



TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Tietotekniikka

Tietoliikennetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

**DVB-T-TESTILÄHETYKSEN LÄHETTÄMINEN STADIAN RADIOLABORATORION
LAITTEISTOLLA**

**Työn tekijä: Pekka Puhakka
Työn valvoja: Jouko Kurki
Työn ohjaaja: Jouko Kurki**

Työ hyväksytty: __. __. 2007



ALKULAUSE

Tämä insinöörityö tehtiin Helsingin ammattikorkeakoulu Stadialle. Haluan kiittää seuraavia projektissa mukana olleita henkilöitä: Jouko Kurkea, Ville Ollikaista ja Riikka Marjolaa sekä muita projektissa mukana olleita insinööriopiskelijoita.

Kaiken kaikkiaan projekti oli mukavaa näpertämistä kiinnostavan asian parissa ja jätti pienen kipinän palamaan.

Helsingissä 17.11.2007

Pekka Puhakka

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Pekka Puhakka	
Työn nimi: DVB-T TESTILÄHETYKSEN LÄHETTÄMINEN STADIAN RADIOLABORATORION LAITTEISTOLLA	
Päivämäärä: 15.11.2007	Sivumäärä: 41 sivua
Koulutusohjelma: Tietotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tietoliikennetekniikka
Työn valvoja: yliopettaja Jouko Kurki	
Työn ohjaaja: yliopettaja Jouko Kurki	
<p>Tämä insinööri työ tehtiin Helsingin ammattikorkeakoululle. Työssä käsitellään DVB-T-standardiin perustuvan lähetyslaitteiston kokoonpanoa ja testaamista. Työ perustuu standardeihin, opetusmateriaaliin ja käytännön kokemuksiin. Työ suoritettiin käytännön tutkimuksena.</p> <p>Työssä käsitellään DVB-T-standardia, digitaalisissa tv-lähetyksissä käytettävää MPEG-2 standardia ja siihen liittyen MPEG-2-transport streamia: transport streamin koostumusta, multipleksaamista ja psi/si-taulujen rakennetta.</p> <p>Työssä käydään myös läpi digisovittimen rakennetta ja toimintaperiaatetta, ASI-rajapintaa, digitaalisen lähetinyksikön rakennetta ja esitellään Stadian Multimedia Communications-laboratoriossa oleva lähetinyksikkö.</p> <p>Työssä esitetään kuinka moduuleista koostuvalla lähetinlaitteistolla on mahdollista lähettää DVB-T-standardin mukaista testilähetystä.</p> <p>Työn lopputuloksena Stadian laboratorion lähetyslaitteistolla kyettiin lähettämään onnistuneesti testimateriaalia, joka vastaanotettiin kaupallisella digisovittimella.</p>	
Avainsanat: DVB-T, MPEG-2 transport stream, ASI, PSI/SI	



ABSTRACT

Name: Pekka Puhakka	
Title: Sending DVB-T Test Material via Stadia's Radio Laboratory Equipment	
Date: 15 November 2007	Number of pages: 41
Department: Information Technology Study Programme: Telecommunications	
Instructor: Jouko Kurki, Principal Lecturer Supervisor: Jouko Kurki, Principal Lecturer	
<p>This final project was carried out for Helsinki Polytechnic. The purpose of this study was to describe the assembly and testing of a DTV transmitter unit based on the DVB-T standard. This work is based on information obtained in the laboratory as well as from standards and current research material in this field.</p> <p>The study explores the following topics: DVB-T standard, MPEG-2 encoding and transport stream, i.e. its structure, multiplexing and PSI/SI data.</p> <p>Moreover, this study describes the structure and operational principles of a digital set-top box, the ASI interface, the structure of a DTV transmitter unit and introduces the transmitter unit located in Stadia's Multimedia Communications laboratory.</p> <p>As this study was successful in sending test material to TV via the laboratory equipment, it includes a guide for testing the equipment and a summary of the progress of the project.</p>	
Keywords: DVB-T, MPEG-2 transport stream, ASI- interface, PSI/SI- data	

ALKULAUSE

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SYMBOLILUETTELO

1	JOHDANTO	1
2	DVB-T-JÄRJESTELMÄ	2
2.1	DVB-T-järjestelmän toiminta	3
2.2	DVB-T:n kaupallinen kehittyminen	4
2.3	DVB-T:n tulevaisuus	5
3	DTV-LÄHETTIMET	6
3.1	DTV-lähettimen arkkitehtuuri	6
4	DIGISOVITIN	8
4.1	Sovittimen toiminta	8
5	DVB-ASI	10
5.1	Asynkroninen sarjaliitäntä	12
6	MPEG-2-STANDARDI	13
6.1	MPEG-2-bittivirrat	13
6.2	MPEG-2-transport stream	16
6.3	MPEG-2-transport streamin koostumus	17
6.4	MPEG-2-multipleksaus	20
6.4.1	<i>DTV Multicasting</i>	21
6.4.2	<i>Statistical multipleksing</i>	21
6.4.3	<i>Opportunistic data</i>	22
7	STADIAN DIGI-TV-LABORATORION LAITTEISTO	23
7.1	Serveri ja ASI-kortti	23
7.2	Modulaattori	25
7.3	Tehovahvistin	26

8	JÄRJESTELMÄN TESTAAMINEN	27
8.1	Modulaattorin asetukset	27
8.2	Kanavan hakeminen digivastaanottimeen	30
8.3	MPEG-2 transport streamin luominen	32
8.4	TS-tiedoston ajaminen ASI-kortille	35
8.5	TS-tiedoston virheiden havaitseminen	37
8.6	Yhteenveto TS-streamin lähettämisestä	38
9	PROJEKTIN KULKU	38
10	YHTEENVETO	41
	VIITELUETTELO	42

SYMBOLILUETTELO

ASEAN	Association of Southeast Asian Nations.
ASI	Asynchronous Serial Interface. Asynkrooninen Sarjaliitäntä.
CAT	Conditional Access Table.
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
DVD	Digital Versatile Disc.
DV	Digital Video.
HDTV	High Definition TV. Teräväpiirtotelevisio.
IF	Intermediate Frequency.
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor.
NTSC	National Television System Committee.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Ortogonaalinen taajuusjakomultipleksointi.
PAL	Phase Alternating Line. Televisioissa käytettävä värien enkoodausjärjestelmä.
PAT	Program Allocation Table.
PCR	Program Clock Reference. Ohjelman kelloreferenssi.
PES	Program Element Stream.
PID	Packet Identifier. Paketin tunniste.
PMT	Program Map Table.
RGB	Red Green Blue.
QAM	Quadrature Amplitude Modulation. Quadratuuri amplitudimodulaatio.
QPSK	Quadrature Phase Shift Modulation. Quadratuuri vaihemodulaatio.

RF	Radio Frequency. Radiotaajuus.
SDI	Serial Digital videoInterface.
SIIP	Service Information InsertionPoint.
STC	System Time Clock.
TS	Transport Stream.
UTC	Coordinated Universal Time. Universaalisti koordinoitu aika.
UHF	Ultra High Frequency.
VSB	Vestigal Sideband Modulation.

1 JOHDANTO

Ensimmäinen päivä syyskuuta vuonna 2007 se tapahtui: Suomen televisiojärjestelmä siirtyi uuteen aikakauteen. Analoginen lähetyverkko sammutettiin ja siirryttiin kokonaan digitaalisiin tv-lähetyksiin.

On kuljettu pitkä matka, yli 50 vuotta, siitä kun ensimmäinen tv-lähetys lähetettiin. Televisio on auttamatta tullut koko ajan jälkijunassa verrattuna muihin tekniikkaan. Analogista televisiolähetyksestä huomattavasti laadukkaampaa kuvaa ja ääntä tarjoavat DVD:t ovat olleet käytössä jo noin vuosikymmenen. Jotain oli tehtävä, jotta televisionkin puolella päästäisiin nauttimaan kunnollisesta kuvasta ja äänestä.

Päätettiin, että aletaan kehittää digitaalista televisiojärjestelmää, jossa käytettäisiin hyväksi DVD:stä tuttua MPEG-2-pakkausmetodia. Jotta digitaalinen televisio pystyisi kunnolla toimimaan maailmanlaajuisesti, perustettiin sitä varten DVB (Digital Video Broadcasting): joukko kansainvälisiä avoimia standardeja, jotka liittyvät digitaaliseen televisiojärjestelmään. Standardeja ylläpitää DVB project -konserni, johon kuuluu yli 270 jäsentä. Standardien julkaisemisesta pitää huolen ETSI (European Telecommunications Standards Institute), jonka JTC (Joint Technical Committee) julkaisee.

Maanpäällisissä digitv-lähetyksissä käytettävä DVB-T standardoitiin vuonna 1998. Tämä järjestelmä on luonnollisesti käytössä meillä Suomessa. Tässä insinööriyössä keskitytään pelkästään DVB-T-standardiin: teoriaosuudessa tutustutaan lähetyksissä käytettävään MPEG-2 Transport Stream tiedostomuotoon, DVB-T:ssä käytettävään multipleksaukseen ja eri multipleksaus-tekniikoihin, Transport Streamiin sisältyviin tauluihin (PSI-data), DVB-T-vastaanottimeen ja ASI-rajapintaan.

Helsingin ammattikorkeakoulu Stadian laboratorioon on ollut jo jonkin aikaa tavoitteena rakentaa toimiva DVB-H-lähetysjärjestelmä. Järjestelmän pohjana toimivat Teamcastilta hankitut modulaattori ja jännitevahvistin. Modulaattorin ja jännitevahvistimen hankkiminen ja kotelointi oli toteutettu insinööri-työnä [8.]. Tällä hetkellä laitteisto toimii DVB-T-standardilla.

Tulin projektiin mukaan siinä vaiheessa, kun oli tarkoitus saada kuva siirtymään serverinä toimivalta pc:ltä modulaattorin kautta televisioon. Laitteistoa oli jo alustavasti päästy demoamaan modulaattorin konfiguroinnin yhteydessä, mutta työkseni tuli saada järjestelmä toimimaan jouhevammin ja luotettavammin.

Tämän insinööriyön konkreettisenä tarkoituksena oli saada lähetyjärjestelmä toimimaan DVB-T-standardin avulla. Tuloksena on opas siihen, miten saadaan vaikkapa itse DV:llä kuvatut videoleikkeet näkymään televisioruudussa tavallisen digiboksin välityksellä.

2 DVB-T-JÄRJESTELMÄ

DVB-T on DVB Projectin kehittämä tekninen standardi, joka määrittelee kehysrakenteen, kanavakoodauksen ja modulaatiotavan maanpäälliselle, digitaalille tv-lähetyksille. Ensimmäinen versio standardista julkaistiin vuonna 1997. Nyt kymmenen kuluneen vuoden jälkeen siitä on tullut maapallollamme laajimmin maanpäällisessä vastaanotossa käytetty standardi. Yli 40 miljoonaa vastaanotinta yli 30:ssä maassa käyttää sitä tälläkin hetkellä. [7.]

DVB-T on erittäin joustava järjestelmä, joka mahdollistaa verkkojen suunnitteleminen monen eri lähetystavan käyttämiseksi: aina HDTV:stä normaali-resoluutioiseen kuvaan, kiinteään, mobiiliin tai kannettavaan vastaanottoon (erityisesti DVB-H standardia käytettäessä).

DVB Projekti on aloittanut juuri kehittämään seuraavan sukupolven maanpäällistä spesifikaatiota, joka käyttää hyväkseen uusia mahdollisuuksia modulaatiotekniikassa. [7.]

Kun DVB Projekti saatettiin liikkeelle vuonna 1993, satelliitti- ja kaapeli-tv-standardit asetettiin silloin etusijalle. Tämä johtui siitä, että kyseisissä tekniikoissa oli vähemmän teknisiä ongelmia ja myös lainsäädännöllisesti ilmapiiri oli suotuisampi. Näistä seikoista johtuen standardit pystyttiin tuomaan markkinoille nopealla aikataululla. DTT (Digital terrestrial television) -systeemin kehitystyö toisi mukanaan haastellisemman ympäristön: enemmän kohinaa sisältävä ympäristö, kaistanleveys olisi rajoitettu ja myös monitie-etenemisestä johtuvat häiriöt aiheuttaisivat ongelmia. [7.]

2.1 DVB-T-järjestelmän toiminta

DVB-T käyttää yhdessä kaikkien muiden maanpäälisessä vastaanotossa käytettyjen standardien kanssa OFDM-modulaatiota. Tämän tyyppinen modulaatio, joka käyttää monia ala-kantoaaltoja, tarjoaa vakaan signaalin erittäin huonoissakin vastaanotto-olosuhteissa. DVB-T:llä on teknisiä ominaisuuksia, jotka tekevät siitä erittäin joustavan ja paljon vaihtoehtoja tarjoavan järjestelmän:

- 3 eri modulaativaihtoehtoa (QPSK, 16QAM, 64QAM)
- 5 eri virheenkorjaustasoa
- 4 eri suojavälivaihtoehtoa
- vaihtoehdot käyttää 2k:n tai 8k:n toimintamoodia
- kykenee toimimaan 6 , 7 , tai 8 Mhz:n kaistanleveyksillä.

Näitä ylläolevia ominaisuuksia yhdistellen DVB-T-verkko voidaan suunnitella vastaamaan verkon operaattorin vaatimuksia etsimällä oikea tasapaino signaalin laadun ja luotettavuuden välille. Verkot voidaan suunnitella välittämään erilaisia palveluita: HDTV:tä, tavallista digitaalista signaalia ja radiolähetyksiä.

Vaikka DVB-T:tä ei oltu suunniteltu mobiiliin vastaanottoon, on sen suorituskyky niin hyvä, että se toimii pohjana joillekin kaupallisille palveluille. Mobiilitv:tä varten kehitetty DVB-H standardi on kehitetty DVB-T:n mobiiliin vastaanottokyvyn pohjalta. [7.]

OFDM-modulaation käyttö yhdessä sopivasti valitun suojavälin kanssa mahdollistaa DVB-T:n tarjoavan verkon ylläpitäjille käytännöllisen työkalun yhden taajuuden verkon (Single Frequency Network, SFN) muodossa. SFN on verkko, jossa lähettimet toimivat samalla RF-taajuudella. SFN voi kattaa esimerkiksi kokonaan yhden maan tai sitten sisällä voidaan parantaa sisätilojen peittoa.

DVB-T mahdollistaa myös hierarkisen modulaation. Tämä tarkoittaa sitä, että kaksi täysin eri datavirtaa moduloidaan samaan DVB-T-signaaliin. Korkeamman prioriteetin (High Priority, HP) striimi moduloidaan matalamman prioriteetin (Low Priority, LP) striimiin. Tällä tavoin voidaan tavoittaa kaksi täysin toisistaan eroavaa vastaanotinta. Esimerkiksi vaikeampiin olosuhteisiin optimoitu, mobiiliin vastaanottoon tarkoitettu, DVB-H-signaali voidaan moduloida HP-striimiin ja kiinteille antennille tarkoitettu HDTV-signaali LP-striimiin. [7.]

2.2 DVB-T:n kaupallinen kehittyminen

DVB-T-palvelu on lanseerattu yli 30 maassa. Tällä hetkellä myytyjä vastaanottimia on noin 40 miljoonaa. Tänä päivänä DVB-T-boksin saa itselleen halvimillaan noin 50 eurolla. Yksi hyvä esimerkki DVB-T:n kaupallisista mahdollisuuksista on Ranska, jossa on myyty kahdessa vuodessa yli 8 miljoonaa vastaanotinta, ja kaikki nämä ilman mitään tukiaisia tai mandaatteja valtion suunnasta. Joka kuukausi joku uusi maa liittyy digiaikaan aloittamalla koelähetykset.

ITU:n kansainvälinen taajuussuunnittelukonferenssi Genevessä 2006 sai aikaan yleisen hyväksynnän, ja kaikki siellä sopimuksen allekirjoittaneet maat lupasivat kehittää DVB-T:tä. Allekirjoittaneita maita oli yli 100 kattaen maita niin Euroopasta, Afrikasta ja Lähi-idästä. Myös näiden alueiden ulkopuolella standardi on saanut kannatusta, ja se on otettu käyttöön muun muassa Taiwanissa ja Singaporessa. Myös Vietnamissa, Intiassa ja Malesiassa tekniikka on otettu muodollisesti käyttöön. Huhtikuussa 2007 oli määrä allekirjoittaa sopimus ASEAN:in piiriin kuuluvien lähetysyhtiöiden kanssa. Tämä tarkoittaisi sitä, että Kaakkois-Aasian mukaantulon myötä mukaan tulisi noin 500 miljoonaa uutta katsojaa. [7.]

Country	Population (million)	DVB-T Services Launched	Receivers Sold (million to nearest 0.5)
United Kingdom	60	1998 (2002 Freeview)	16.5 (15 since 2002)
France	64	2005	8 (includes rentals)
Germany	82	2002	7
Italy	59	2004	4.5
Spain	45	2000	4
Australia	21	2001	2.5
Taiwan	23	2005	1

Kuva 1: Menestyksekkäimmät DVB-T-markkina-alueet huhtikuussa 2007 [7.]

2.3 DVB-T:n tulevaisuus

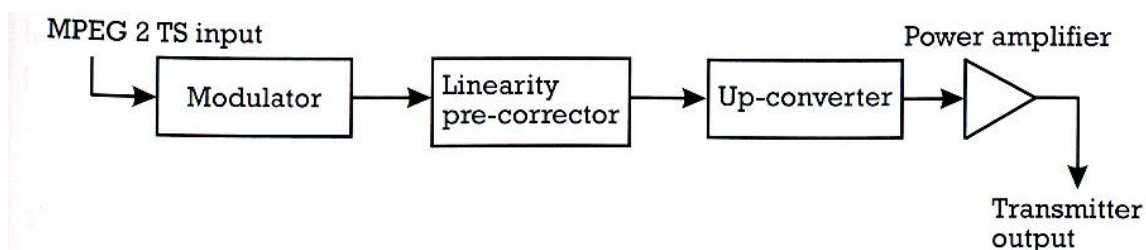
DVB-T on täydellinen palvelu maanpäällisiä digi-tv-lähetyksiä varten. Se pystyy tarjoamaan laajan valikoiman erilaisia palveluita kaistanleveyden asettamissa rajoissa. Uusia palveluita kehitetään jatkuvasti. Tästä seikasta hyötyvät nimenomaan kuluttajat. Nyt kun analogisten lähetysten lähettäminen loppuu useassa maassa, vapautuu digitaalisille palveluille lisää kallisarvoista kaistanleveyttä. Tämä taas mahdollistaa entistä parempien uusien sovellusten kehittämisen. Parhaillaan DVB työskentelee seuraavan sukupolven systeemin luomiseksi maanpäälliseen vastaanottoon. Koko ajan kehittyvien modulaatio- ja koodaustekniikoiden avulla tullaan tulevaisuudessa lanseeraamaan monia uusia palveluita. [7.]

3 DTV-LÄHETTIMET

Maanpäällisissä digitaalisissa tv-lähetyksissä käytettäviä lähettämiä on pääsääntöisesti kahta eri tyyppiä: kiinteästi tai induktiivisilla putkilla toteutettuja. Lähettäjät lähettävät DTV-lähetykset yleisesti matalammalla teholla kuin analogiset tv-lähetykset. Tämä johtuu siitä, että digitaalisen signaalin ei tarvitse olla niin voimakas kuin analogisen. Viitteessä esimerkkinä mainittuna analogisessa järjestelmässä teho on noin viisi kilowattia. Digitaalisen järjestelmän teho riippuu käytettyjen vahvistimien määrästä. Vahvistimia voidaan kytkeä sarjaan useampi kappale. Yksi vahvistin tuottaa noin 300 wattia tehoa [4, s.133- 134.].

3.1 DTV-lähettimen arkkitehtuuri

DTV-lähettimien kehittyessä niistä tulee entistä enemmän integroituja laitteita. Sama kokonaisuus sisältää neljä päätoimintaa: modulaattorin, lineaarisen esikorjaimen (Linearity pre-corrector), RF upkonvertterin (RF upconverter) ja vahvistimen [kuva 2].



Kuva 2: DTV-lähettimen arkkitehtuuri [4, s. 133.]

Modulaattori

Kaikki DTV-lähettimet hyväksyvät sisääntulevaksi signaaliksi MPEG-2 TS:iä. Modulaattori luo kanavakoodatun signaalin, joka on joko COFDM-, QAM-, QPSK- tai VSB-signaali. Tämä signaali muutetaan IF-muotoon kuten nykyisessä analogisessa tv-signaalissakin. IF-signaalin käsittely on helpompaa lähettimen kannalta. Seuraavaksi IF-signaali siirtyy seuraavan lähettimen osan käsiteltäväksi. Jotkut huippuluokan modulaattorit pystyvät tekemään ennakoivaa virheenkorjausta ennen kuin IF-signaali siirretään eteenpäin seuraavalle lähettimen osalle. [4, s. 139.]

Lineaarinen esikorjain

Tämä laite tullaan enenevässä määrin yhdistämään modulaattorin kanssa. Sen avulla on mahdollista DTV-signaalin esisäröyttäminen (pre-distorting) IF-tasoisesti ennen ylöskonversiota ja vahvistusta. Koska laitteella on jonkin verran tietoa siitä, kuinka paljon signaali säröytyy vahvistettaessa, voi se tehdä ennaltaehkäisevää toimintaa joko etukäteen tai dynaamisena prosessina. Huippuluokan laitteet kykenevät käyttämään adaptoivaa esikorjausta DTV-signaalin I- ja Q-komponenttiin ja myös käyttämään hyväkseen digitaalisia linearisointimenetelmiä ennen RF-vahvistinta. Näiden tekniikoiden avulla lähettimen on mahdollista käyttää suurempaa lähetystehoa siedettävällä signaalin säröytymisellä. [4, s. 139.]

RF upkonverteri

Tämä osa laitteistoa on samankaltainen analogisessa lähettimessä käytettävään ylöskonversiopiiriin. DTV-signaali sekoitetaan paikallisoskilaattorin (Local Oscillator, LO) kanssa, josta tuloksena on haluttu RF-taajuus. Signaali myös suodatetaan, jotta mikserissä syntyneet ei-halutut sivutaajuudet saadaan karsittua pois signaalista. Paikallisoskilaattorin vaihekohinan on pysyttävä tiukkojen rajojen sisällä, koska DTV-signaalit ovat erittäin herkkiä vaihekohinan suhteen. [4, s.139- 140.]

Tehovahvistin

Vahvistin on erittäin tärkeä osa DTV-lähetintä. Sen tarkoituksena on tuottaa kuormalle, tässä tapauksessa antennille, sen tarvitsemaa tehoa. UHF-systeemien vaatima taajuusvaste ylettyy jopa 860 Mhz:iin asti. MOSFET-vahvistimet ovat suosituimpia koska niillä on erinomaiset vahvistusominaisuudet, ja ne ovat myös erittäin luotettavia. [4, s.138.]

4 DIGISOVITIN

Digitaalisen tv-lähetyksen vastaanottamiseksi tarvitaan digisovitin, kansanomaaisesti digiboksi. Se muuntaa digitaaliset tv-lähetykset katsottavaksi tv-vastaanottimella, jos vastaanottimesta löytyy joko scart-tulo tai RF-modulaattori.

4.1 Sovittimen toiminta

Huolimatta siitä, tuleeko digitaalinen signaali sitten maanpäällisestä lähettimestä satelliitista tai kaapelia pitkin monet sovittimen suorittamat toiminnot ovat samanlaisia. Lähdekoodaus on yleensä Euroopassa MPEG-2-kompressio videolle ja MPEG-1-layer 2-kompressio äänelle. USA:ssa käytetään MPEG-2-kompressiota videolle ja audiolle AC-3-äänikompressiota. Erot dekodeerissa ja laitteistossa, joita käytetään erilaisissa sovittimissa, johtuvat käytetyistä modulaatiomenetelmistä: satelliitissa käytetään QPSK:ta, kaapelissa n-QAM:ia ja maanpäällisissä lähetyksissä COFDM:aa. Jotta sovitin pystyy tuottamaan kuvaa tv:n ruudulle, on sen suoriuduttava seuraavista tehtävistä (kuva 3) [6, s.240.]:

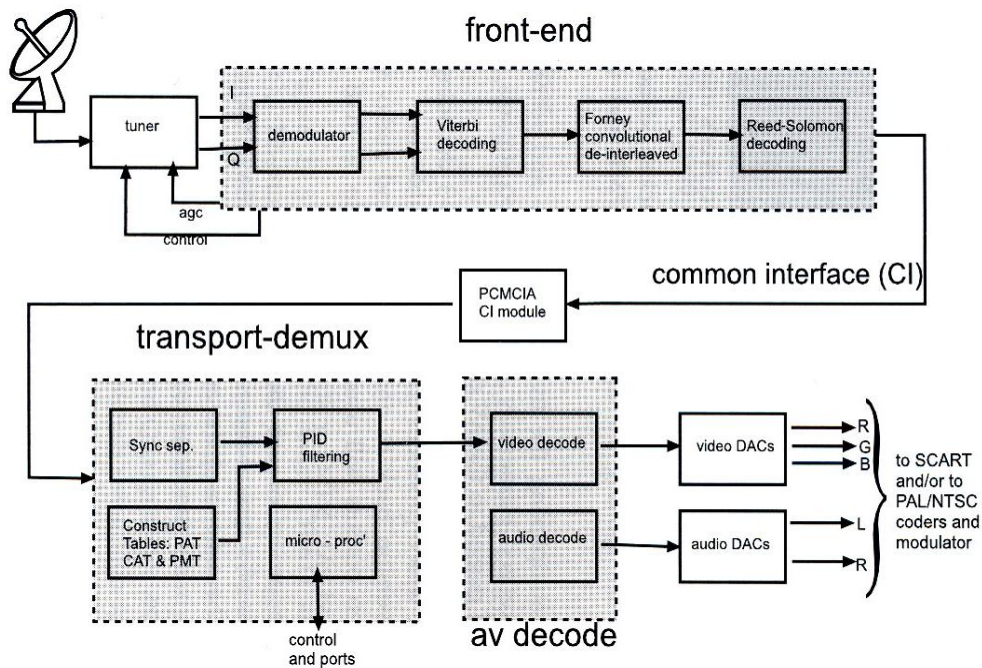
- Sen pitää vahvistaa saapuva RF-signaali, virittäydettävä oikealle digitaaliselle kanavalle ja sen vuoksi alaspäin muuttaa RF-signaali IF-taajuudeksi. Satelliitivastaanottimen tapauksessa signaali on jo valmiiksi muunnettu alaspäin mikropäässä.
- seuraavaksi IF demoduloidaan pohjataajuusbittivirraksi. Tämä prosessi voi olla analoginen tai digitaalinen ja tuottaa kaksi demoduloitua signaalia (I ja Q) QPSK:ta tai n-QAM:ia käytettäessä. Demodulaation seurauksena tapahtuvat seuraavanlaiset prosessit:
 - Viterbi-dekoodaus. Tämä tuottaa yhden bittivirran, jonka täytyy toteuttaa seuraavat ehdot:
 1. Forney konvoluutiokoodattu de-interleaved, jotta kaikki bitit saadaan uudestaan oikeaan järjestykseen.
 2. Reed-Solomon dekoodattu: jotta 188-tavuiset MPEG-2 TS paketit saadaan palautettua takaisin. [6, s. 240-241.]

- Tämän jälkeen signaali demultipleksoidaan. Tässä toimenpiteessä käytetään prosessia nimeltään PID-filtering:

1. Synkronoidaan dekooderi etsimällä TS:n ensimmäinen tavu.
2. Seuraavaksi etsitään PID, jonka arvo on 0. Tämän PID:n avulla rakennetaan PAT-taulu. Tämän jälkeen etsitään PID, jonka arvo on 1 ja tämän avulla saadaan selville CAT-taulu. CAT-taulu löytyy vain, jos multipleksissa on mukana salattuja kanavia.
3. Käytetään hyväksi PAT:sta löytyviä tietoja, jotta saadaan koottua PMT. PMT avulla katsojalle pystytään kertomaan, mitä kanavia kyseisestä multipleksista löytyy.

- Seuraavaksi katsoja tulee mukaan käyttämällä kaukosäädintä ja valitsemalla kanavan, jota haluaa katsoa. Nyt vastaanotin tietää, mitä PID:ä sen on etsittävä PAT:sta.

1. Lähetyspaketit demultipleksataan, ja alkuperäiset PES:it, sekä kuvalle ja äänelle luodaan uudelleen
2. Tämä jälkeen syötetään video- ja audiopakettit MPEG-dekooderille, jonka jälkeen datavirrat ovat valmiita kääntäväksi analogiseen muotoon. Nämä analogiset signaalit lähtevät sitten digisovittimesta eteenpäin, yleensä RGB-muotoisena (kuva 3). [6, s. 240- 242.]



Kuva 3: DTV-vastaanottimen rakenne [6. s. 241.]

5 DVB-ASI

Serverit, joiden tietojärjestelmä säilyttää tiedostoja, ovat yleensä sisällyttäneet I/O-arkkitehtuurin, jonka avulla eri signaaleja on mahdollisuus esittää: muun muassa analoginen NTSC- tai PAL-video. Tämänkaltaiset järjestelmät sopivat hyvin tuotantolaitosten sisäisiin tarkoituksiin nauhoittaa ja lähettää ohjelmia eteenpäin. Mutta koska nykyajan vaatimuksista tarvitsemme tehokkaampaa tapaa jakaa eteenpäin pakattua digitaalista lähetettä, serverit tarvitsevat uusia rajapintoja, jotka pystyvät vastaamaan alati kehittyvään MPEG-2-lähetteen hallintaan. Kyky tallentaa ja lähettää MPEG-2-virtaa asynkronisen sarjaliitännän (ASI) läpi on yksi nykyajan eduista median säilyttämisessä. Media-serveri, josta löytyy ASI-I/O antaa mahdollisuuden siirtyä käyttämään lähetysvirtaa (Transport Stream). [3.]

ASI (asynchronous serial interface) tarkoittaa siis asynkronista sarjaliitaintä. On olemassa harhaluulo, että ASI on video-standardipohjainen signaali. ASI on vain ja ainoastaan rajapinta, jonka avulla dataa kuljetetaan eteenpäin. Useimmiten tätä rajapintaa kutsutaan DVB-ASI:ksi. DVB-ASI on suunniteltu siirtämään MPEG-2-videostriimiä pääsääntöisesti televisiosovelluksille koaksiaalikaapelin läpi. DVB-ASI mahdollistaa virtojen lähettämisen jopa 270 Mbps:n nopeudella. DVB-ASI:n sähköinen toteutus on samanlainen kuin

SDI:ssä. Bittivirta liikkuu sarjanomaisesti 75-ohmisen koaksiaalikaapelin läpi. DVB-ASI käyttää 8B/10B koodausta ja on yhteensopiva myös muuttuvan bittivirran kanssa. [3.]

8B/10B-koodauksessa 8-bittinen data muunnetaan 10-bittiseksi dataksi. Tässä prosessissa käytetään apuna taulukkoa, jossa jokaista 8-bittistä sanaa vastaa 10-bittinen sana. Näitä 10-bittisiä koodeja käytetään varmistamaan DC-sisällön puute ja niiden avulla pystytään myös ottamaan tietyt koodit aloitusbittejä varten. Nämä 10-bittiset sanat siirretään seuraavaksi rinnakkaissarja-konvertterille, joka toimii kiinteällä 270 Mbit/s:n nopeudella. [6., s. 223.]

DVB-ASI-linkin rakenne täyttää automaattisesti ”putken” maksimikuormamäärään nollapaketeilla. Nämä paketit toimivat eräänlaisena signaalin sydämenlyönteinä. Tämä mahdollistaa sen, että DVB-ASI pysyy yhteensopivana muuttuvan bittivirran datasiinaalien kanssa. ASI-lähetys voi sisältää erilaisia yhden (Single Program Transport Stream) tai useamman ohjelman (Multi Program Transport Stream) sisältäviä lähetevirtoja: esimerkiksi 25 Mbps, 43 Mbps, kaksi 15 Mbps ja kaksi kappaletta 1,5 Mbps transport streamia. Lähetettävien transport streamien määrä riippuu siitä, että kuinka paljon linkin maksimikuorma on. Myös muuta dataa kuten IP-enkapsuloitua mediaa tai ohjausprotokollia on mahdollista lisätä MPEG-formaattiin ja multipleksata kaikki samaan ASI-lähetteeseen. [3.]

DVB-ASI-lähteelle on määritelty seuraavanlainen spesifikaatio:

Lähteen ominaisuudet

- Ulostulojännite 800 mV
- Max. nousu/laskuaika 1,2 ns

DVB-ASI-vastaanottimelle on määritelty seuraavanlainen spesifikaatio:

Vastaanottimen ominaisuudet

- Min. sisääntulojännite 200 mV
- Max. sisääntulojännite 880 mV
- Paluuvaimennus 15dB (0,3 Mhz – 1 GHz) [6, s.224].

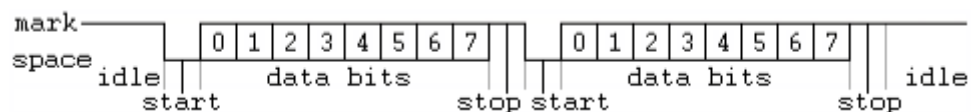
Vastaanottimessa sarjadataan bitit palautetaan vaihelukitun silmukkapiirin avulla ja sitten ne annetaan dekooderille. Jotta bittien järjestys saadaan palautettua takaisin oikeaksi, on koodausvaiheessa dataan koodattu synkronointibitti. Tämän avulla vastaanotin tietää, minkälainen määrä bittejä on tulossa rajapinnan läpi. [6, s. 224.]

Sähköisen median suhteen ASI on suunniteltu samankaltaiseksi serial digital video interfacen (SDV/SDI) kanssa. Signaali on tarkoitettu kuljetettavaksi eteenpäin koaksaalikaapelissa, jonka päässä ovat BNC-liittimet. Standardissa on myös määritelty, että muuntajaa on käytettävä kun signaalia siirretään kaapeliin. [6, s. 224]

Kuituliitännäisessä toteutukset on suunniteltu, niin että kuituna toimii 62,5 um ytimellä varustettua monimuotokuitu. Liittiminä käytetään SC-liittimiä LED-lähettimillä, jotka toimivat 1280 nm:n aallonpituudella. [6. s. 224.]

5.1 Asynkroninen sarjaliitäntä

Asynkroninen sarjaliitäntä käyttää hyväkseen asynkronista siirtoprotokollaa, jossa lähetetään aloitusbitti ennen jokaista bittiä, sanaa tai merkkiä. Lopetusbitti lähetetään jokaisen sanan jälkeen. Aloitusbitin avulla vastaanotin alkaa valmistautumaan symbolin vastaanottamiseen ja rekisteröimiseen. Lopetusbitin avulla vastaanotin menee lepotilaan ja sitä myöten odottamaan seuraavan aloitusbitin tulemistä



Kuva 4: 8n10-koodaus [2.]

Kuvassa 4 lähetetään aloitusbitti, jota seuraa kahdeksan databittiä ja lopetusbitti 10 bitin merkkikehyksessä. Data ja formattingbittien määrä sekä tiedonsiirtonopeuden täytyy olla ennalta määriteltyjä siirtoon osallistuvien osapuolten kesken.

Lopetusbitin jälkeen linja voi jäädä odotustilaan ennalta määrittelemättömäksi ajaksi, tai seuraava aloitusbitti voi tulla heti lopetusbitin jälkeen. Lopetusbitti voi myös olla pidempi kuin vain yksi bitti. Uusimmat laitteistot eivät enää tue puolikkaita bittejä vaan bittien on oltava kokonaisia. [2.]

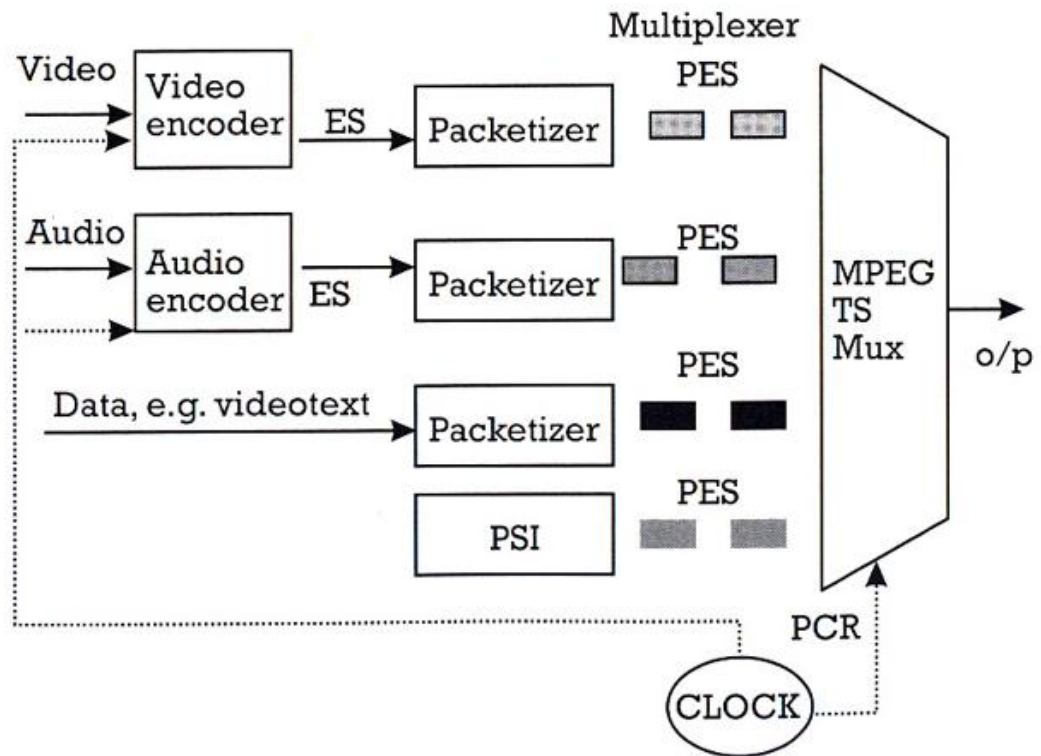
6 MPEG-2-STANDARDI

MPEG-2 on vuodelta 1997 peräisin oleva standardi kuvan pakkaamiseen. Sen tärkeimmät käyttökohteet tällä hetkellä ovat digitaaliset tv-lähetykset ja DVD-levyillä oleva media. MPEG-2-pakkauksella on mahdollista pakata audiota ja videota 2-20 Mb/s:n siirtonopeudella. Koodattua signaalia on mahdollista palauttaa enää täysin alkuperäiseen muotoon, koska MPEG-2 on häviöllinen koodausmenetelmä. MPEG-2-pakkaus toimii yksinkertaistetusti niin, että kuvista pyritään karsimaan pois informaatio, jota silmä ei kuitenkaan näkisi käyttäen hyväksi älykästä signaalin prosessointitekniikkaa. [1.]

6.1 MPEG-2-bittivirrat

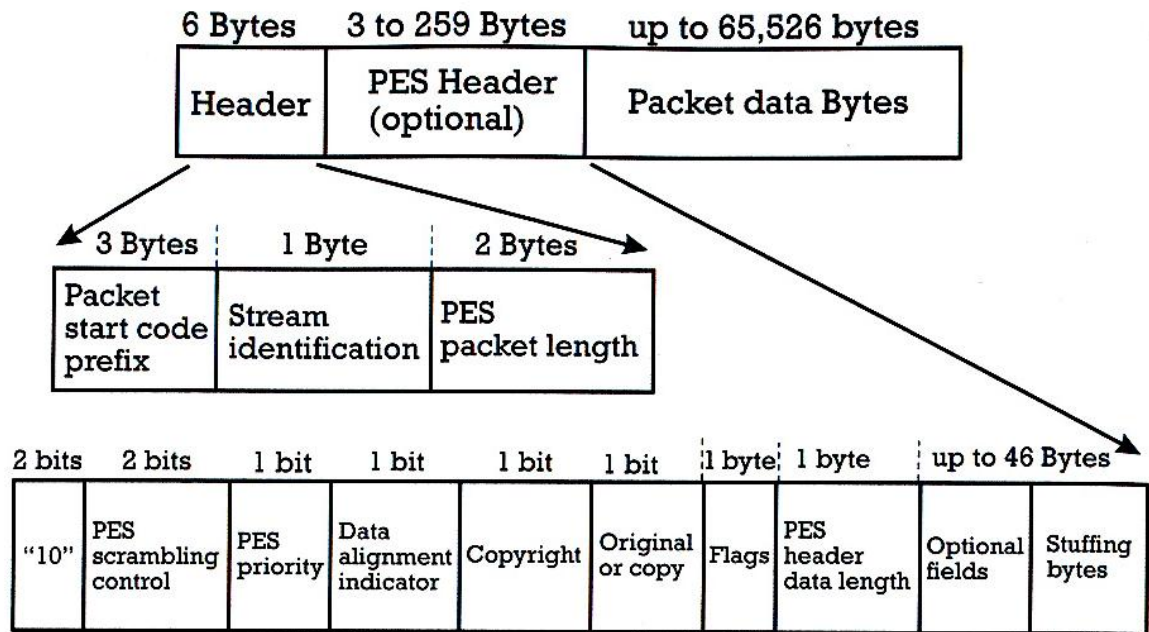
Mpeg-2 system layer sisältää mekanismin, jonka avulla on mahdollista yhdistää MPEG-pakattua videota ja audiota erilaisten datasiinaalien kanssa transport striimiksi (TS). Tämän myötä on mahdollista sisällyttää monia eri ohjelmia yhteen MPEG-2 transport striimiin. Ensiksi multipleksataan yhteen yhden tv-ohjelman vaativat komponentit, jonka jälkeen sitten tv-ohjelmien yksittäiset signaalit multipleksataan yhdeksi transport striimiksi. [4, s. 60.]

Jotta olisi helpompaa ymmärtää erilaisia MPEG-2-bittivirtoja, on kuvassa 5 on esiteltynä MPEG-2-multiplekseri. Video-, audio- ja dataelementit on koodattu ja paketoitu erikseen. Tämän jälkeen paketit yhdistetään tai multipleksataan yhdeksi MPEG-2 transport striimiksi.



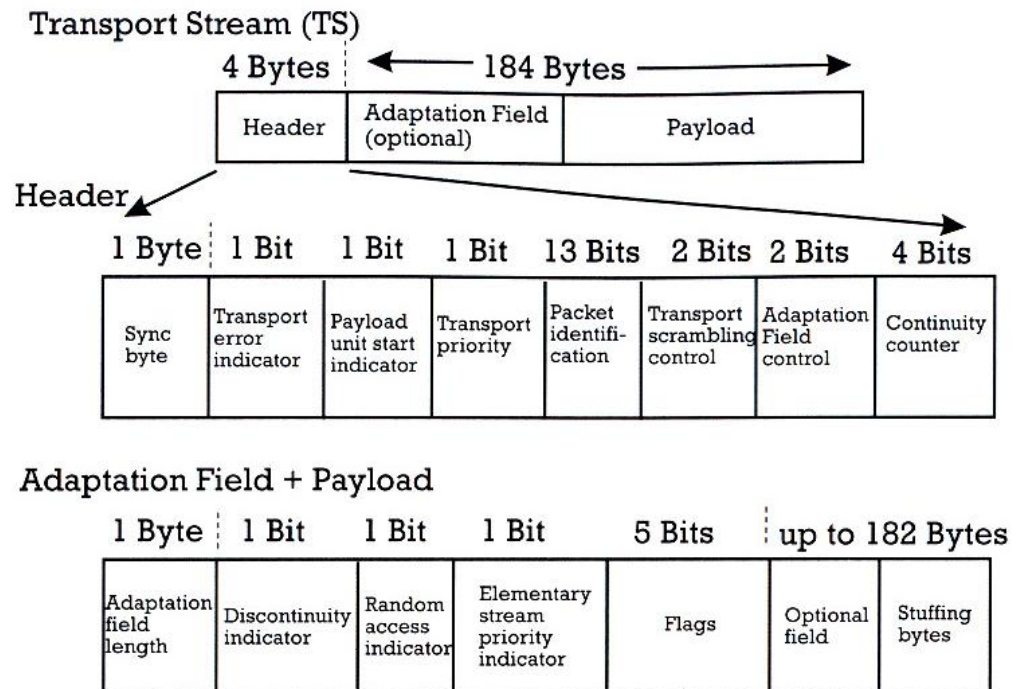
Kuva 5: MPEG-2 multiplekseri [4, s. 61.]

- Elementary streams (ES): nämä ovat tyypiltään perus MPEG-2-signaaleja, joita enkooderi tekee. ES:ssä on eri datavirrat videolle, audiolle ja datasiinaaleille.
- Packetized elementary stream (PES): nämä vaihtelevan pituiset datapaketit sisältävät myös aikaleimoja sekä headerinformaatiota. Ne ovat erillisiä datavirtoja videolle, audiolle ja datasiinaalille. MPEG-2-PES:in rakenne on esitelty kuvassa 6 [4, s. 61.].



Kuva 6: MPEG2-PES:n rakenne [4, s. 62.]

- Program stream (PS): tämä on useita PES:jä sisältävä multipleksi. PS on yksinkertainen tapa yhdistää informaatio-signaaleja yhdestä tv-palvelusta toiseen. PS:iä on mahdollista käyttää ainoastaan varmistetuissa ja turvatuissa kanavissa, joissa ei esiinny virheiden mahdollisuutta. Yleisesti PS:iä ei käytetä lähetykskaluston kanssa.
- Transport stream (TS): yleisimmin sovellutuksissa käytetty formaatti. Tyypillinen MPEG-2 TS:n pakettirakenne on esiteltyä kuvassa 7. TS voi sisältää yhden tai useampia tv-palveluita multipleksattuna yhteen bittivirtaan. TS paketin koko on kiinteästi määritelty, yleisesti 188 tavua. TS on tarkoitettu käytettäväksi virheitä sisältävissä lähetyksissä, eli toimivissa lähetykskanavissa. Se on formaatti, jota käytetään kanavakoodereissa, joista lähetyks kulkee eteenpäin kotivastaanottiimme. [4, s. 62.]



Kuva 7: MPEG-2 TS:n rakenne [4, s. 63.]

6.2 MPEG-2-transport stream

Kuten jo nimestäkin ilmenee, transport stream on tarkoitettu pääsääntöisesti tv-lähetysten siirtämistä varten pitkien välimatkojen yli. Transport streamia käytetään myös ympäristöissä, jotka ovat suhteellisen virheettiitä. Tällaisissa tapauksissa paketin pituuden täytyy olla suhteellisen lyhyt, koska tehokkaat virheenkorjausalgoritmit niin vaativat. Tästä syystä paketin pituus on ennalta määritelty 188 tavuun lähettimissä, jotka noudattavat eurooppalaista DVB-standardia.

Tämän tyylinen striimi pystyy sisällyttämään monta ohjelmaa samaan multiplexiin. Ohjelmien ei tarvitse käyttää yhteistä kelloahtia (system time clock, STC). Ainoastaan yhden ja saman ohjelman muodostavien PES:ien on käytettävä samaa kelloahtia (STC), jotta dekooderi pystyy synkronoimaan ne. [5, s. 64 – 65.]

6.3 MPEG-2-transport streamin koostumus

188 tavun kuljetuspaketti koostuu paketin tunnisteesta (4 tavua) ja itse kuormasta, joka voi olla suurimmillaan 184 tavua. Kuorman edellä voi myös olla valinnainen sovittamiskenttä (adaption field). Tässä kontekstissa kuorma tarkoittaa dataa PES:stä, josta tv-ohjelmat muodostuvat. ISO/IEC 13818-1 määrittelee, että kuljetuspaketin täytyy sisältää dataa vain yhdestä PES-paketista. PES-paketin on myös aina alettava kuljetuspaketin kuormaosan alusta ja loppua kuljetuspaketin lopussa.

Koska kuljetuspaketit (188 tavua) ovat yleisesti huomattavasti pienempiä kuin PES-paketit (esim. 2048 tavua), on PES-paketit pilkottava datablokkeihin, jotka ovat 184 tavun kokoisia. Koska PES-paketit eivät yleisesti ole tasan 184 monikertaa, niin viimeisen PES-paketin kantavan kuljetuspaketin täytyy alkaa sovittamiskentällä. Kentän pituus täytyy olla tasan 184 tavua lyhyempi kuin PES-paketissa jäljellä olevien tavujen määrä.

Täytetoiminnon lisäksi sovittamiskenttää käytetään kuljettamaan monenlaisia vapaavalintaista dataa. Jossain tapauksissa jopa koko kuljetuspaketin 184 tavua voidaan täyttää sovittamiskentälle varatulla datalla. [5, s. 65 – 67.]

Paketin tunniste (Packet Identifier, PID)

Itse video- ja audiosignaalien jälkeen tärkein kuljetuspaketin informaatio on 13-bittien header-kenttä, jota kutsutaan paketin tunnisteeksi (PID). PID mahdollistaa bittivirtojen multipleksaamisen ja demultipleksaamisen. PID sisältää tiedon siitä, mihin ES:iin tietty paketti kuuluu. Se on eräänlainen osoitelappu. PID-kenttä löytyy aina paketin alusta, koska näin ollen se on aina samassa paikassa. Tämä mahdollistaa sen, että pakettien purkaminen on helppoa, kunhan vain synkronointi on ensiksi saatu kuntoon dekooderin osalta. [6, s. 213.]

Program Specific Information

MPEG-2-standardi on määritellyt program specified information (PSI) -datan, joka mahdollistaa vastaanotinlaitteen automaattisen konfiguroinnin. Tätä informaatiota tarvitaan MPEG-2 TS:n mukana kulkevan video- ja audioinformaation demultipleksaukseen ja dekodaukseen. [4, s. 68.]

PSI-datan taulut

Taululla (engl. table) tarkoitetaan tietoryhmää, jossa etukäteen määriteltyä arvoa vastaa joku tietty arvo.

MPEG-2 PSI-data on jaoteltu neljään eri tauluun:

- Program association table (PAT): Tämän taulukon mukana olo striimissä on pakollista. Sen tarkoituksena on osoittaa jokaiselle multipleksissä jaettavalle ohjelmalle yhteys ohjelman numeron (välillä 0 – 65535) ja kyseisen ohjelman karttaa (Program Map Table, PMT) sisältävän paketin PID:n välillä. PAT välitetään aina salaamattomana, vaikka itse kanava olisikin salattu. [5, s. 68- 69.]
- Program map table (PMT): Jokaiselle multipleksissä jaettavalle ohjelmalle on olemassa oma PMT. Siitä selviää kyseisen ohjelman muodostavien pakettien PID. PMT voi sisältää myös muuta yksityistä tietoa ohjelmasta. [5, s. 69.]
- Network information table (NIT): Kuten nimikin jo kertoo, tämä taulukko sisältää informaatiota verkoista, joissa kulkee enemmän kuin yksi TS. Sisältäen esimerkiksi käytetyt taajuudet ja kanavien numerot. Tätä taulukkoa hyväksikäyttäen vastaanotin voi konfiguroida itsensä. [5, s. 70- 71.]
- Conditional access table (CAT): Tämä taulukko täytyy olla läsnä, jos yksikin multipleksin ohjelmista on salattu. Taulukosta löytyvät tiedot sellaisten pakettien PID:sta, jotka sisältävät EMM:ia (entitlement manage messages). [5, s. 69.]

DVB Service Information (SI)

DVB-spesifikaatioihin on määritelty myös toinen taso palveluinformaatiota (SI). Lisänä PSI:nin se auttaa vastaanottimen automaattisessa virittämisessä ja konfiguroinnissa. Se sisältää myös muuta kuluttajalle näkyviin tulevaa tietoa. SI:n sisältämää tietoa voidaan käyttää elektronisen ohjelmaoppaan (Electronic Program Guide, EPG) pohjana.

DVB on määritellyt seitsemän SI-tilua, joista kolme ovat pakollisia ja neljä valinnaisia. Nämä taulukot voivat olla isokokoisia ja näin ollen viedä monta TS-pakettia. [4, s. 69.]

DVB Service information taulut

- Service descriptor table (SDT) mahdollistaa multipleksissa olevien palveluiden nimeämisen tekstillä.
- Event information table (EIT) kertoo mikä ohjelma on parhaillaan menossa ja mikä ohjelma on tulossa seuraavaksi.
- Boutique association table (BAT) mahdollistaa lähettäjän yhdistämään palveluita, jotka ovat lähetettynä eri palveluissa ja eri multiplekseissa. Linkitettyinä EPG:n BAT on tehokas tapa kontrolloida pääsyä lähettäjän palveluihin missä tahansa siirtomediassa.
- Running status table (RST) välittää tietoa ohjelman tilasta. Jos ohjelma jostain syystä jumittuu, niin paljon tietoa muuttuu siinä vaiheessa. Tätä voidaan käyttää hyväkseen esimerkiksi nauhoittavien digiboksien yhteydessä.
- Time and date table (TDT) sisältää universaalisti koordinoitun ajan (UTC) ja päivämäärän, joita käytetään lähetysten ajastukseen.
- Time offset table (TOT) sisältää tiedot ajasta ja päivämäärästä. Käyttää hyväkseen UTC:tä.
- Stuffing tablea (ST) käytetään mitätöimään muita SI:n osia. Esimerkiksi kun palveluita sisältävä MPEG-2 TS joudutaan uudestaan multipleksaamaan, jotta voidaan palveluita voidaan lisätä tai poistaa. [4, s. 69- 70.]

Actual ja other SI

Palveluinformaatio voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: actual SI:hin ja other SI:hin. SI actual viittaa siihen SI-dataan, joita multipleksi sisältää ja joka koskee tätä multipleksiä itseään. SI other viittaa toisiin multiplekseihin, joita vastaanotin on kykenevä dekodeamaan samasta siirtomediasta. Jossain mais- sa on vaatimuksena maanpäällisessä digitv-vastaanotossa, että jokainen multipleksi sisältää tiedot kaikista muista multiplekseista samassa siirtome- diassa. SI other aiheuttaa ongelmia yhden taajuuden verkoissa (SFN), joissa SFN palvelu jakaa saman antennin kuin muut alueelliset palvelut. [4, s. 70.]

Service informationin jakaminen

Koska SI:t lähetetään eri lähetyksyksiköistä verkoissa, se ei koskaan ole samanlaista keskenään. Tämä johtuu siitä, että eri yksiköt käyttävät eri lähetykskanavia samalle palvelulle ja koska palveluissa voi olla alueellisia eroja. Suurissa maissa myös aikavyöhykkeet aiheuttavat eroavaisuuksia palveluissa. Jos tv-palveluilta vaaditaan SI other datan lähettämistä, niin voi olla hankalaa hallita SI-dataa ilman erillistä SI-datan jakoa varten kehitettyä jakosysteemiä. Myös SI datan paikallisesta multipleksauksesta MPEG-2 TS:iin on suuri hyöty.

Tyypillinen ratkaisu tähän jakamispulmaan on keskus, joka toimii SI-datan keräilypisteinä. Keräilypisteestä SI-data jaetaan kaikille eteenpäin tietyille lähetyksasemille. Näissä service information insertionpointeissa (SIIP) relevantti SI-data tietyille multipleksille lisätään MPEG-2 TS:iin. Tämän jälkeen uusi TS voidaan jakaa muille lähetyksasemille. Jokaisessa multipleksissa täytyy olla yksi SIIP. SI-data on säilöttynä cacheen SIIP:ssä, joten keräilypisteestä tarvitaan vain SI-datan päivitys. Koska SI-datan lataaminen voi viedä huomattavan määrän aikaa SIIP:ssä, on cache-muistin käyttö näppärä tapa parantaa systeemin vasteaikaa. [4, s. 71- 72.]

6.4 MPEG-2-multipleksaus

MPEG-2 multipleksaus pystyy käsittelemään sekä kiinteän että vaihtelevan bittinopeuden lähdedataa. Näin ollen pystytään datan määrä saamaan mahdollisimman oikeaksi siirtokanavan kaistanleveyttä varten. Siirtokanava voi myös itsessään olla kiinteästi määritelty tai sitten sen kaistanleveys voi muuttua olosuhteiden mukaan.

Suurin osa MPEG-2 TS-multipleksereistä käyttää kiinteän bittinopeuden lähteitä sisääntuloinaan. Seuraavana toimenpiteenä ne multipleksaavat monta ohjelmaa yhteen TS:iin etukäteen määrätyissä annoksissa, jotka ovat tarkkaan kontrolloituja ja kiinteitä. Mutta koska tiivistetty video on luonteeltaan purskeista, niin monesti tapahtuu, että enkooderin ei tarvitsekaan käyttää kaikkea sille ennaltamäärättyä bittinopeutta, koska kuva on joko pysähtynyt tai helposti ennustettavissa.

Tällaisissa tapauksissa kuvan bittinopeus tulee tippumaan ja multiplekseri lisää väliin nollapaketteja TS:iin, jotta ennalta määrätty bittinopeus tulisi täyteen. Selvästikin tämä on järjestelmän kapasiteetin hukkaamista. Onneksi on kehitetty innovaattisia multipleksaustekniikoita, joiden avulla hukkatilaa voidaan käyttää tehokkaasti hyödyksi. [4, s. 72.]

6.4.1 DTV Multicasting

Multicastigissa jokaisella ohjelmalla saattaa olla oma itsenäinen ohjelma kelloreferenssi (program clock reference, PCR). Nämä itsenäiset 27 MHz:n kellot eivät ole lukittuja toisiinsa. Tämä mahdollistaa eri paikoissa ja eri aikaan multipleksattujen ohjelmien yhdistämisen toisiinsa. Pakettipohjaisen multipleksauksen täytyy noudattaa tiettyjä sääntöjä, jotta kuva ja ääni pysyvät synkronoituna. Muuten voisi olla mahdollista lähettää koko ohjelman kuvapaketit ennen äänipaketteja. Jotta tältä vältyttäisiin kuva-, ääni- ja datapaketit multipleksataan lopulliseen TS:iin suhteessa hetkelliseen bittinopeuteen. Tämä varmistaa sen, että synkronointi kaikkien lähteiden välillä säilyy. Tämä saavutetaan käyttämällä Transport multiplekseriä, jolla voidaan asettaa paketit jonoihin, ja näin ollen ennalta määrättyä niiden eteenpäin lähettäminen. [4, s. 73.]

6.4.2 Statistical multipleksing

Tällä tekniikalla yhdistetään samaan MPEG-2 TS:iin useita digitaalisen tv:n palveluita käyttämällä hyväksi dynaamisia muutoksia kuvasisällössä jakamalla bittinopeutta muiden palveluiden kesken TS:ssä. Tämä on erittäin suosittu tekniikka lähettäjiä keskuudessa, koska se mahdollistaa ennalta rajatun resurssin (kaistanleveys) tehokkaan käytön monien palveluiden kanssa.

Statistinen multipleksaus on dynaaminen prosessi, joka käyttää hyväksensä faktaa että eri videostriimit eri ohjelmista ovat yleensä toisistaan riippumattomia. Kun monta videostriimia on samaan aikaan koodattu ja multipleksattu yhteen yhdeksi TS:ksi on yleisesti havaittu, että ne vaativat erilaiset bittinopeuden joka riippuu täysin lähdemateriaalista. Esimerkiksi talkshow vaatii huomattavasti vähemmän bittinopeutta kuin kiivastahtinen action-elokuva. Kuitenkin nämä molemmat vievät ennalta määrätetyssä enkoodauksessa saman verran bittinopeutta. Statistisen multipleksauksen avulla voidaan vapa-

uttaa prosessissa hukkaan menevää bittinopeutta muiden palveluiden käyttöön.

Lähettäjä määrittää bittinopeuden etukäteen sopimaan kanavakoodaussysteemin käyttämään datakuorman. Esimerkiksi maanpäällisessä digilähetyksessä lähettäjä määrittää bittinopeuden etukäteen. MPEG-2 TS kuormassa se voi olla välillä 5 - 31 Mbps. Kun tämä arvo on asetettu, niin sitä ei voi ylittää. Haasteena on tämän arvon maksimallinen hyödyksi käyttö. Pysyvän bittinopeuden multiplekserit voivat vapauttaa bittejä videoenkoodereiden käyttöön tarvittaessa, kunhan sitten vastaavasti vähentävät toisille enkoode-reille tarjottuja bittejä. Summan pitää siis pysyä koko ajan tasapainossa, koska maksimiarvoa ei ole mahdollista ylittää. Tämä dynaaminen prosessi toimii kunhan vain eri ohjelmat eivät ole mitenkään korreloi keskenään. [4, s. 73- 74.]

6.4.3 *Opportunistic data*

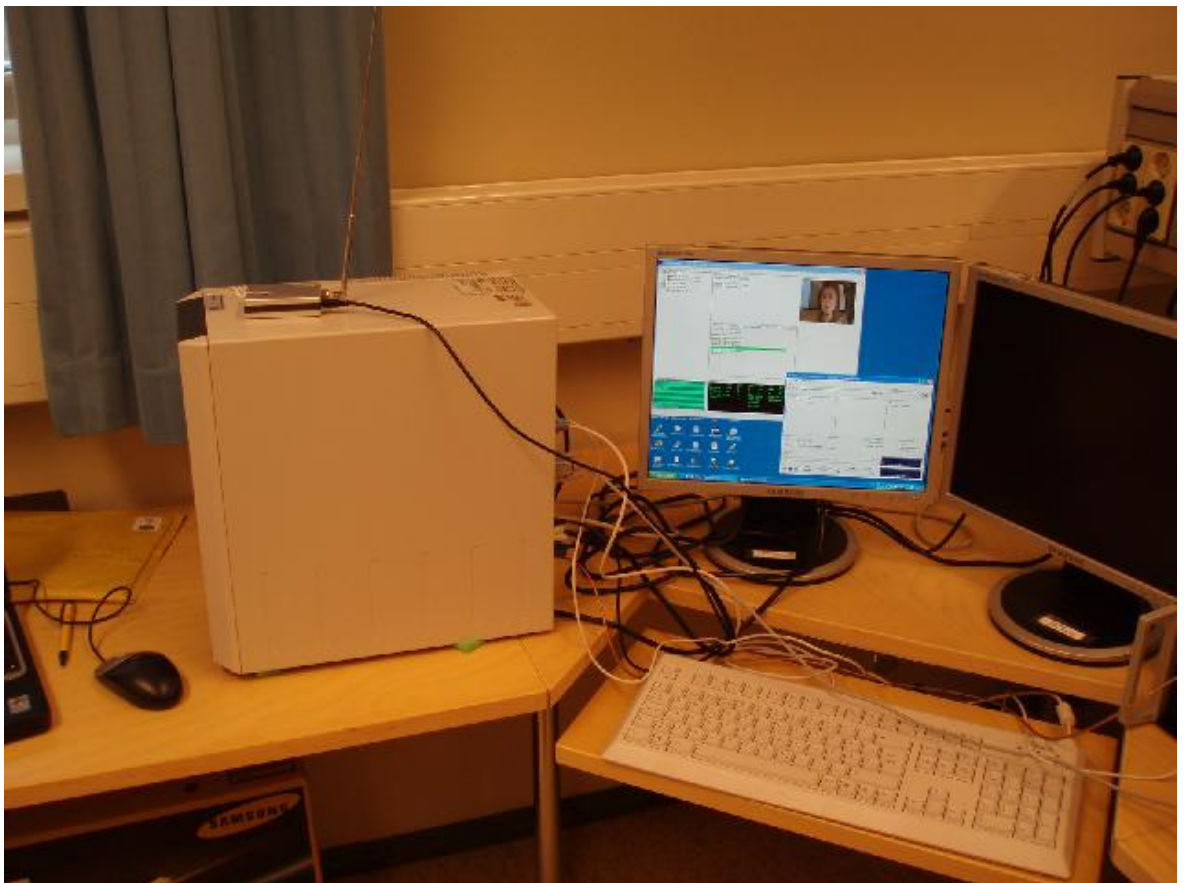
Myös tämä sovellus käyttää hyväkseen helposti pakattavan kuvamateriaalin mukana tuomaansa hyötyä. Tässä tapauksessa ylijäävä kapasiteetti vapautetaan siihen, että ladataan tietoa, joka ei millään tasolla välttämättä liity mitenkään kyseessä olevaan ohjelmaan. Esimerkiksi mainoksien aikana kuluttaja voi ladata itsellensä elektronisen esitteen liittyen mainokseen. Kun tallennusvälineet tulevat kokoajan halvemmaksi ja halvemmaksi, tulee kuluttajalle mahdolliseksi ladata materiaalia kotipäätteeseensä. Tämän materiaalin voi sitten katsella sopivan ajan koittaessa. Tallentamaan kykenevien päätelaitteiden yleistyessä kuluttajille tullaan esittelemään uusia palveluita liittyen tähän tekniikkaan. [4, s. 76.]

7 STADIAN DIGI-TV-LABORATORION LAITTEISTO

Stadian laboratorioon on tarkoituksena valmistua DVB-T/H -standardeja käyttävä lähetysyksikkö. Tarkoitus on pystyä lähettämään eteenpäin koulun itse tuottamaa ohjelmaa, ensiksi maanpäällisessä verkossa. Kun se on saatu toimimaan, niin toimintaa on tarkoitus laajentaa myös mobiilin vastaanoton puolelle.

7.1 Serveri ja ASI-kortti

Serverinä laboratoriossa toimii 3 Gigahertsin Pentium 4-prosessorilla varustettu PC.



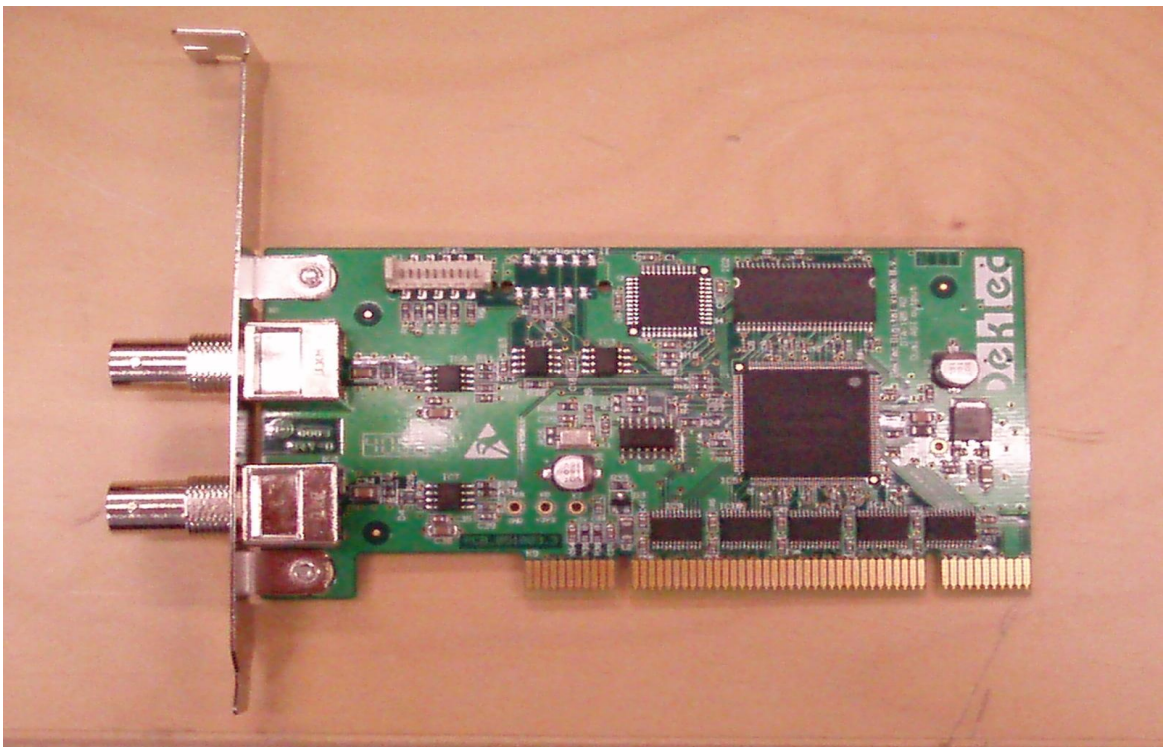
Kuva 8: Laboratoriomme serveri

ASI-Kortti

Asi-kortin jouduimme vaihtamaan tässä insinööriyöprojektissa. Vanha SDK:n StreamMaster ei suostunut toimimaan laitteistomme kanssa yhteistyössä tyydyttävällä tavalla. Korvaavaksi kortiksi valitsimme Dektec'n DTA-105-malliin.

Kyseisessä mallissa on kaksi itsenäistä ASI-lähtöä, joten sillä voidaan ajaa ulos kerralla kahta eri striimiä. Kortin mukana tuli myös Dektec:n oma StreamXpress-ohjelma, jonka avulla MPEG-TS:ä voidaan ajaa ulos modulaattorille. Ohjelmasta lisää myöhemmin.

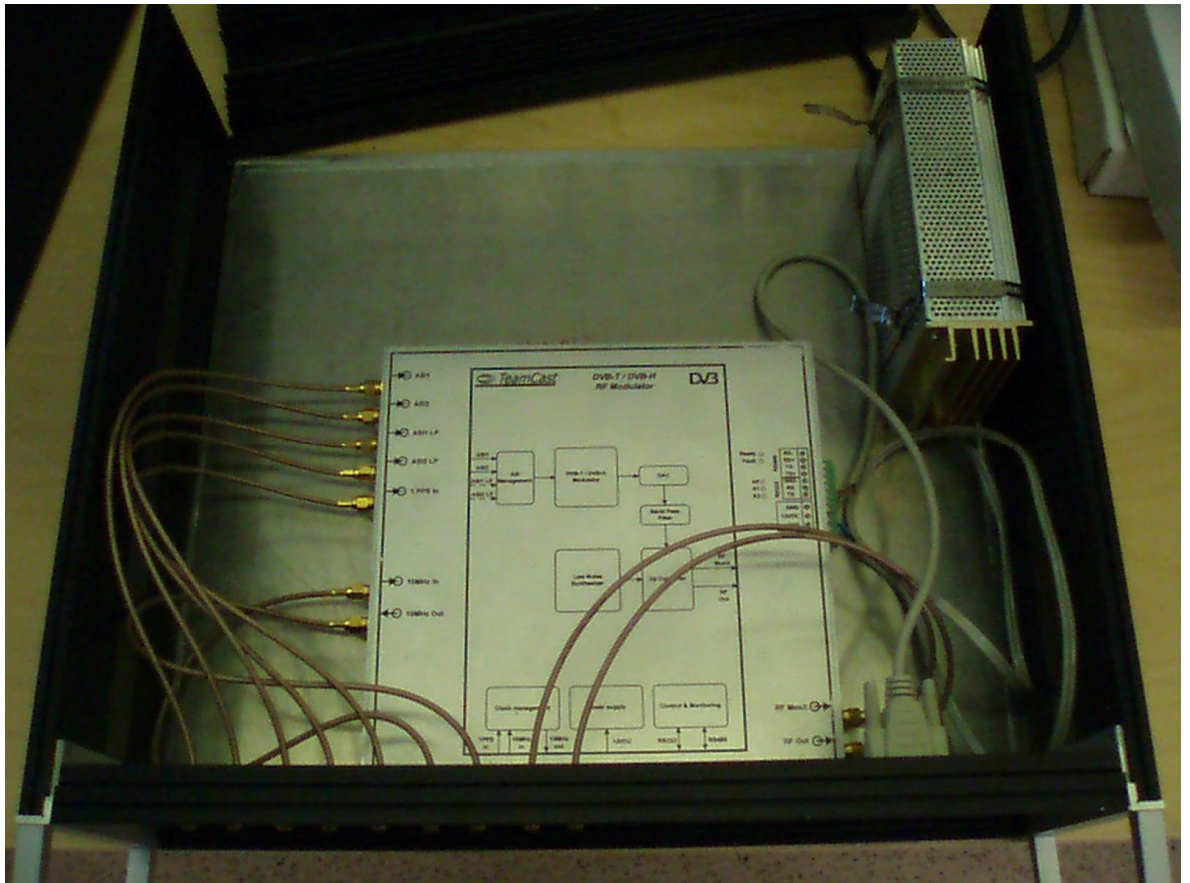
Fyysisellä tasolla signaali kulkee DVB-ASI standardoidussa koaksiaalikaapelissa, ja liittiminä toimii BNC. Lähetettävän striimin bittinopeus on mahdollista säätää manuaalisesti välille 0- 214 Mbit/s. MPEG-2 TS:in pakettikokoon on myös mahdollista vaikuttaa, eli se voi olla 188 tai nollatavuilla täytettynä 204 tavua.



Kuva 9: Dektec DTA-105 ASI-kortti, spesifikaatiot: <http://dektec.com/Products/DTA-105/index.asp>

7.2 Modulaattori

Modulaattorina toimii Teamcastin MOD2010 DVB-T / DVB-H modulaattori. Modulaattori konfiguroidaan erillisen Excel-taulukon avulla yhdistämällä modulaattori tietokoneen sarjaliitännänsä.



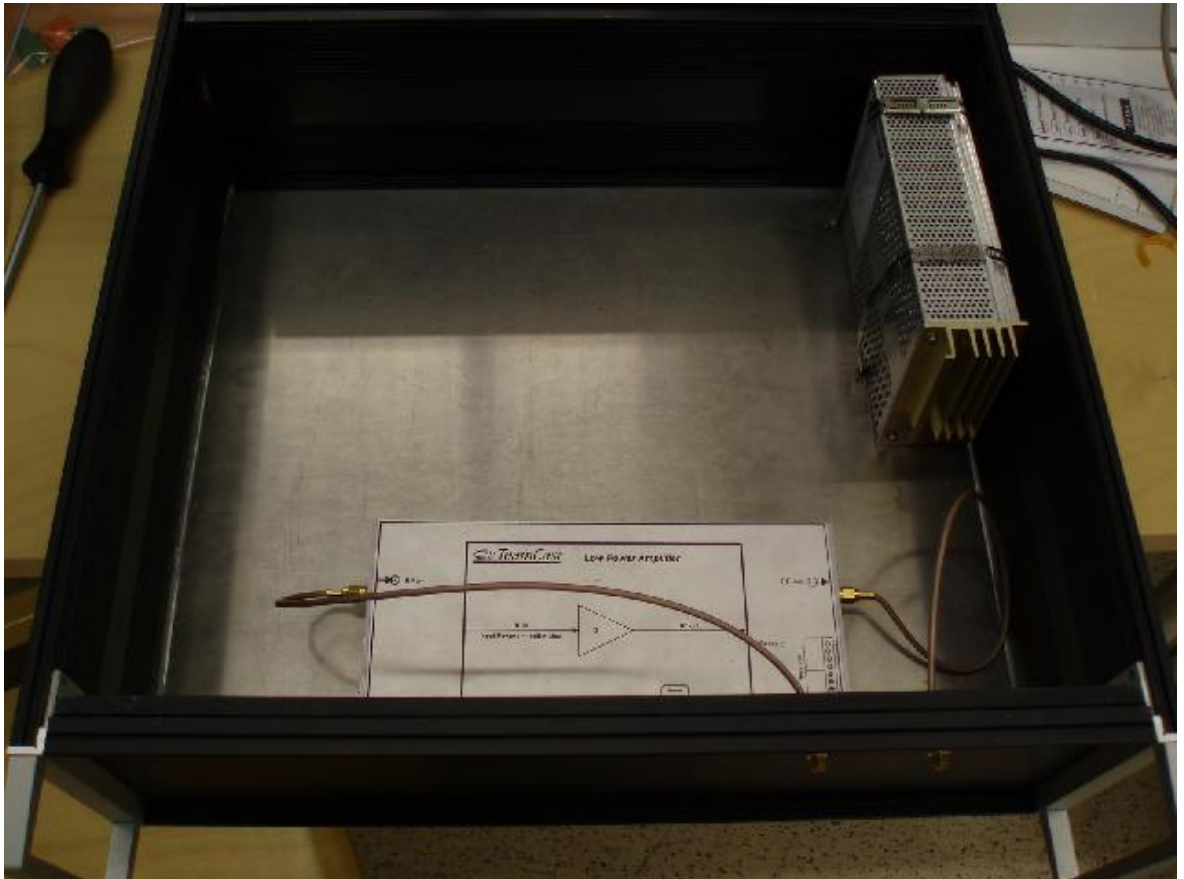
Kuva 10: Teamcastin MOD2010 DVB-T / DVB-H modulaattori sisältä

Teamcast MOD2010 DVB-T / DVB-H modulator

- PN: ~TCM-MOD0-2010
- SN: 0267
- VERSION: H10-S20

7.3 Tehovahvistin

Tehovahvistimena käytämme Teamcastin valmistamaa tehovahvistinta.



Kuva 11: Tehovahvistin

Teamcast low power amplifier

§ PN: ~TCM-LPA0-1610

§ SN: 0110

Sekä jännitevahvistimessa että modulaattorissa käytetään virtalähteenä Efo-
ren SR 928800 -mallista virtalähdettä. Sen tekniset spesifikaatiot ovat seuraavanlaiset:

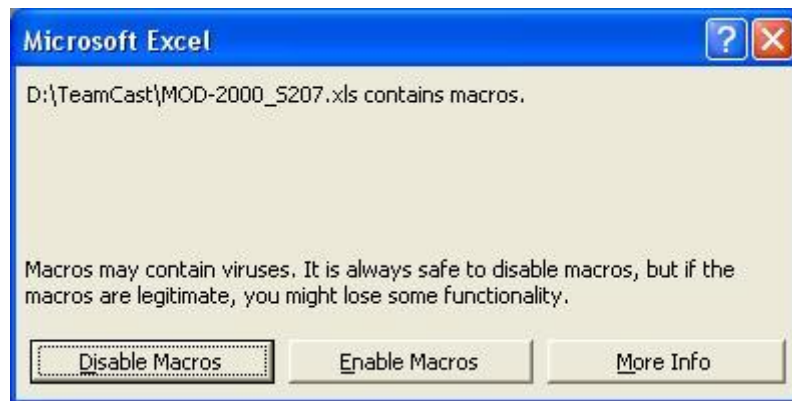
- SN: G3350742
- Input 115-230 Vac
50-60 Hz
Max 2 A
- Output 13,6 Vdc / 6 A

8 JÄRJESTELMÄN TESTAAMINEN

8.1 Modulaattorin asetukset

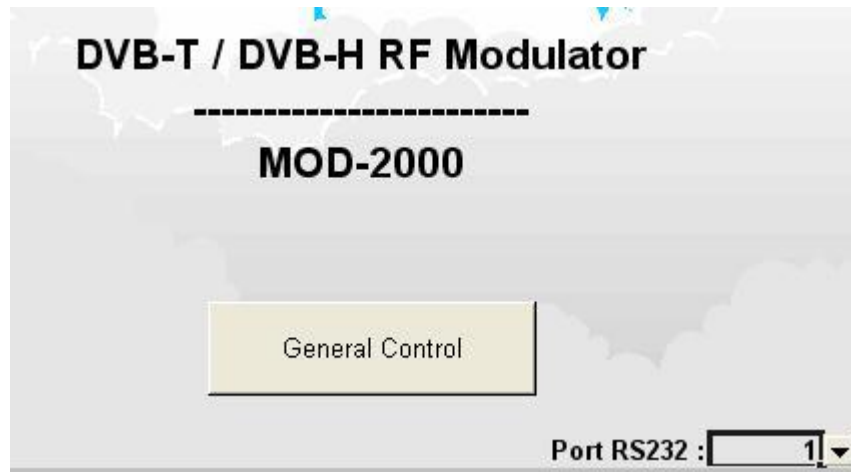
Ennen kuin testilähetystä voidaan käynnistää, on syytä tarkastaa, että modulaattorin asetukset ovat oikein. Modulaattori on kytketty PC:hen sarjaportin välityksellä, ja sen asetuksia hallitaan Excelissä toimivan taulukon avulla. Taulukko on nimeltään mod-2000_s07.xls ja se löytyy työpöydältä. Kaksoisklikataan siis kuvaketta ja Excel käynnistyy.

1. Makrojen käyttö on välttämätöntä, joten valitaan vaihtoehto enable macros.



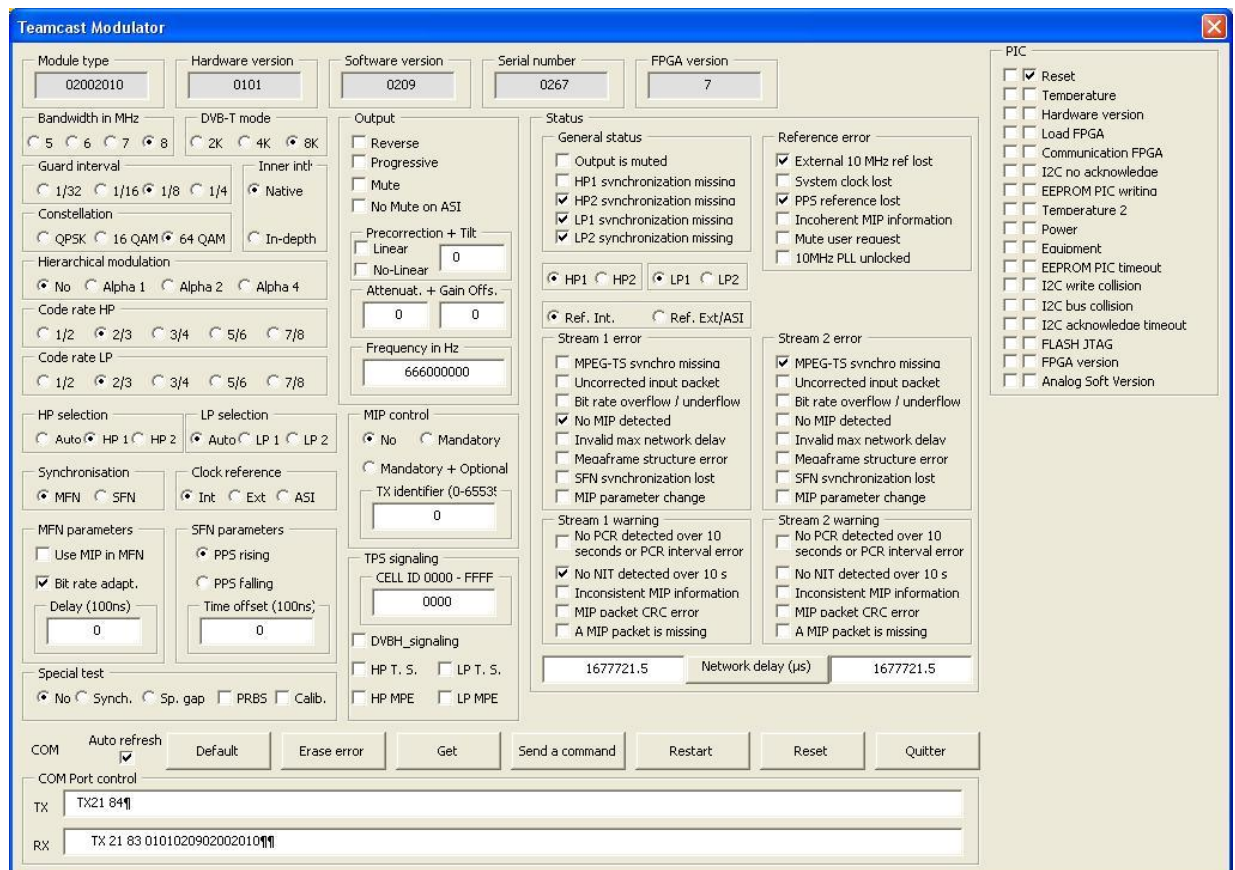
Kuva 12: Enable Macros

2. Seuraavaksi painetaan painiketta general control, jolloin hallinnointitaulukko aukeaa.



Kuva 13: General Control

3. Valitaan alareunasta auto refresh ja klikataan get-painiketta, jotta asetukset tulevat näkyviin.



Kuva 14: Modulaattorin hallinnointitaulukko

Modulaattorin asetusten pitää olla seuraavanlaiset (Suomessa käytettävä lähetyskonfiguraatio), jotta testilähetys saadaan näkyviin:

- Bandwidth in MHz: 8
- DVB-T mode: 8K
- Guard interval: 1/8
- Inner intl: Native
- Constellation: 64 QAM
- Hierarchial modulation: No
- Code rate HP: 2/3
- Code rate LP: 2/3
- HP selection: HP 1
- LP selection: Auto
- Synchronisation: MFN
- Clock reference: Int
- MFN parameters: Bit rate adapt.
- SFN parameters: PPS rising
- Special test: No
- MIP control: No.

8.2 Kanavan hakeminen digivastaanottiin

Jotta testikanavamme saatiin näkyville digiboksiin käytettiin apuna JustDVB-it nimistä ohjelmaa. JustDVB-IT on ilmainen, avoimeen lähdekoodiin perustuva, MPEG transport stream data-generaattori ja pakettien hallintaohjelma. Sen on kehittänyt Cineca, italialainen konserni, joka koostuu 31 yliopistosta. Cineca on yksi isommista ATK-keskuksista koko maapallolla.

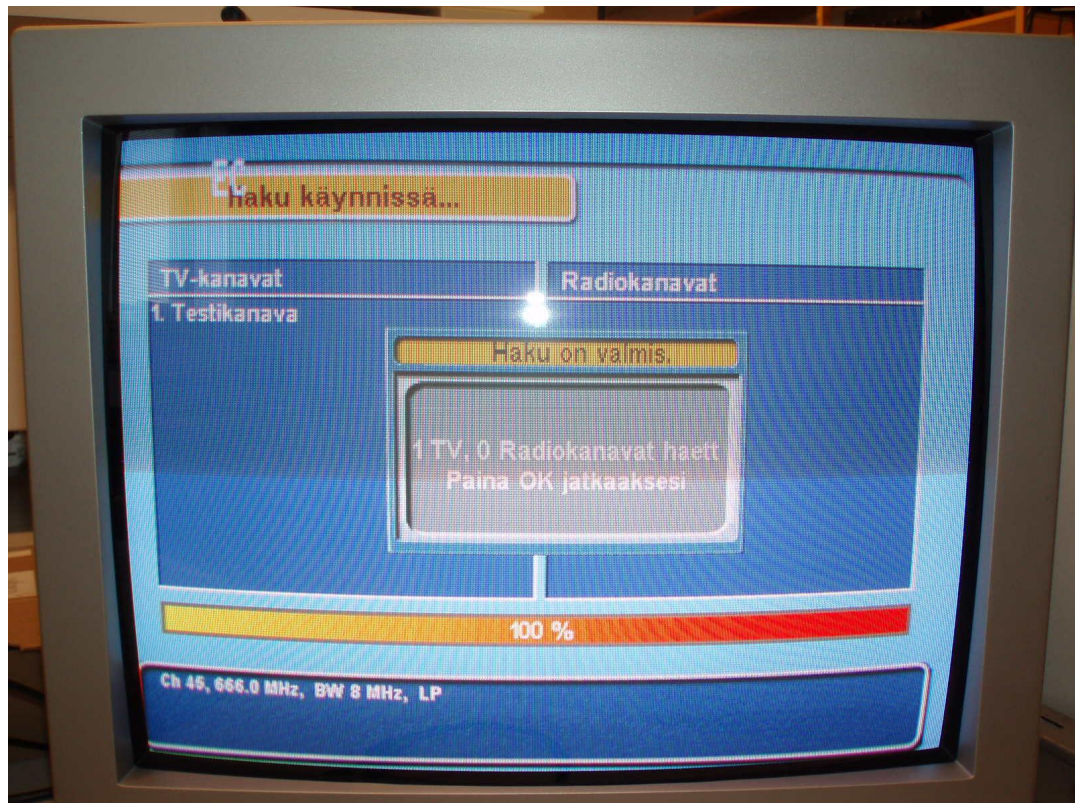
JustDVB-it:n pystyy lataamaan osoitteesta <http://www.cineca.tv/labs/mhplab/JustDvb-It%202.0.html>. Ohjelma toimii niin sanotulta livecd:ltä, joten sen asentaminen ei ole pakollista.



Kuva 15: JustDVB-it:n työpöytä

JUSTDVB-it:n käyttö:

- Käynnistetään kone ja valitaan buuttausvalikosta vaihtoehto cd-/dvd-asema.
- Valitaan vaihtoehto star Xubuntu in safe graphics mode. Odotetaan jonkin aikaa, että Xubuntu käynnistyy.
- Kaksoisnapautetaan see JustDVB kuvaketta ja terminoidaan se painamalla CTRL-C.
- Tässä tapauksessa halutaan nimetä kanava, joten avataan editori kaksoisklikkaamalla kuvaketta edit SI-tables. Auenneessa editorissa muutetaan SDT-taulusta lainausmerkeissä oleva test channel Testikanavaksi. Myös service providerit vaihdetaan Stadiaksi sekä SDT:stä että NIT:sta.
- Tallennetaan taulut ja suljetaan editori.
- Avataan pääte valitsemalla accessories valikosta terminal. Pääteeseen syötetään seuraavat komennot:cd J* (koska kyseessä on amerikkalainen näppäimistö niin tähden saa painamalla shift-8), ajetaan psi-skripti uudesta komennolla ./psi* , käynnistetään testilähetys komennolla ./tra*
- Nyt voidaan suorittaa kanavahaku digiboksista. Se suoritetaan manuaalisesti joko taajuudelta 666 MHz tai kanavalta 45.
- Lopetetaan testilähetys painamalla CTRL-C ja kirjoitetaan exit.



Kuva 16: Manuaalisen hakuprosessin tulos

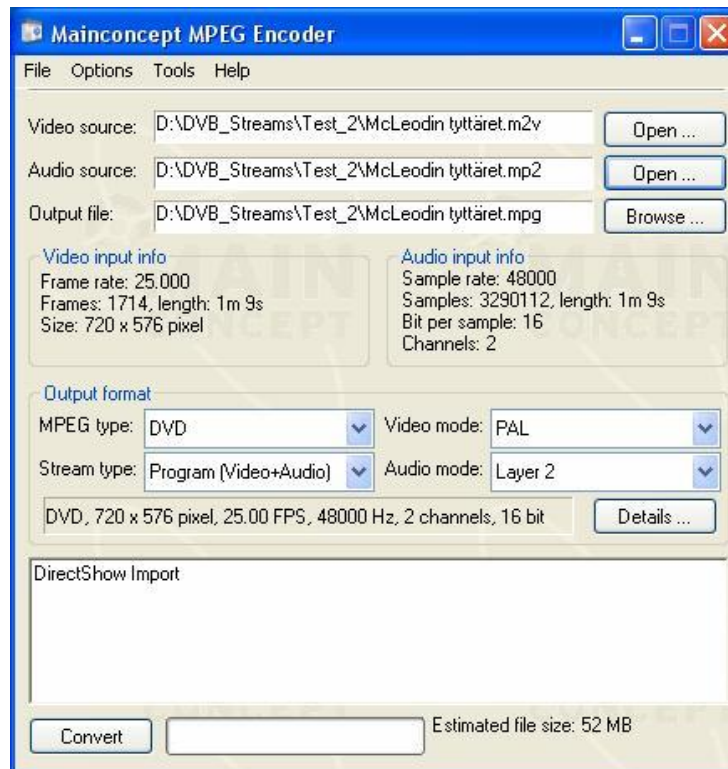
8.3 MPEG-2 transport streamin luominen

Jotta videotiedostoja voidaan ajaa asi-kortin kautta ulos modulaattorille, on ne muutettava MPEG-2 Transport Stream -muotoisiksi. Tämä muunnos suoritetaan Mainconceptin MPEG encoder -nimisellä ohjelmalla (<http://www.mainconcept.com/site/?id=825>).

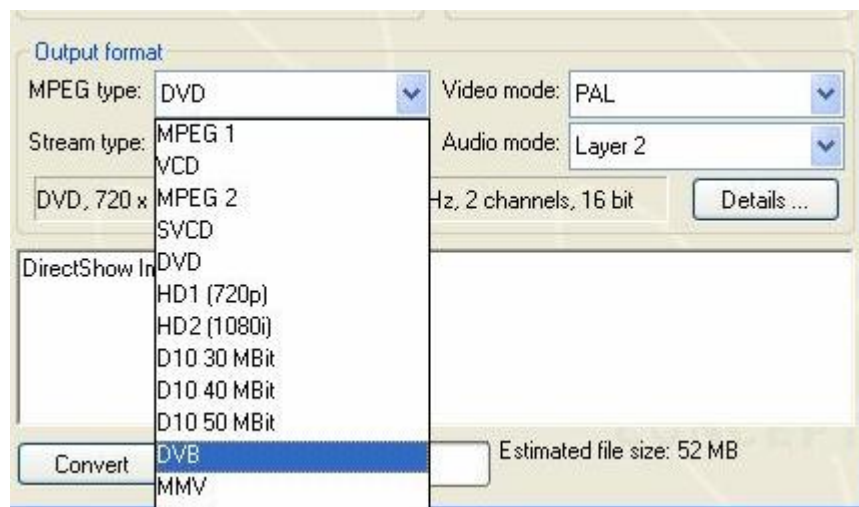
Tässä esimerkkitapauksessa käytetään Topfield-merkkisen kovalevyllä varustetun digiboksin avulla kaapattua materiaalia. Koska Topfieldistä saadaan ulos vain .rec-päätteistä tiedostomuotoa, on tiedosto ensin demultipleksattava erillisiksi video- ja äänitiedostoksi. Demultipleksauksen voi suorittaa vaikkapa Java-pohjaisella ohjelmalla, nimeltänsä ProjectX. Kyseisen ohjelman saa ladattua helposti internetistä, koska se on freeware-ohjelma (<http://www.videohelp.com/tools/ProjectX>).

Työvaiheet:

1. Videosourceen valitaan kohde, josta löytyy TS-tiedoston kuvadata. Tiedosto on tässä tapauksessa muotoa .mv2.
2. Audiosourceen valitaan kohde, josta löytyy TS-tiedoston äänidata. Tiedosto on tässä tapauksessa muotoa .mp2.
3. Output-file kohdasta määritellään hakemisto, johon TS-tiedosto tehdään ja minkä niminen siitä tulee.

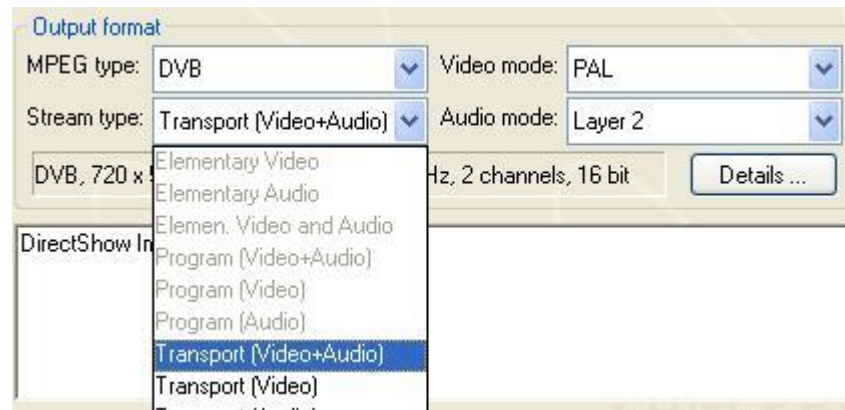


Kuva 17: MPEG enkooderin pääikkuna



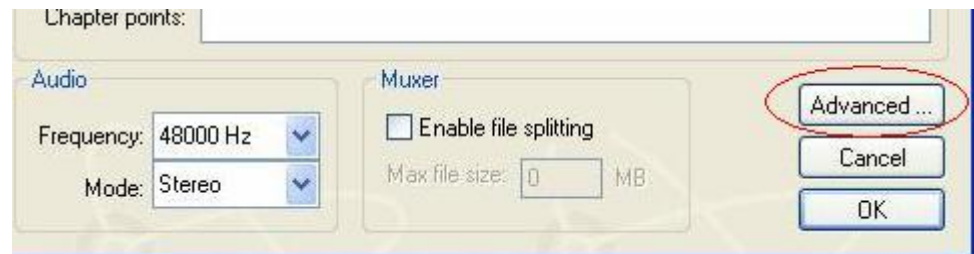
Kuva 18: MPEG type

4. Output-format kohdasta valitaan MPEG typeksi DVB.



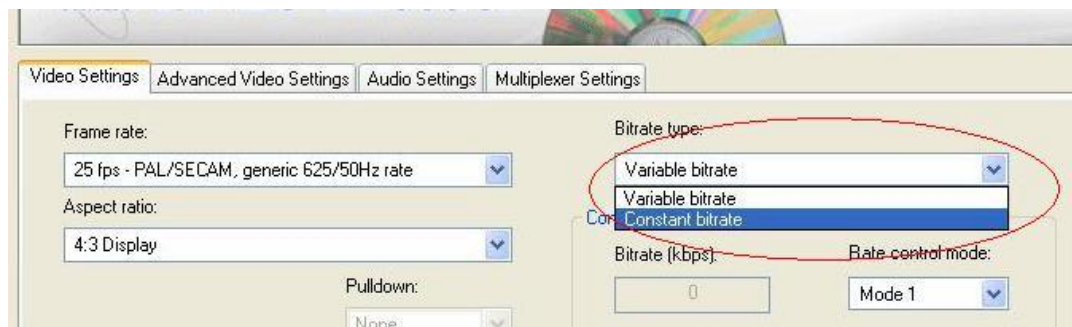
Kuva 19: Valitaan Stream type

5. Stream-type valikosta valitaan: Transport (Video+Audio).



Kuva 20: Advanced

6. Painetaan details ja sieltä advanced.



Kuva 21: Bitrate tyypin valinta

7. Valitaan bitrate kohdasta constant bitrate ja painetaan ok. Tämä vaihe on erittäin tärkeä, koska vielä toistaiseksi VBR:tea ei pystytä toistamaan DVB-T:ssä.

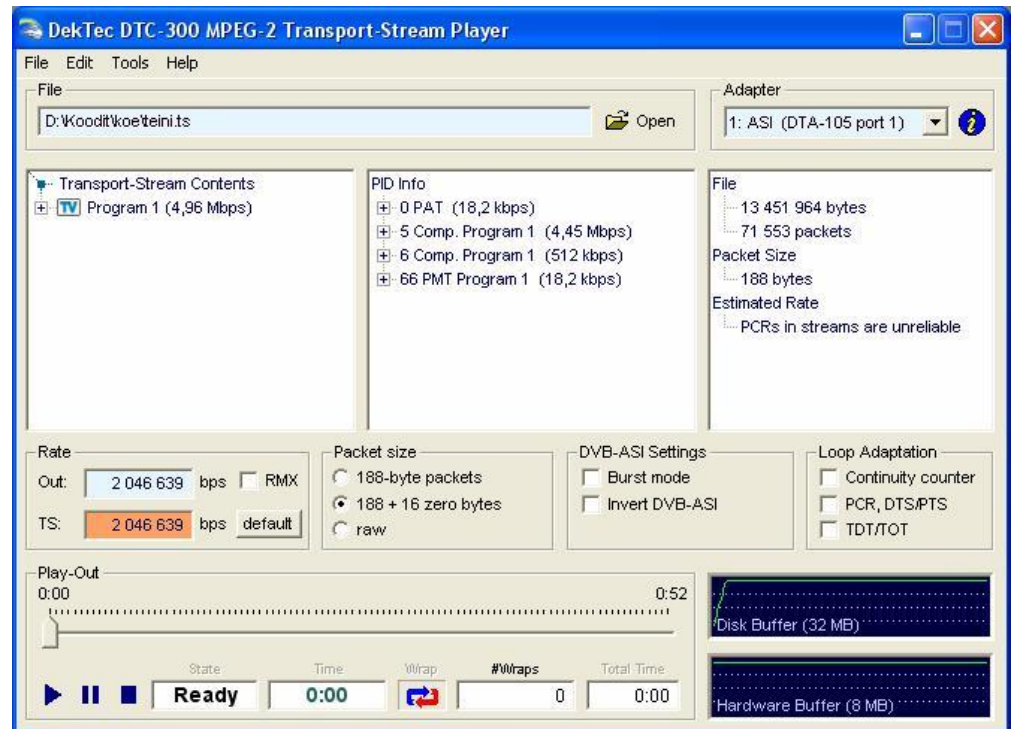
8. Päästään takaisin advanced-valikkoon, jossa ei tehdä mitään. Painetaan ainoastaan ok.

9. Tämän jälkeen painetaan convert-painiketta, ja muunnostyö käynnistyy.

10. Odotellaan hetki ja kun käänös on valmis, niin TS-tiedosto on valmis ajettavaksi.

8.4 TS-tiedoston ajaminen ASI-kortille

TS-tiedoston ulosajamiseen käytetään ASI-kortin mukana tullutta Dectekin StreamXpress-nimistä ohjelmaa. Se on erittäin helppokäyttöinen graafinen työkalu.



Kuva 22: StreamXpress-ohjelman pääikkuna

Ajettava TS-tiedosto valitaan Open-painiketta kaksoisklikkaamalla ja saadaan ajettua ulos ASI-lähdöstä painamalla play-painiketta oikeasta alakulmasta.

Jos koneessa on useampi ASI-kortti, valitaan Adapter-valikosta kortti, jota halutaan käyttää. Myös tiedoston bittinopeus on mahdollista syöttää käsin Rate-kohdasta. Tämä voidaan joutua tekemään, jos ohjelma ei automaattisesti tunnista TS-tiedoston bittinopeutta oikeaksi.

Jos TS-tiedostoa halutaan ajaa useamman kerran peräkkäin niin, ettei sitä joka kerta tarvitse manuaalisesti laittaa pyörimään, painetaan Wrap-painiketta, jolloin tiedosto lähtee automaattisesti pyörimään uudestaan sen alusta. Wrap-painikkeen oikealla puolella oleva laskuri kertoo, kuinka monta kertaa TS-tiedosto on ajettu peräkkäin.

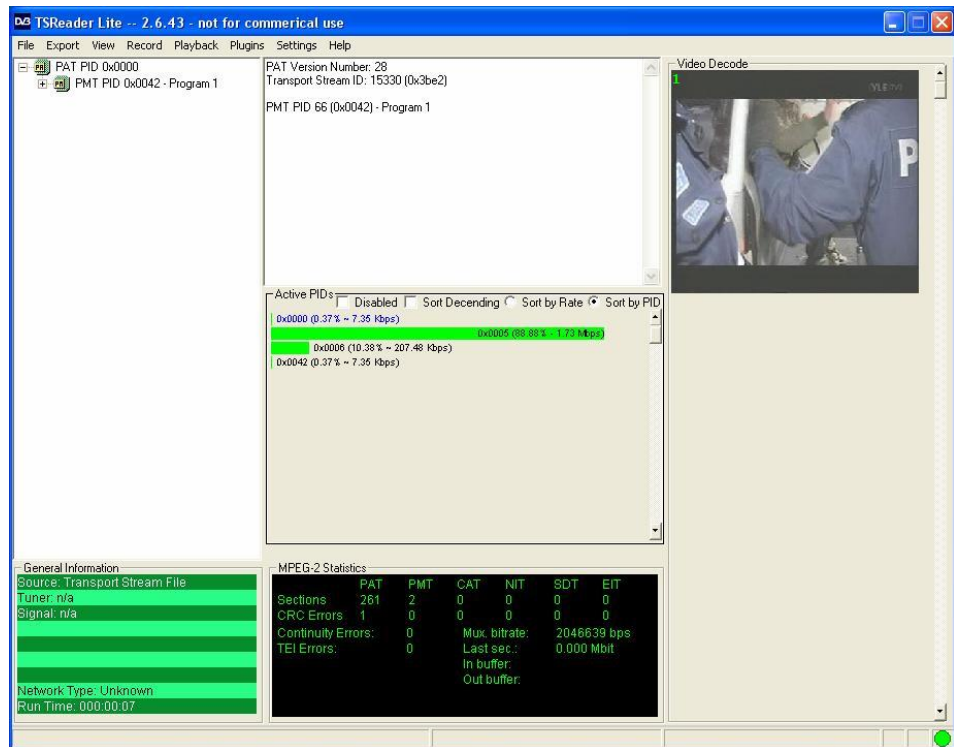
On myös mahdollista ajaa peräkkäin vain jotain tiettyä kohtaa TS-tiedostosta. Edit-valikosta löytyy Sub loop-vaihtoehto, jonka avulla tällainen silmukka voidaan luoda.

Packet-size valikosta käytetään vaihtoehtoa raw, jolloin TS-tiedosto toistetaan sen alkuperäisellä pakettikoolla.

8.5 TS-tiedoston virheiden havaitseminen

Jos TS-tiedosto ei jostain syystä tulekaan näkyviin TV-vastaanottimen ruudulle, on siinä jotain vialla. Helppo tapa lähteä selvittämään mahdollisia virheitä, on ajaa TS-tiedosto TSReaderLite-nimiseen ohjelmaan.

Ohjelma osaa kertoa, ovatko kaikki taulut mahdollisesti mukana tiedostossa ja mikä on sen oikea bittinopeus.



Kuva 23: TSReaderLite ohjelma

Kuvassa olevassa tiedostossa ei ole kaikkia tarvittavia tauluja mukana, joten se tuskin toistuisi ulos ajettaessa. Kuten MPEG-2 statistics-kohdasta näkyvät ainoat mukana olevat taulut. Näitä ovat PAT ja PMT. CRC-virhekin näyttää tiedostossa olevan. PAT-, PMT-, CAT- ja NIT-taulut ovat pakollisia DVB-T-lähetysessä.

8.6 Yhteenveto TS-streamin lähettämisestä

Jotta sain testilähetyksen vastaanotettua onnistuneesti suoritettiin seuraavat toimenpiteet:

- Modulaattorin asetukset konfiguroitiin Suomen lähetystandardeja vastaaviksi
- Kanava haettiin digisovittimeen JustDVB-it-nimisen ohjelman avulla
- TS-tiedosto luotiin käyttämällä Mainconceptin MPEG enkooderia
- TS-tiedosto ajettiin ulos Dektecin StreamXpress-nimisellä ohjelmalla.

9 PROJEKTIN KULKU

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli saada Stadian Multimedia Communications laboratoriossa sijaitseva DVB-T-järjestelmä toimimaan mahdollisimman hyvin ja vakaasti. Projekti oli aloitettu jo aikaisemmin muiden insinööriopiskelijoiden toimesta ja he olivat saaneet aikaan alustavan demolähetyksen. Itse sain tehtäväksi kehittää lähetyksjärjestelmää toimimaan vakaammin ja käyttäjäystävällisemmin.

Ensimmäiseksi tuli ongelmia ASI-kortin kanssa, joka olisi vaatinut liikaa paineutumista ohjelmointiin. Tiedostojen ulosajo tapahtui nimittäin C++-pohjaisella ohjelmalla. Ohjelman parametrien muokkaaminen olisi myös pitänyt tehdä C++:lla.

Kortti ei myöskään osoittautunut kovinkaan yhteistyökykyiseksi projektin alkuvaiheessa käytetyn VLC-mediaplayerin kanssa. Ehdotin projektia vetävälle opettajalle, että jos voisin katsella jotain toista ASI-korttia, joka olisi huomattavasti käyttäjäystävällisempi.

Koska VTT oli ollut mukana yhteistyössä jo projektin aikaisemmassa vaiheessa (heiltä löytyy sama modulaattori ja tehovahvistin OTADIGI-projektissaan). Selailin heidän nettisivustojaan. Sieltä ilmeni, että he käyttävän Dectekin ASI-korttia. Myös kontaktini Ylellä oli suositellut Dekteciä, kun olin kysellyt VLC-media playerin korvaavaa ohjelmaa.

Dectekin mukana tulisi graafinen työkalu TS-tiedostojen ulosajamiseen ja se olisi myös yhteensopiva linuxin kanssa, jos laboratorion käyttöjärjestelmää haluttaisiin joskus vaihtaa.

Dectekin kortin kanssa tiedostojen ulosajo oli helppoa, mutta kuva ei vieläkään näkynyt kunnolla ja äänenkään eivät kuuluneet. Seuraavaksi piti selvittää, onko testitiedostoissamme kaikki kunnossa.

Dectekin asiakaspalvelun avulla selvisi, että VLC-media player hukkaa äänen ja kuvan välisen synkronisoinnin. Asiakaspalvelusta, neuvottiin että bittinopeus oli syötettävä manuaalisesti ohjelmaan, jolla tiedostoa ajettiin ulos. Tämän operaation jälkeen kuva kyllä näkyi moitteitta, muuta ääntä ei kuulunut vieläkään.

Koska olimme jo tehneet yhteistyötä VTT:n kanssa, hankki opettajamme minulle sieltä yhteishenkilön, jonka kanssa ongelmaamme lähdettiin ratkaisemaan.

Heti ensimmäisessä tapaamisessa ilmeni, että VLC:stä olisi syytä hankkiutua eroon. Kyseinen ohjelma ei nimittäin osaa tehdä TS-tiedostoja käyttäen CBR-muotoa, vaan se tekee ne käyttämällä vaihtelevaa bittinopeutta VBR:tea. Nykyinen DVB-T-järjestelmämme ei tätä muotoa pysty toistamaan kunnolla.

Tämän seikan kun olisi jo projektin alkuvaiheessa ottanut selville, oltaisiin säästyty monilta ongelmilta. Luultavasti minua edeltävät opiskelijatkin olisivat päässeet parempiin tuloksiin. Kyseinen asia osoittaa, sen kuinka tärkeää käytettävien ohjelmien oikein valitseminen on.

VTT:n avustuksella aloin enkoodata TS-tiedostot Mainconceptin MPEG-enkooderilla ja tulosta alkoi syntyä. Tosin tässäkin asiassa tarvittiin hiukan tuuria ja kokeilemista.

Aluksi lähettämämme TS-tiedostot näkyivät vain tietokoneeseen liitetyn USB-digiboksin avulla. Televisio näkyi ainoastaan seuraavanlainen virheilmoitus: kanavalla ei ole ohjelmaa tai se on salattu.

Tästä virheilmoituksesta hämmästyneenä päätin kokeilla linux-pohjaisella TS-generaattorilla laitteistomme toimintaa. JustDVB-it-nimisen ohjelman avulla järjestelmämme toimi täydellisesti. Yhtenä päivänä, kun olin demoamassa laitteistoa projektia vetävälle opettajalle, huomasimme, että JustDVB-it:n avulla haetulla kanavalla kaikki Mainconceptin enkooderilla koostettu materiaali toimi täydellisesti. Sekä kuva että äänet toimivat niin kuin niiden pitikin.

Monen mutkan kautta olimme vihdoinkin saaneet laitteistomme toimimaan edes jollain tasolla siedettävästi. Vielä pitäisi hankkia ohjelma, jonka avulla saadaan TS-tiedostojen taulut editoitua kuntoon. Tämä mahdollistaisi muun muassa sähköisen ohjelmaoppaan (EPG) käytön.

Mitä minulle itselleni jäi käteen tästä projektin tarjoamasta kokemuksesta? Tämänkaltaista projektia lähdetessä toteuttamaan, on syytä varata kunnolla aikaa. Jokaisen tarvittavan laitteen valinnan kohdalla on käytettävä paljon aikaa valinnan suorittamisessa. Asiakaspalvelun olisi ainakin syytä olla kunnossa, sillä muuten menee sormi suuhun, jos laitteiden toiminnassa on jotain vialla. Myös käyttöliittymän olisi syytä olla helposti lähestyttävä, kun projektia toteutetaan oppilaiden voimin. Muuten voi käydä niin kuin tässä projektissa eli komponenttejä joudutaan vaihtamaan.

Myös käytettäviä ohjelmia kannattaa testaila, varsinkin jos käytetään shareware-ohjelmia. Aina halvin vaihtoehto ei olekaan paras. Tässä kohtaa "asiantuntijoiden" apu on joskus korvaamatonta. Jos jollain ohjelmalla ei päästäkään haluttuun ja toimivaan lopputulokseen, voidaan kysyä neuvoa asiaan. Ilman VTT:n apua minulla olisi saattanut vielä kulua aikaa, jotta olisin saanut laitteistomme kuntoon.

10 YHTEENVETO

Tässä työssä käsiteltiin DVB-T-standardia ja siihen liittyvää MPEG-2 pakkausmetodia. MPEG-2-standardista käsiteltiin seuraavia aiheita: transport streamin rakenne, multipleksaaminen ja psi/si-datan taulut. Koska DVB-T ja MPEG-2 ovat suhteellisen vanhoja standardeja, oli tietoa aiheista helposti saatavilla.

Työssä käsitellään myös digitaalisen lähetysyksikön laitteiston rakennetta ja toimintaa, alkaen TS:iä ulosajavasta serveristä päättyen digisovittimeen.

Työ toteutettiin suurimmalta osin käytännön tasolla Helsingin ammattikorkeakoulun laboratoriossa.

Insinööriyön päätavoitteena oli saada Stadian laboratorion DVB-T-lähetysjärjestelmä toimimaan paremmin ja vakaammin. Jotta tähän tavoitteeseen päästiin, jouduttiin laboratoriossa tekemään seuraavanlaisia muutoksia:

- ASI-kortti vaihdettiin parempaan malliin. ASI-korttia käytetään kuljettamaan MPEG-2 transport striimejä serveriltä modulaattorille.
- TS-tiedostojen enkoodaukseen tarkoitettu ohjelma vaihdettiin VLC-media playeristä Mainconceptin MPEG encoderiin. VLC ei kyennyt enkoodaamaan tiedostoja CBR- muotoon.
- TS-tiedostojen ulosajamiseen käytettävä ohjelma vaihdettiin ASI-kortin mukana tulleeseen StreamXpressiin.

Työn lopputuloksena saatiin aikaan opas siitä, kuinka on mahdollista lähettää omaa kuvamateriaalia televisioon digitaalista lähetystekniikkaa hyväksikäyttäen.

Jotain parannettavaa projektin suhteen vielä jäi. Laboratorioon tulisi hankkia ohjelma, jolla PSI/SI-taulut saataisiin sisällöltä oikeanlaisiksi. Tällöin ei olisi enää luultavasti tarve käyttää JustDVB-it:ä. Myös tehovahvistimen toiminta olisi syytä testata

VIITELUETTELO

- [1] Wikipedian artikkeli MPEG-2 [WWW-dokumentti, viitattu 20.5.2007].
< <http://fi.wikipedia.org/wiki/MPEG-2>>,
- [2] Wikipedian artikkeli Asynchronous serial interface [WWW-dokumentti, viitattu 24.5.2007]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Asynchronous_serial_interface>,
- [3] Karl Paulsen, Media Server Technology [WWW-dokumentti, viitattu 24.5.2007]
<http://www.tvtechnology.com/features/Media-Server-Tech/f_media_server.shtml>, 2003,
- [4] O'Leary, Seamus, Understanding Digital Terrestrial Broadcasting. London: Artech House, 2000,
- [5] Benoit, Herve, Digital Television MPEG-1, MPEG-2 and principles of the DVB system – second edition, 2002 ,
- [6] Brice, Richard, Newnes Guide to Digital TV – second edition, 2003,
- [7] DVB Fact Sheet – April 2007 [WWW-dokumentti, viitattu 22.07.2007]
<http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-T%20Fact%20Sheet.0407.pdf>, 2007.
- [8] Marjola Riikka, Using a DVB-H Modulator for Transmitting Continuous Multimedia Stream to a Mobile Terminal. Insinööriyö, Helsingin ammattikorkeakoulu, (2006).

