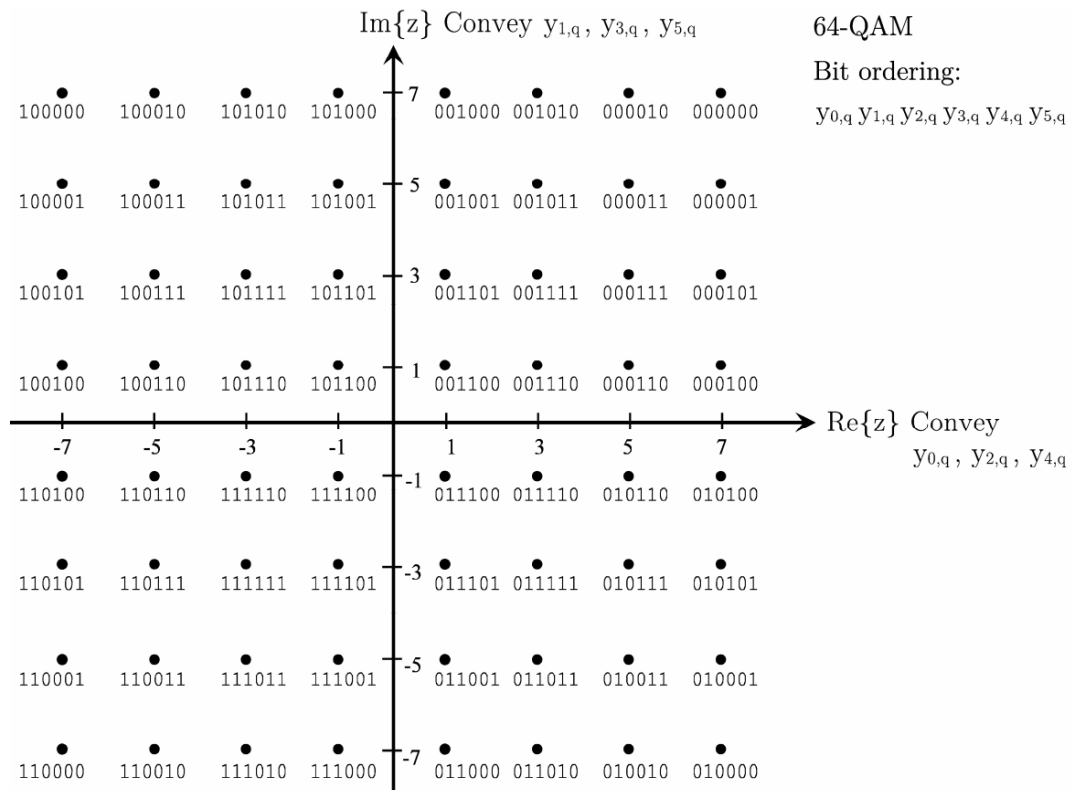
vaihekulmaa. Tämä tehdään muuttamalla kahta eri kantoaaltoa, jotka ovat 90 asteen verran erivaiheisia. Nämä sitten yhdistetään ja tuloksena aaltomuoto, missä yhdistyy vaihe- ja amplitudimodulaatio. 16-QAM:n tapauksessa käytössä on neljä vaihe-eroa ja neljä amplitudia. Erilaiset 16 tilaa voidaan ilmaista neljällä bitillä, kuten nähdään kuvan 7 konstellaatiosta. Tällä saadaan siirrettyä 4 bittiä tietoa jokaisella kantoaallon pulssilla. Käytetään sekä DVB-T-järjestelmässä että DVB-T2-järjestelmässä. [9]



Kuva 7 16-QAM-konstellaatio [5]

6.3 64-QAM-modulaatio

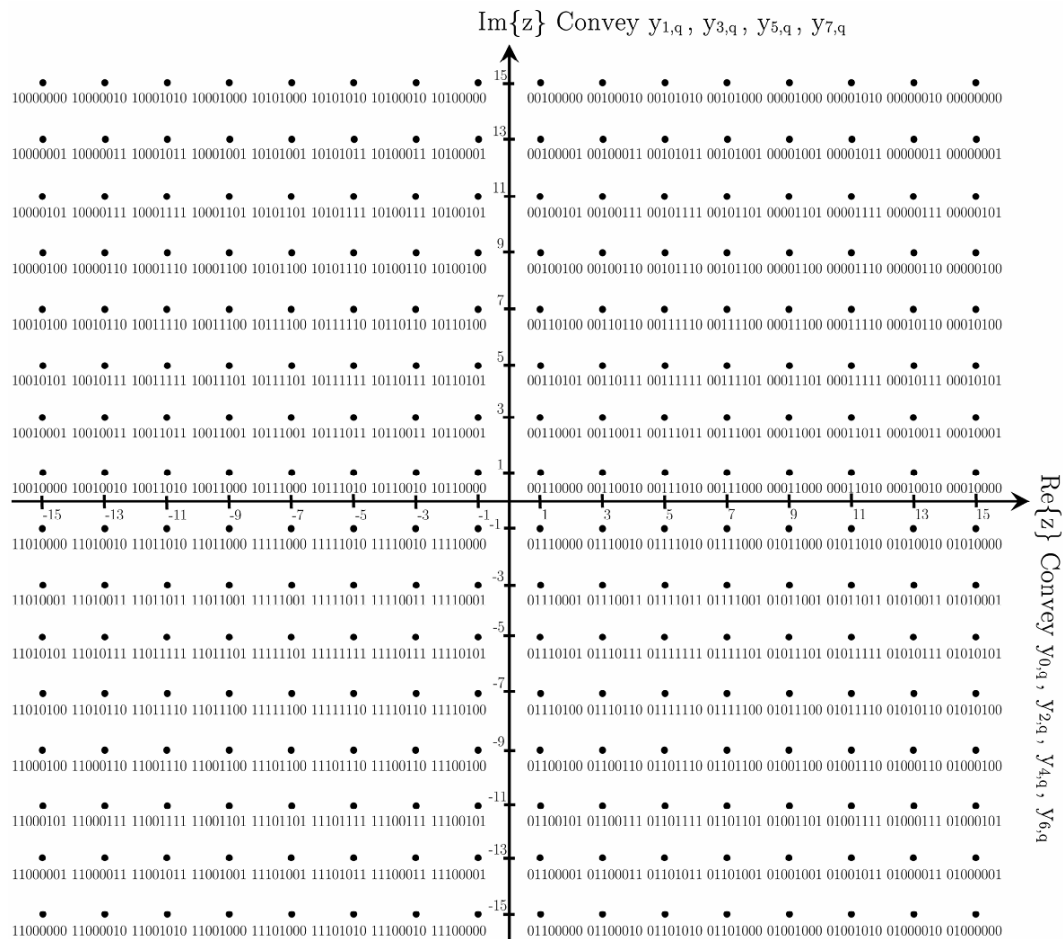
64-QAM:n periaatteellinen toiminta on sama kuin 16-QAM:n tapauksessa, mutta käytävissä on kahdeksan vaihe-eroa ja kahdeksan amplitudia. Näillä saadaan aikaiseksi 64 eri tilaa kuuden bitin avulla, mitkä nähdään kuvan 8 konstellaatiosta. Käytetään sekä DVB-T-järjestelmässä että DVB-T2-järjestelmässä. Menetelmällä saadaan välitettyä 6 bittiä tietoa jokaisella kanta-aallon pulssilla ja sen ollessa tehokkain modulaatiotapa DVB-T-järjestelmässä, se on myös yleisimmin käytetty siinä. [9]



Kuva 8 64-QAM-konstellaatio [5]

6.4 256-QAM-modulaatio

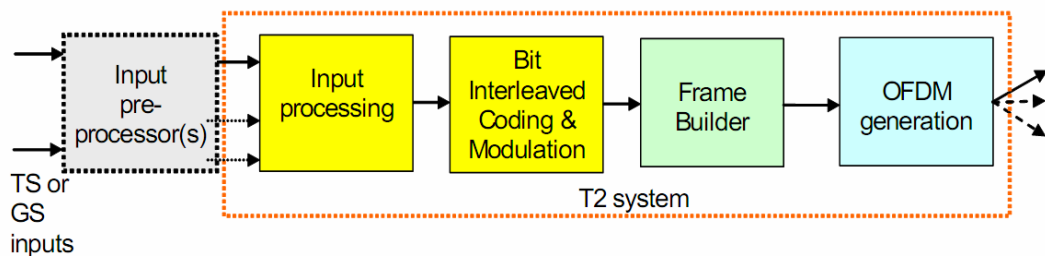
256-QAM-järjestelmässä on käytössä 16 amplitudia ja 16 vaihe-eroa. Tätä käytetään vain DVB-T2-järjestelmässä ja sillä saadaan välitettyä 8 bittiä tietoa jokaisella kanta-aallon pulssilla. Käytännössä tämä takaa 33 % kasvun spektrin käytön ja kapasiteetin tehokkuudessa verrattuna DVB-T-järjestelmän tehokkaimpaan modulaatitapaan 64-QAM. Normaalisti tämä ei olisi mahdollista kohinan takia, mutta koska DVB-T2-järjestelmän käyttämät LDPC-koodit ovat huomattavasti DVB-T-järjestelmän konvoluutiokodeja tehokkaampia, niin lukema saavutetaan. 256-QAM on joka tapauksessa erittäin lupaava menetelmä ja sen käyttö tulee luultavasti yleistymään. [9]



Kuva 9 256-QAM-konstellaatio [5]

7 DVB-T2-järjestelmä

DVB-T2-järjestelmän sisääntulossa voi olla yksi tai useampi siirtobittivirta tai yleinen bittivirta. Sisääntulon esiprosessori ei kuulu varsinaisesti DVB-T2-järjestelmään, mutta se voi sisältää palvelunjakajan tai multiplekserin, joilla siirtobittivirta voidaan jakaa useaksi databittivirraksi. Yleisesti ottaen ulostulona on vain yksi signaali, joka lähetetään yhdelle RF-kanavalle. Järjestelmä voi myös tuottaa toisen signaalin, joka on tarkoitettu toista antennia varten ja tätä tekniikkaa kutsutaan MISO-lähetysmoodiksi (*multiple-input and single-output*). Siinä käytetään apuna muunneltua Alamouti-koodausta. [5]

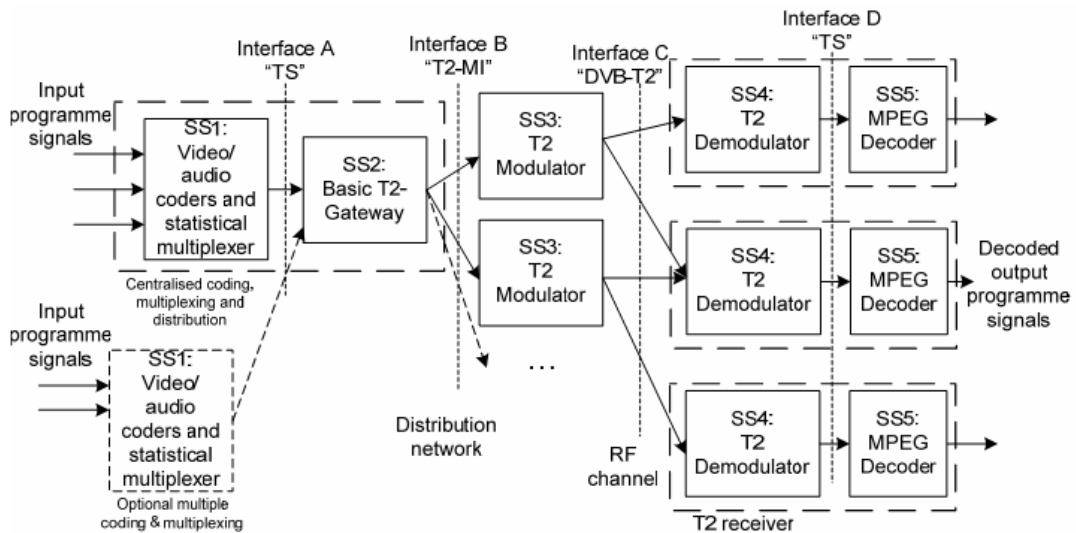


Kuva 10 yleinen DVB-T2-järjestelmä [5]

Koska DVB-T2-järjestelmässä käytetään useita PLP-osia (*physical layer pipe*), niin ne mahdollistavat eri tasojen koodauksen ja modulaation käytön niissä ja tällä saavutetaan erittäin hyvä palvelutehokkuus. Maksimissaan siirtobittivirtoja voidaan siirtää DVB-T2-järjestelmässä 72 Mbit/s nopeudella, mutta käytännössä päästään vain 50 Mbit/s tasolle. Kokonaisuudessaan järjestelmä on erittäin tehokas ja joustava. [5]

7.1 Arkkitehtuurinen malli

Kuvasta 11 nähdään DVB-T2-ketjun yleinen malli lohkokkaaviona. DVB-T2-järjestelmä voidaan jakaa kolmeksi alijärjestelmäksi lähetyspuolella, SS1, SS2 ja SS3 ja kahdeksi alijärjestelmäksi vastaanottopuolella, SS4 ja SS5.



Kuva 11 DVB-T2-ketjun lohkokkaavio [6]

7.1.1 SS1

SS1:ssä tapahtuu koodaus ja multiplexointi, sisältäen siirtobittivirrat ja yleiset bittivirrat. Tässä voidaan suorittaa myös videon ja audion koodaus. Tyypillisesti videokoodaus suoritetaan vaihtelevalla bittinopeudella, jotta saavutetaan tietty nopeus kun kaikki bittivirrat otetaan huomioon. [6]

7.1.2 SS2

SS2-alijärjestelmän tarkoituksena on toimia yhdyskäytävänä ja siinä suoritetaan moodiadaptointi ja bittivirta-adaptointi, sisältäen myös tietoa aikataulutuksesta ja kapasiteetin hallinnasta. [6]

7.1.3 SS3

SS3-alijärjestelmässä DVB-T2-modulaattorit käyttävät kantataajuisia kehyksiä ja T2-kehyksen kokoamisohjeita muodostaakseen sisääntulevasta bittivirrasta DVB-T2-kehyksiä ja lähettävät ne edelleen oikeassa aikavälissä, jotta saavutetaan tarvittu synkronointi. [6]

7.1.4 SS4

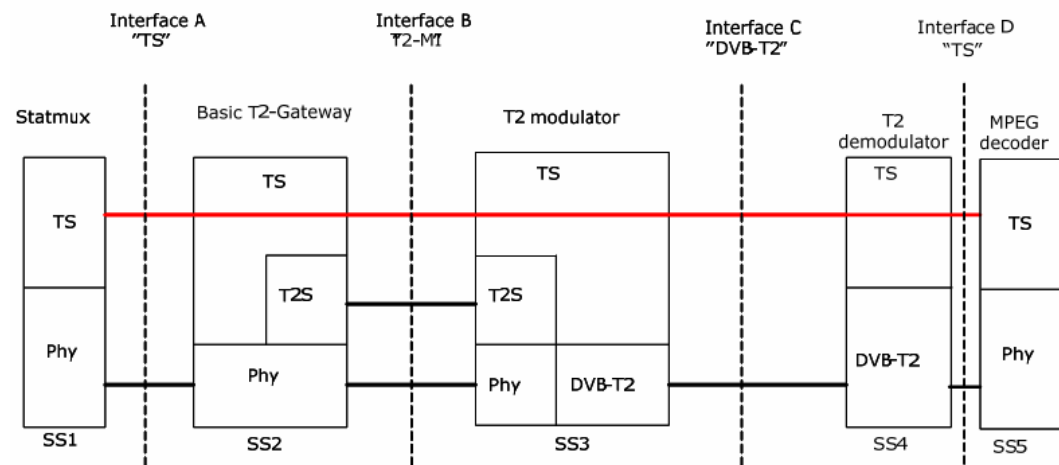
SS4 on ensimmäinen vastaanottapuolen alijärjestelmä. Siinä vastaanotetaan RF-signaali yhdeltä tai useammalta lähettimeltä ja sen jälkeen niistä muodostetaan yksi siirtobittivirta ulospäin siirrettäväksi. SS4 kommunikoi SS5:n kanssa käyttäen tiettyä D-rajapintaa, joka on siirtobittivirta, jossa voidaan kuljettaa yhtä tai useampia palveluita. [6]

7.1.5 SS5

Tässä vastaanottapuolen viimeisessä alijärjestelmässä vastaanotetaan SS4:n lähettämä siirtobittivirta ja lähetetään edelleen pakattu video ja audio. [6]

7.1.6 Protokollapinot

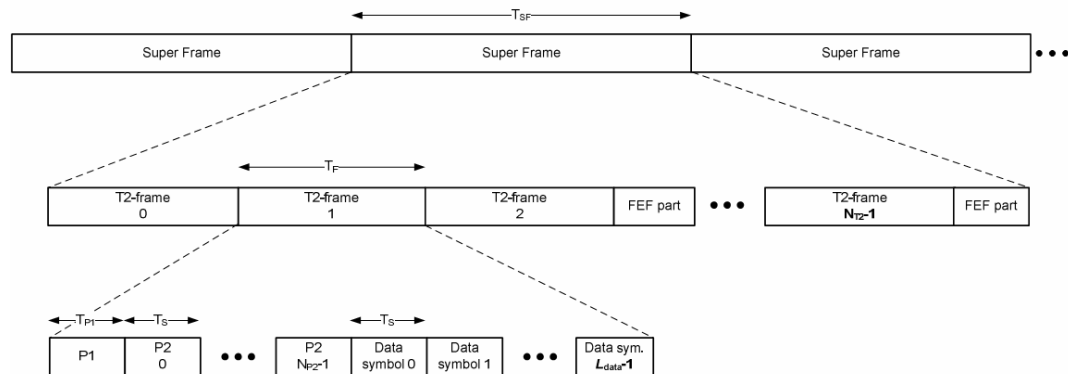
Kuvasta 12 nähdään DVB-T2:n protokollapinot yksinkertaistetussa muodossaan. Ylemmstä punaisesta viivasta nähdään, että SS1:n muodostamat siirtobittivirrat matkaavat SS2:n, SS3:n ja SS4:n läpi täysin muuttumattomina, eli täysin samat siirtobittivirrat löytyvät rajapinnoista A ja D. T2-MI -kerros sisältää kaikki MPEG-2-siirtobittivirran ja fyysisen kerroksen protokollakerrokset. Alin musta vaakaviiva kuvaa T2-signaalin fyysisistä kerrosta ilmassa rajapinnassa C ja vastaavia fyysisiä kerroksia rajapinnoissa A ja B. [6]



Kuva 12 yksinkertaistetut protokollapinot [6]

7.2 DVB-T2-kehysrakenne

Kuvassa 13 nähdään DVB-T2-kehysrakenne ja sen jakautuminen superkehyksiin, T2-kehyksiin ja OFDM-symboleihin. Superkehys on DVB-T2-järjestelmän suurin osa. Se voi sisältää T2-kehyksiä ja myös FEF-osia (*future extension frame*), jotka ovat pääasiassa tarkoitettu tulevaisuuden päivityksiä varten. Superkehyksessä voi olla maksimissaan 255 T2-kehystä. T2-kehukset ja FEF-osat voivat molemmat olla maksimissaan 250 ms pituisia, kuvassa 13 aika T_F ja nämä voivat olla toisiinsa nähden eri pituisia, mutta kaikkien T2-kehysten pitää olla saman pituisia superkehysten sisällä. Maksimipituus superkehykselle T_{SF} voi olla 64 s jos ei käytetä FEF-osia ja 128 s jos käytetään niitä. [5]



Kuva 13 DVB-T2 kehysrakenne [5]

T2-kehys koostuu P1- ja P2-symboleista ja erinäisistä datasympoleista. T2-kehysten pituus riippuu käytetyistä FFT-moodista, suojavälillä ja OFDM-symbolien määrästä, kuitenkin ylittämättä 250 ms. Eli kuvassa 13 näkyvät ajat T_{P1} ja T_S voivat olla eri mittaisia. T2-kehysten päätarkoitus on kuljettaa PLP-osia ja L1-signaaleja, jotka sisältävät perustietoa T2-järjestelmästä. [5]

7.3 DVB-T2-signaalin spektri

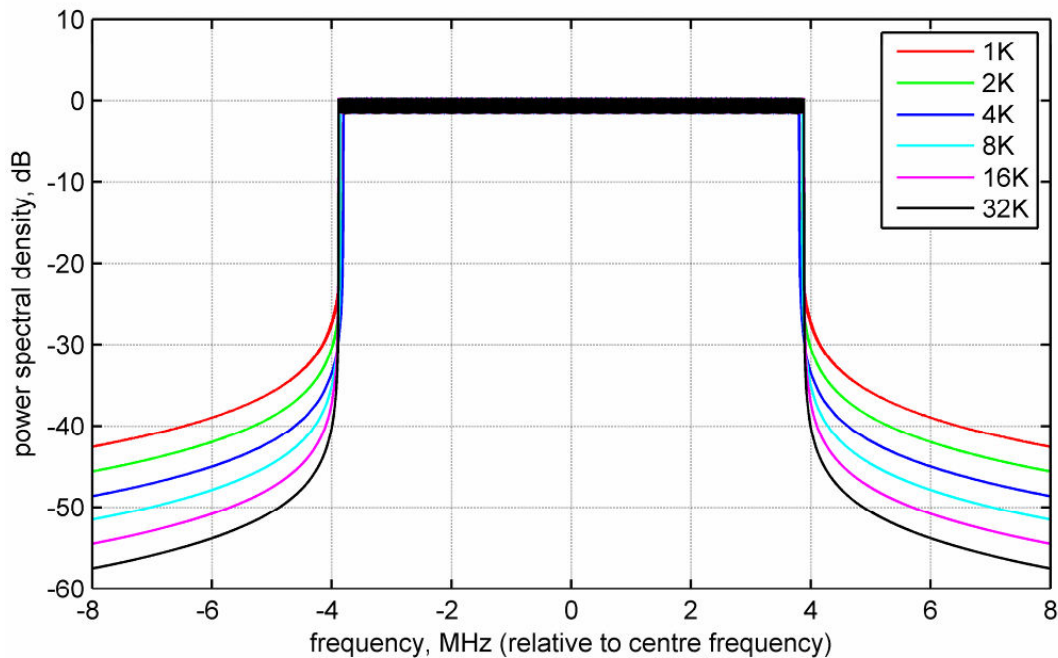
Kuvasta 14 nähdään teoreettinen DVB-T2-signaalin spektri, kun käytössä on suojaväli 1/8, 8 MHz kanavat ja eri FFT-moodit. Itse spektrin ominaisarvoille vahvistuksen ja suodatuksen jälkeen ei ole annettu spekseissä mitään ohjearvoja ja se riippuu aivan täysin siitä alueesta, missä DVB-T2-järjestelmää käytetään. [5]

Yleisesti ottaen signaalin spektrin tehotiheys saadaan käyttämällä seuraavaa kaavaa kantoaaltojen taajuuksille:

$$f_{k'} = f_c + \frac{k'}{T_u} \text{ for } \left(-\frac{K_{total} - 1}{2} \right) \leq k' \leq \frac{K_{total} - 1}{2}$$

Josta sitten saadaan lopullinen muoto:

$$P_{k'}(f) = \left[\frac{\sin \pi(f - f_{k'})T_s}{\pi(f - f_{k'})T_s} \right]^2 \quad [5]$$



Kuva 14 teoreettinen DVB-T2-signaalin spektri [5]

7.4 Tärkeimmät uudistukset

DVB-T2-tekniikka sisältää monia tärkeitä uudistuksia verrattuna DVB-T:hen. Tärkeimpänä on tietenkin uusi 256-QAM-modulaatiotapa, joka ei pelkästään takaisi huomattavasti parempaa spektrin käyttöä, mutta yhdistettynä muihin pieniin muutoksiin tämä saavutetaan.

7.4.1 PLP

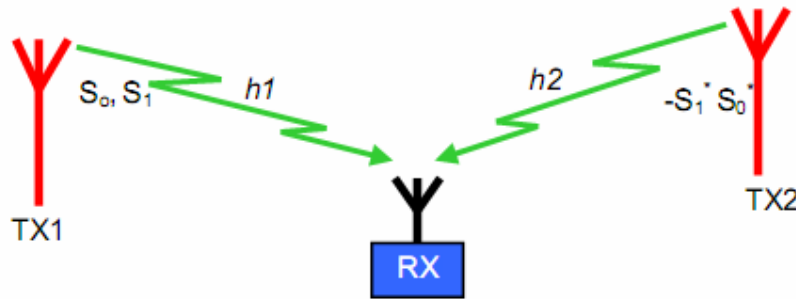
PLP-osat ovat yksi DVB-T2:n tärkeimmistä uudistuksista. Niiden avulla voidaan siirtää erilaisia siirtobittivirtoja joustavasti, koska eri PLP-osille voidaan antaa erikseen parametreina esim. konstellaatio ja koodausaste. Tällä voidaan vastatata helposti eri palveluntarjoajien tarpeisiin riippuen vastaanottimesta ja ympäristöstä. [6]

7.4.2 Lisäkaistanleveydet

DVB-T2-järjestelmässä on käytettävissä myös kaistanleveydet 1.7 MHz ja 10 MHz. Näistä 10 MHz taajuus on lähinnä tarkoitettu ammattilaiskäyttöön ja 1.7 MHz taajuus on tarkoitettu mobiilipalveluita varten. [6]

7.4.3 Alamouti-pohjainen MISO

Alamouti-pohjaisella MISO-lähetysmoodilla voidaan lähettää kahdella lähettimellä periaatteessa samoja konstellaatioita, mutta toisessa käytetään hieman muunneltua versiota niistä ja ne lähetetään käänteisessä taajuusjärjestyksessä. Tällä tekniikalla saavutetaan optimaalinen yhdistelmä näistä kahdesta signaalista, lopputuloksena S/N suhde, joka muodostuu periaatteessa näiden kahden signaalin tehojen yhdistymisestä. [6]



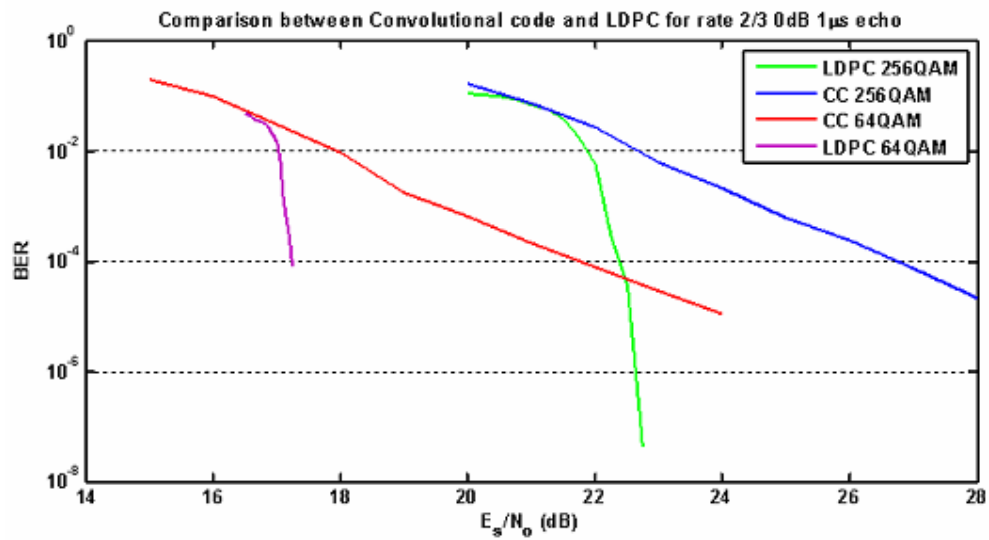
Kuva 15 MISO-lähetysmoodi [6]

7.4.4 Uudet FFT-moodit ja suojavälit

DVB-T2-järjestelmässä on käytössä uusina FFT-moodeina 16k ja 32k ja uutena suojavälinä 1/128. Vaikkakin isommat FFT-moodit tuovat mukanaan ongelmana herkemmän altistumisen Doppler-siirtymälle ja ne eivät sovellu kovin hyvin mobiiliympäristöön, niin hyvinä puolina on silti huomattavasti pienempi ylikuuluvuus ja parempi kohinankesto. Myös uusi suojaväli parantaa ylikuuluvuutta. [6]

7.4.5 Uudet virheenkorjaustekniikat

DVB-T2 käyttää LDPC/BCH-virheenkorjaustekniikkaa verrattuna DVB-T:n konvoluutiokodeihin ja Reed-Solomon-kodeihin. Näillä uusilla tekniikoilla saavutetaan parempi suojaustaso, dataa voidaan siirtää enemmän per kanava ja saavutetaan ihanteellinen suhde BER:n (*bit error rate*) eli bittivirhesuhteen ja C/N (*carrier-to-noise ratio*) suhteen välillä. Tämä nähdään kuvan 16 vertailusta seinämäisenä käyrän muotona LDPC-virheenkorjaustekniikassa. Käytännössä bittivirhesuhteen ollessa 10^{-4} ennen virheenkorjausta, se takaa virheettömän signaalin sen jälkeen. Eli saavutetaan noin viiden desibelin ero verrattuna DVB-T:hen. [6]



Kuva 16 vertailu DVB-T- ja DVB-T2-virheenkorjaustekniikoiden välillä [6]

8 Yhteenveto

Opinnäytetyöni tarkoituksena oli kerätä teknistä tietoa DVB-T- ja DVB-T2-järjestelmistä. Digitalisoinnin myötä DVB-T-standardista on tullut arkipäivää suurimmalla osasta maailmaa ja DVB-T2-standardi taas on lähitulevaisuuden kannalta tärkeä.

DVB-T-järjestelmät käyttävät hyväkseen OFDM-modulaatiota yhdistettynä perinteisiin QPSK- ja QAM-modulaatiotapoihin siirtääkseen tietoa ja ne ovat tehokkaita maanpäällistä verkkoa käyttäviä standardeja. Niiden julkaisun jälkeen niistä onkin tullut erittäin suosittuja varsinkin Euroopassa.

Perustasolla DVB-T- ja DVB-T2-järjestelmät ovat hyvin samanlaisia, mutta pienet erot ja uudistukset DVB-T2:ssa tekevät siitä huomattavasti suorituskykyisemmän ja se olisi tärkeä standardi teräväpiirtolähetysten ja muiden paljon kaistaa syövien palveluiden kannalta. Varsinkin paremman spektrin käytön osalta DVB-T2-järjestelmään haluttaisiin siirtyä mahdollisimman nopeasti. Valitettavasti standardin vaatiessa uutta laitteistoa sekä lähetys- että vastaanottopäässä, niin siirtymävaihe tulee viemään oman aikansa.

DVB-T2:n loistavien teknisten ominaisuuksien takia ja sen ollessa erittäin joustava standardi palveluntarjoajien kannalta, se luultavasti tulee olemaan erittäin pitkäikäinen. Maanpäällistä verkkoa käyttäviä järjestelmiä tullaan aina tarvitsemaan, vaikka muut tekniikat kehittyisivät ylivoimaisiksi. Myös DVB-T tulee olemaan käytössä vielä pitkän aikaa siirtymävaiheessa.

Lähteet

[1] Walter Fischer: Digital Video and Audio Broadcasting Technology: A Practical Engineering Guide [viitattu 17.11.2009].

[2] Gordon Drury, Garik Markarian, Keith Pickavance: Coding and modulation for digital television

[3] ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01): Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television [viitattu 17.11.2009].

http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300700_300799/300744/01.06.01_60/en_300744v010601p.pdf

[4] ETSI TR 101 190 V1.3.1 (2008-10): Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects [viitattu 17.11.2009].

http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101100_101199/101190/01.03.01_60/tr_101190v010301p.pdf

[5] ETSI EN 302 755 V1.1.1 (2009-09): Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) [viitattu 12.05.2010].

http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302700_302799/302755/01.01.01_60/en_302755v010101p.pdf

[6] Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) DVB Document A133 February 2009 [viitattu 12.05.2010].

http://www.dvb.org/technology/standards/a133.DVB-T2_Implementation_Guidelines.pdf

[7] DVB-projektin kotisivu [viitattu 17.11.2009].

<http://www.dvb.org/>

[8] Wikipedia – OFDM [viitattu 12.05.2010].

http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing

[9] Wikipedia – QAM [viitattu 12.05.2010].

http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation

Liitteet

Liite 1: Taulukko T2-kehyksen maksimipituudesta OFDM-symboleina eri FFT-moodeille ja suojaväleille

FFT size	T_u (ms)	Guard-interval fraction						
		1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32K	3.584	68	66	64	64	60	60	NA
16K	1.792	138	135	131	129	123	121	111
8K	0.896	276	270	262	259	247	242	223
4K	0.448	NA	540	524	519	495	485	446
2K	0.224	NA	1081	1 049	1 038	991	970	892
1K	0.112	NA	NA	2098	2 076	1 982	1 941	1 784