

Pasi Toiva

DIGITAALI-TV-PÄÄTELAITTEIDEN TESTAUSYMPÄRISTÖ

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Kandidaatintutkielma
Maaliskuu 2023

TIIVISTELMÄ

Pasi Toiva: Digitaali-tv-päätelaitteiden testausympäristö
Kandidaatintutkielma
Tampereen yliopisto
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Maaliskuu 2023

Digitaalitelevisiopäätelaitteiden ominaisuudet ja hyväksyntätestaus ovat määritelty kansainvälisesti useassa eri päätelaite- ja testausmäärittelyissä. Tällaisia määrittelyjä ovat mm. NorDig Unified Requirements ja Unified Requirements of DVB-C and DVB-T2 digital receivers for the Finnish market. Näissä dokumenteissa on määritelty päätelaitteen tärkeimmät ominaisuudet, kuten virittimen herkkyys ja häiriönsieto, TV-kanavien signalointi, kuvan ja äänen dekodaus, tekstitys ja signalointimuutoksiin reagointi sekä ulkoiset liitynnät. Näiden vaatimusten testaamiseksi on kehitetty testausmäärittelyt, jotka sisältävät n. 100–300 testitapausta, joissa on yhteensä useita tuhansia testitapahtumia. Testien automatisointi on ensiarvoisen tärkeää testaamiseen käytetyn ajan ja tehokkuuden kannalta.

Tässä kandidaatintutkielmassa kuvataan toteutusta, jolla testataan päätelaitteen toimivuutta ja siihen liittyvien testisignaalien generoinnin ja varioinnin automatisointia käyttäen XML-kuvausta. Tutkielman tarkoituksena on esitellä digitaalitelevisiojärjestelmää yleisellä tasolla, kuvata päätelaitteiden testaamisen haasteita sekä esitellä suunnitelma toteutuksesta, jolla voidaan toteuttaa testisignaalien generointi ja variointi hallitusti.

Tämän kandidaatintutkielman tuloksena toteutettiin ohjelmistokokonaisuus, jolla voidaan muokata olemassa olevia testisignaaleja automaattisesti käyttäen XML-pohjaisia konfigurointitiedostoja.

Avainsanat: digitaalitelevisio, päätelaitetestaus, XML-kuvaus.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO.....	1
2.	TELEVISIO- JA TESTAUSJÄRJESTELMÄT.....	2
2.1	Digitaalitelevisiolähetysverkon palvelurakenne	2
2.2	Digitaalitelevision ohjelmapalvelutiedot.....	4
2.3	Digitaalitelesioverkko- ja päätelaitemäärittelyt.....	5
2.4	Digitaalitelesiopäätelaitteiden testaaminen	6
2.5	Testausmenetelmät ja –laitteistot.....	7
2.5.1	Laitteistovaatimusten testaaminen	8
2.5.2	Ohjelmistovaatimusten testaaminen.....	9
3.	TESTAUSJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS	12
3.1	Suunnittelun taustaa	12
3.2	Toteutettavan järjestelmä.....	13
3.3	Testitapausten hallinta ja muokkaus	14
3.4	Testitapausten ryhmittely ja versiointi	15
4.	YHTEENVETO	18
	LÄHTEET.....	19

LYHENTEET JA MERKINNÄT

DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-C	Digital Video Broadcasting – Cable
DVB-S	Digital Video Broadcasting – Satellite
DVB-S2	Digital Video Broadcasting – Satellite system, second generation system
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial system
DVB-T2	Digital Video Broadcasting – Terrestrial system, second generation system
EIT	Event Information Table
EITp/f	Event Information Table, present/following tables
IDTV	Integrated Digital TV
iDTV	integrated Digital TV (IRD with display)
LCN	Logical Channel Number
MPEG	Moving Pictures Expert Group
MPTS	Multi Programme Transport Stream
NIT	Network Information Table
PAT	Program Association Table
PCR	Programme Clock Reference
PES	Programme Elementary Stream (regarding MPEG)
PID	Packet Identifier
PMT	Program Map Table
PSI	Program Specific Information
PTS	Presentation Time Stamp
RF	Radio Frequency
SDT	Service Description Table
SDTV	Standard Definition Television
SI	Service Information
SPTS	Single Programme Transport Stream
STB	Set-top box (IRD without display)
SW	Software
TS	Transport Stream
TV	Televisio
TV	Television
UHDTV	Ultra High Definition Television
XML	Extensible Markup Language

1. JOHDANTO

Digitaalitelevisiopäätelaitteiden ominaisuudet ja hyväksyntätestaus ovat määritelty useassa eri päätelaite- ja testausmäärittelyissä. Näissä dokumenteissa on kuvattu digitaali-TV-päätelaitteen tärkeimmät ominaisuudet, kuten virittimen herkkyys ja häiriönsieto, TV-kanavien signalointi, kuvan ja äänen dekodaus, tekstitys ja signalointimuutoksiin reagointi sekä ulkoiset liittymät. Näiden vaatimusten testaamiseksi on kehitetty testausmäärittelyt, jotka sisältävät n. 100–300 testitapausta, joissa on yhteensä useita tuhansia testitapahtumia. Testien automatisointi on ensiarvoisen tärkeää testaamiseen käytetyn ajan ja tehokkuuden kannalta.

Tässä kandidaatintutkielmassa suunnitellaan ohjelmatietosignaloinnin testaamisen ja siihen liittyvien testisignaalien generoimisen automatisointia ja niiden varioinnin toteuttamista.

Ratkaisussa on tarkoituksena käyttää testitapausten kuvauksessa rakenteellista XML-pohjaista määrittelyä, jonka avulla jokainen yksittäinen testitapausten vaatima signalointi kuvataan ja sen perusteella generoidaan tarvittavat lähetysvirtaa simuloivat signaalit testaamista varten. Simuloitu signaali voidaan myös tallentaa lähetysvirtatiedostona, jota voidaan käyttää myöhemmin signaloinnin testaamisessa päätelaitteessa.

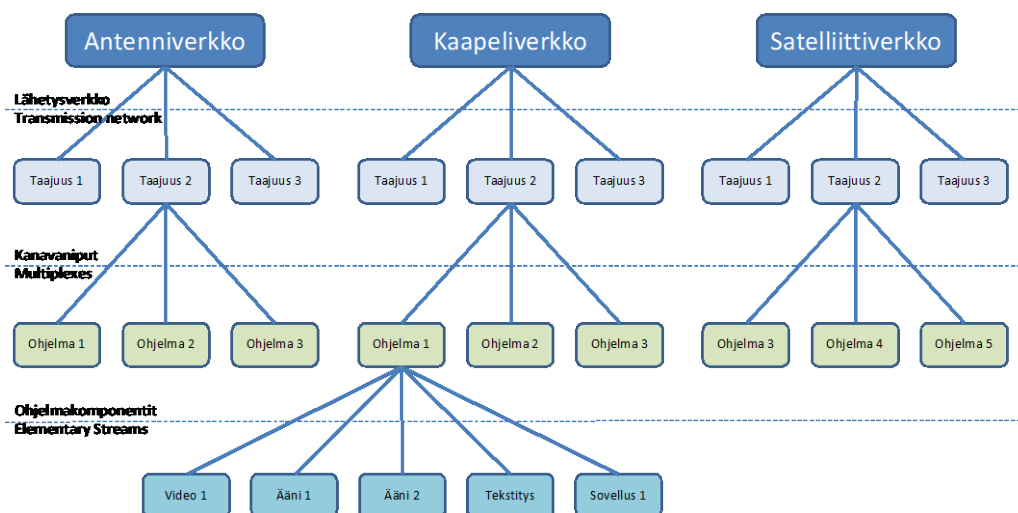
Luvussa 2 esitellään digitaalitelevisiojärjestelmiä ja testauksen taustaa sekä testausmenetelmiä. Luvussa 3 käsitellään ratkaisun taustaa sekä sen toteutusta testausympäristössä ja luvussa 4 on yhteenveto ja jatkokehityssuunnitelmat valitulle toteutukselle.

2. TELEVISIO- JA TESTAUSJÄRJESTELMÄT

2.1 Digitaalitelevisiolähetysverkon palvelurakenne

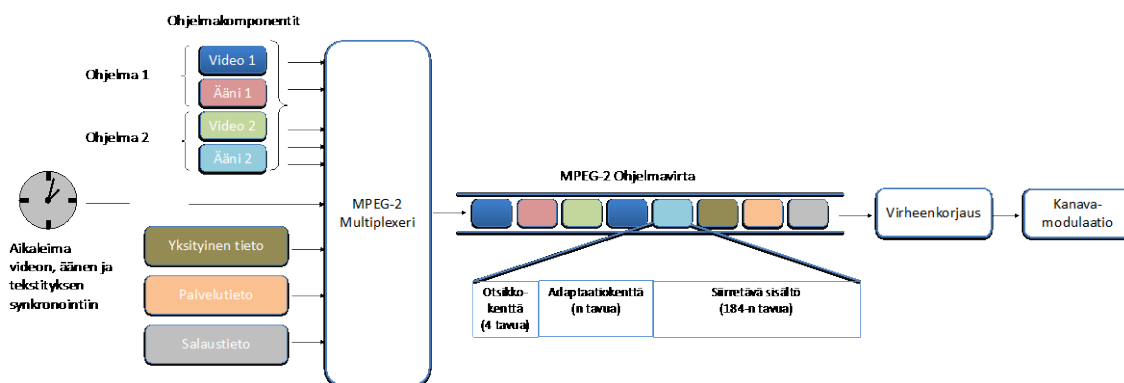
Digitaalitelevisiojärjestelmien kautta välitetään TV-ohjelmia käyttäen maanpäällistä, kaapeli- tai satelliittijakeluverkkoa. Nämä TV-ohjelmat voivat olla normaalitarkkuudella (Standard Definition, SDTV), teräväpiirtotarkkuudella (High Definition, HDTV) tai Ultra HD –tarkkuudella (Ultra High Definition, UHD).

Digitaalitelevisiojärjestelmä koostuu useasta toiminnallisesta kerroksesta, jotka muodostavat lähetysvirran jakeluverkkoon. Jakeluverkossa TV-ohjelmat ovat ryhmitelty kanavanipuiksi eli multiplekseksi (MUX). Kanavanipun fyysisenä kerroksena on MPEG-2 –bittivirta eli transport stream (MPEG-TS). Kanavanippu muodostuu tyypillisesti useasta TV-kanavasta, jotka muodostuvat yhdestä tai useasta ohjelmakomponenteista (Elementary Stream). Kuva 2-1 esittää DigiTV-järjestelmän palvelurakennetta korkealla tasolla.



Kuva 2-1 Digitaalitelevisioverkon palvelurakenne (mukaien [6])

Tavallisesti digitaalitelevisio-ohjelma koostuu useasta ohjelmakomponentista, jotka lähetetään TV-kanavalle tarkoitetulla taajuudella samassa kanavanipussa yhdessä muiden TV-kanavien kanssa. Ohjelmakomponenttien määrä vaihtelee eri TV-kanavien tai jopa TV-ohjelmien välillä. Kuvassa 2-2 on ohjelmavirran periaatekuvaus.



Kuva 2-2 Ohjelmavirran periaatekuvaus (mukaillen [6])

Ohjelma digitaalitelevision yhteydessä TV:n käyttäjälle yleensä tarkoittaa yksittäistä ohjelmaa, kuten tv-uutiset, Urheiluruutu tai Napakymppi. Näillä ohjelmilla on yleensä määrätty lähetysaika. MPEG-2 -ohjelmavirrassa ohjelma tarkoittaaakin yhtä lähetettävää kanavaa tai palvelua, kuten TV1, TV2 ja Nelonen. Ohjelma koostuu yhdestä tai useammasta ohjelmakomponentista.

Ohjelmakomponentti eli alkeisvirta on nimitys kanavan yksittäiselle komponentille, joka on digitaalisesti koodattu. TV-ohjelmassa on yleensä vähintään neljä komponenttia, kuva ja ääni sekä teksti-tv- ja tekstitysdata. Tosin nykyisin tyypillinen HD- tai UHD-ohjelma koostuu esimerkiksi seuraavista komponenteista: video, ääni 1 (kieli 1), ääni 2 (kieli 2), tilääni 1 (kieli 1), tilääni 2 (kieli 2), HoH-ääni (Hard of Hearing), tekstitys 1 (kieli 1), tekstitys 2 (kieli 2), tekstitys 3 (kuvailu/kuulovammaisten tekstitys), ohjelmatiedot (EPG/ohjelmaopas), sovellus 1 ja sovellus 2 sekä teksti-televisio.

MPEG-2-Multiplexeri muodostaa sisään tulevista alkeis- ja datavirroista yhtenäisen DVB-MPEG-2 -ohjelmavirran, joka muodostuu tyypillisesti 188 tavua pitkistä paketeista. Muodostettu MPEG-2 -ohjelmavirta on yleensä bittinopeudeltaan kiinteä. MPEG-2-multiplekseristä tullessaan ohjelmavirrassa ei ole tietoa virheen korjauksesta tai lähetyksen modulaatiosta. Nämä operaatiot tehdään multipleksoinnin jälkeen.

Palvelutieto sisältää DVB-ohjelmavirran taulut, joissa on yksityiskohtaiset lähetyksen parametrit ja tiedot multipleksin sisältämien ohjelmien komponenteista. Komponenttietoa voi sisältää esimerkiksi "kanavan" nimen, kuva- ja äänikomponenttien sijainnin ja määrän, ohjelman nimen ja sen alkamis- ja kestoajan sekä lyhyen kuvauksen ohjelman sisällöstä.

Salaustieto lisätään ohjelmavirtaan, jos halutaan estää vapaa pääsy kaikkiin TV-palveluihin. Palvelun kaikki komponentit voidaan salata. Salauksessa käytettävät algoritmit ovat yleensä MPEG- ja DVB-standardeissa määriteltyjä, mutta ne voivat olla laitevalmistajien määrittelemiä.

Aikaleimaa tarvitaan varmistamaan palveluun liittyvien alkeisvirtojen synkronointiin päätelaitteessa.

Yksityinen data on ohjelman lähettäjän määrittelemä datavirta, joka sisältää muun muassa teksti-tv:n tai muiden sovellusten sisältöä. [2][3]

2.2 Digitaalitelevision ohjelmapalvelutiedot

DigiTV-järjestelmissä käytetään yllä kuvatun systeemin hallintaan ja signalointiin metatietoa, josta käytetään nimitystä ohjelmapalvelutiedot eli Service Information (DVB-SI). DVB-SI kuvaa TV-järjestelmän kanavaniput, kanavanippujen sisällön ja niiden ohjelmakomponenttien käytön palvelussa. DigiTV-päätelaitteet osaavat tulkita tätä metatietoa muodostaessaan käyttäjälle näkyvät kanavat ja niihin liittyvät tiedot.

Ohjelmapalvelutiedot (DVB-SI) sisältävät kahdentyyppistä tietoa: PSI- (Program Specific Information) ja SI-metadataa (Service Information). PSI-tieto sisältää lähinnä palveluihin ja niiden rakenteeseen liittyvää metadataa ja SI-tietoa käytetään ohjelmajakeluketjun hallintaan.

DVB-SI on jaettu ryhmiin, joita kutsutaan tauluiksi (Table). Jokaiselle taululle on varattu oma tunniste PID (Packet Identification), jonka avulla vastaanotin löytää kyseisen taulun lähetyvirrasta. Taulut voidaan jakaa sektioihin (sections) ja niitä voi olla useita. Sektion parametrit lähetetään standardissa määriteltynä peräkkäisenä listana, joka muistuttaa ohjelmistokieliä silmukkaa. Käyttäen silmukkaa voidaan monimutkaisia taulurakenteita ja sisällyttää niihin paljon tietoa. Esimerkkinä voidaan käyttää TV-ohjelmatietoa (Event Information), jossa TV-lähetyksen mukana voidaan lähettää yli 7-päivän ohjelmakartta kaikille ohjelmille, joita on kyseisessä jakeluverkossa. TV:n käyttäjälle tämä näkyy ns. sisäänrakennettuna ohjelmaoppaana (Electronic Program Guide, EPG), jossa saattaa olla esimerkiksi 100 TV kanavan kaikki ohjelmatiedot eli 2000-2500 yksittäisen ohjelman nimi, kesto, alkamisaika ja kuvas ohjelmasisällöstä.

Ohjelmajärjestelytiedot muodostuvat seuraavista PSI-tauluista: PAT (Program Association Table), PMT (Program Map Table) ja CAT (Conditional Access Table) sekä SI-tauluista: NIT (Network Information Table), SDT (Service Description Table), EIT (Event Information Table), TDT (Time and Date Table) ja TOT (Time Offset Table). Kaikkien taulujen rakenne ja käyttötarkoitus on määritelty MPEG-2 systeemistandardissa [7] tai DVB-standardeissa [2][3].

Kukin taulu lähetetään lähetyksivirran mukana muutaman sekunnin välein ja niiden sisältö saattaa muuttua lähetyksien välillä. Tämä on signaloitu kyseisen taulun versionumerossa. Versionumeroa tarkkailemalla päätelaite tietää, että kyseinen taulu on muuttunut ja päätelaite voi reagoida kyseiseen muutokseen.

2.3 Digitaalitelevisioverkko- ja päätelaitemäärittelyt

DigiTV-verkkojen ja –pätelaitteiden määrittely on hierarkkinen kokonaisuus, joka muodostuu kansainvälisistä ISO- ja DVB-standardeista sekä paikallisista sovellutuksista kyseisistä standardeista. ISO ja DVB-standardit voidaan ajatella olevan niin sanottuja työkalupakkeja (Toolbox), josta eri maiden määrittelyihin voidaan valita soveliaimmat ominaisuudet ja käyttää niitä paikallisen määrittelyn tekemiseen. Tämä on johtanut siihen, että eri maissa saattaa olla käytössä hieman erilainen määrittely ja siten päätelaitteet eivät välttämättä ole yhteensopivia maiden välillä. Lisäksi määrittelyjä saatetaan päivittää tarvittaessa verkkojen tai sisältöjen sitä vaatiessa.

Joissain maissa on päätetty tehdä yhteistyötä naapurimaiden kanssa ja tästä hyvänä esimerkkinä on NorDig-työryhmä, joka on julkaissut jo vuodesta 1998 lähtien avoimia määrittelyjä päätelaitteille ja lähetyksiverkoille. NorDig-työryhmään kuuluu edustajia Suomesta, Norjasta, Ruotsista, Tanskasta sekä Irlannista. Edustajat työskentelevät pääsääntöisesti joko verkko-operaattorilla tai TV-kanavilla. NorDig-ryhmän tavoitteena on luoda jäsenien välille yhtenäinen määrittely (NorDig Unified Requirements for Integrated Receiver Decoders for use in cable, satellite, terrestrial and IP-based networks [8]), jota käytetään kaikissa jäsenmaissa. Tavoite on onnistunut osittain, koska jäsenmaissa on kuitenkin omat määrittelyt, mutta ne pohjautuvat yhteiseen NorDig-määrittelyyn. Maiden erilaiset lähetyksiverkot ja esimerkiksi kielivaatimukset ovat johtaneet

siihen, että jokaisessa maassa on olemassa pieniä variaatiota yhteisestä määrittelystä. Jokainen maa pyrkii minimoimaan nämä erot.

Suomessa on määritelty yhteiset vaatimukset maanpäälliselle ja kaapeliverkoille, mutta satelliittiverkot eivät ole tässä määrittelyssä mukana. Suomen päätelaitemäärittely on nimeltään “Unified Requirements of DVB-C and DVB-T2 digital receivers for the Finnish market” [10]. Tämän lisäksi Suomessa on verkkojen Rules Of Operations –määrittely sekä päätelaitteen testitapaukset. Näissä dokumenteissa määritellään vain erot Suomen ja NorDig-määrittelyjen välillä.

2.4 Digitaalitelevisiopäätelaitteiden testaaminen

Suomessa käytettäville DigiTV-päätelaitteille on luotu testausjärjestelmä, joka läpäisseille laitteille voidaan antaa logo yhteensopivuudesta. Tätä prosessia hallinnoi Tietoliikenteen ja tietotekniikan keskusliitto FiCom ry. Kuvassa 2-3 on FiComin myöntämät logot hyväksytyille päätelaitteille.



Kuva 2-3 Suomessa myönnettävät logot päätelaitteiden yhteensopivuudesta

FiComin hallinnoima testausprosessi perustuu Finnish Unified –määrittelyihin, joka puolestaan viittaavat NorDig-määrittelyihin. Näissä määrittelyissä on yksityiskohtaisesti esitetty vaatimukset päätelaitteen ominaisuuksille ja näihin vaatimukseen vastaavat testitapaukset. Määrittelyt ja testitapaukset jaotellaan seuraaviin kokonaisuuksiin:

A. Laitteistovaatimukset

1. Viritin (Front-End)
2. MPEG-2 dekodaus (MPEG-2 demultiplexer)
3. Video (Video)
4. Ääni (Audio)
5. Teletext ja tekstitys (Teletext and Subtiling)
6. Liitynnät ja signaalitasot (Interfaces and Signal Levels)
7. Salausjärjestelmä (Interfaces for Conditional Access)

8. Ohjelmistopäivitys (System Software Update)
9. Suorituskyky (Performance)

B. Ohjelmistovaatimukset

1. Ohjelmapalvelutiedot (Service Information)
2. Laitteen peruskäyttöliittymä ja ohjelmaopas (Navigator)
3. Ohjelmien tallennus (PVR Feature)
4. Järjestelmäohjelmisto ja sovellusrajapinta (System Software and API)
5. Käyttäjäasetukset (User Preferences)

Testausprosessin toteuttajaksi FiCom on valinnut kaksi suomalaista laboratoriota, jotka testaavat päätelaitteet määrittelyjen mukaisesti. Tässä työssä etsitään vaihtoehtoja toisen laboratorion testausjärjestelmän kehittämiseksi.

2.5 Testausmenetelmät ja –laitteistot

Digitalitelevisiotestauksessa ei ole olemassa valmiita testausjärjestelmiä, joilla olisi helppoa toteuttaa testaus monipäätelaitteympäristössä. Tavoitteena on testata useita eri valmistajien laitteita ilman, että ne vaativat jokaiselle päätelaitteelle aikaa vievää testien tai testitapausten räätälöintiä. Tästä syystä monet nykyiset digitaalitelevisiotestaukseen keskittyvät yritykset käyttävät hybridiratkaisuja, joissa osa testeistä on automatisoitu ja osa suoritetaan semi-automatisoidusti tai testaajan toimesta "käsini" käyttäen yrityksessä toteutettuja valmiita ohjelmavirtaa simuloivia pienoislähettimeitä ja niihin liittyviä konfiguraatio- ja transport stream -tiedostoja.

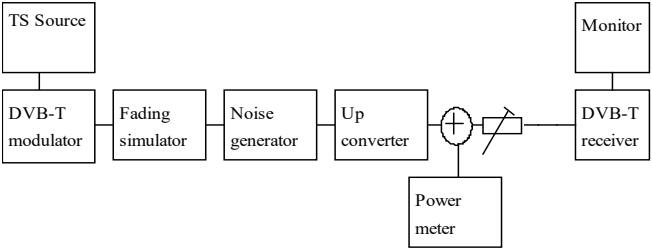
Päätelaitetestit voidaan kahteen pääryhmään, jotka ovat laitteistovaatimusten ja ohjelmistovaatimusten testaaminen. Tosin nykyisin raja laitteisto- ja ohjelmistomaisuuksien testaamisen välillä on hämärtynyt, koska yhä useammat laitteet on toteutettu niin sanottuja SoC (System on a Chip)-järjestelmiä käyttäen ja iso osa ominaisuuksista on toteutettu ohjelmistojen avulla. Tätä taustaa vasten voidaan silti ajatella, että laitteistovaatimusten testaamisessa suuressa osassa on televisiopäätelaitteissa virittimen ominaisuudet sekä ulkoisten liityntöjen testaaminen.

Ohjelmistovaatimusten testaamisessa tärkeässä roolissa on ohjelmapalveluiden sekä peruskäyttöliittymän validointi siten, että ne toteuttavat määrittelyissä olevat minimiominaisuudet. Tällaisia ovat esimerkiksi tekstityksen toteuttaminen, ohjelmatietojen näyttäminen sekä kielivalinnat äänelle ja tekstitykselle.

Päätelaitetestauksella pyritään myös varmistamaan, että laite toimii myös lähetyksen muutostilanteissa sekä määrittelyssä olevien tulevien lähetysominaisuuksien kanssa. Näistä esimerkkinä voidaan mainita UHD-palvelut tai AC-4-koodatut ääniraidat. Kyseisiä palveluita ei ole tällä hetkellä lähetyksissä, mutta ne on testattu päätelaitteissa. Tällaisia palveluja on odotettavissa päätelaitteen eliniän aikana ja siksi ne on kirjattu pakollisina ominaisuuksina vaatimusmäärittelyissä.

2.5.1 Laitteistovaatimusten testaaminen

TV-päätelaitteiden laitteistovaatimusten testaamisessa pyritään varmistamaan laitteen toiminta määrittelyjen mukaisesti ja osassa testeissä selvitetään ja mitataan laitteen todelliset ominaisuudet testisignaali-generaattoreilla. Tällaisia ovat esimerkiksi virittimen RF-ominaisuuksien testit, joissa määritellään virittimen toiminnan raja-arvot ja verrataan niitä määrittelyyn vaatimukseen. Virittimen testeissä esimerkiksi määritetään laitteen minimi- ja maksimisignaaliset häiriönsietokyky muille signaaleille sekä lähetyksien ja erilaisten modulaatioiden vaikutus vastaanottokykyyn. Alla on esimerkki testitapauksen määrittelystä NorDig-spesifikaatiossa.

Test Case	Task 3:21 Performance: Minimum receiver signal input levels on Gaussian channel
Section	NorDig Unified 3.4.10.4
Test procedure	<p>Purpose of test: To verify the sensitivity of the receiver on Gaussian channel over the supported frequency range.</p> <p>Equipment:</p>  <pre> graph LR TS[TS Source] --> DVB_T_Mod[DVB-T modulator] DVB_T_Mod --> Fading[Fading simulator] Fading --> Noise[Noise generator] Noise --> Up[Up converter] Up --> Sum((+)) Power[Power meter] --- Sum Sum --> DVB_T_Rec[DVB-T receiver] DVB_T_Rec --> Monitor[Monitor] </pre> <p>Be careful in impedance matching of cables, adapters and etc.</p>

	<p>Test procedure for the sensitivity on the gaussian channel:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Set up the test instruments 2. Use the following DVB-T mode {8K, 64QAM, R=2/3, $\Delta/T_U=1/8$} and signal bandwidth 8MHz. 3. Set the up-converter to frequency 474MHz (K21). 4. Measure the input level to the attenuator. 5. Determine the attenuation of the attenuator and the cables. 6. Calculate the receiver input signal. 7. Do the channel search. 8. Increase the received input level from low value to higher value until the quality measurement procedure 2 (QMP2) is fulfilled. 9. Fill in the measured value in the measurement record. 10. Repeat the test for the rest of the frequencies, DVB-T modes and signal bandwidths on measurement record. <p>Expected result:</p> <p>Sensitivity shall be equal or better for all measured frequencies (channels) and for all DVB-T modes and signal bandwidths as specified in Table 3.13.</p>
--	---

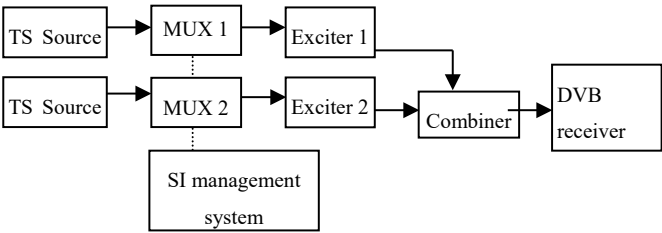
Kuva 2-4 NorDig RF-testitapaus minimisignaalityson mittaamiseksi

Yllä olevan testitapauksen mukaisen mittauksen toteuttamiseksi tarvitaan testiympäristö, jossa on mm. signaaligeneraattori, joka pystyy simuloimaan eri lähetysmodulaatiota ja säätämään tarkasti signaalin tasoa sekä laitteisto, joka tarkkailee TV-kuvassa esiintyviä virheitä.

2.5.2 Ohjelmistovaatimusten testaaminen

TV-laitteet ohjelmistovaatimusten testaaminen kattaa kaikkien muiden ominaisuuksien testaamisen, joka ei ole osana laitteistovaatimuksia. Näihin ominaisuuksiin kuuluvat muun muassa ohjelmapalvelutietojen, peruskäyttöliittymän, tekstityksen ja äänen valinnan toteuttaminen, kielivalinnat sekä käyttäjäasetuksien testaaminen.

Ohjelmistovaatimusten testaamiseen käytetään useimmiten valmiiksi koodattuja lähetysvirtatiedostoja, joilla simuloidaan todellisissa TV-verkoissa olevia signaaleja. Näiden lähetysvirtatiedostojen sisällöt ja toiminnallisuus on määritelty eri testaussuunnitelmissa. Alla on esimerkki NorDig-määrittelyssä olevasta testitapauksesta, jossa testataan laitteen kykyä havaita lähetysverkossa tapahtuvia muutoksia.

Test Case	Task 14:20 Quasi-static update of service list from NIT_actual for non-existing multiplexers / transport streams
Section	NorDig Unified 12.1 and 13.2.4
Test procedure	<p>Purpose of test: To verify that the IRD is able to update the service list automatically by doing it quasi-statically or dynamically.</p> <p>Equipment:</p>  <pre> graph LR TS1[TS Source] --> MUX1[MUX 1] TS2[TS Source] --> MUX2[MUX 2] SI[SI management system] -.-> MUX1 SI -.-> MUX2 MUX1 --> Exc1[Exciter 1] MUX2 --> Exc2[Exciter 2] Exc1 --> Comb[Combiner] Exc2 --> Comb Comb --> DVB[DVB receiver] </pre> <p>NOTE: Assumption in the transport stream NIT_actual is that it has not the TS_id signaled for the added multiplexer.</p> <p>Test procedure:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Set up the system, start with only Mux1 output (with at least one service) and verify the Mux1 transport stream contains a NIT_actual with which lists only the TS1/Mux1 and its services with the logical_channel_descriptor and include relevant delivery descriptor (original_network_id in operating range and TS_id=0x1). 2. Do a reinstallation of the IRD 3. Verify IRD has all services from Mux1 in its service list (and a service from following steps is not stored in the service list.) 4. Turn off the IRD 5. Add Mux2 signal to the output (with at least one service). Mux 1 and Mux2 shall be signaled to belong to same network (same network_id). Mux1 NIT_actual shall now list both Mux1 and Mux2 in the ts_loop, in the ts loop of Mux1 it shall list the Mux1 services within logical_channel_descriptor and in the ts loop of Mux2 it shall list the Mux2 services within logical_channel_descriptor (i.e. in Mux1 NIT_actual add signaling about Mux2). Similar for Mux2 NIT actual its shall list both Mux1 and Mux2. 6. Turn on IRD. 7. Verify how (turn on or switch off) the IRD updates the changed data in the service list. 8. Fill in the test results how the updates are done. 9. Verify the IRD at least displays an information message to end-user stating a new scan is required or do a re-scan in the network. 10. Verify that the new service from the new multiplex is added to the service list.

Kuva 2-5 Ohjelmisto-ominaisuuden esimerkkitestitapaus

Tässä testitapauksessa laitteen tulisi havaita automaattisesti, että verkkoon on lisätty yksi uusi kanavanippu ja asentaa siinä olevat kanavat automaattisesti tai ilmoittaa käyttäjälle, että lähetysverkossa on tapahtunut muutoksia ja uusi kanavahaku on suoritettava.

Testisignaalien toteuttaminen vaatii testisignaali-generointiympäristön, jolla voidaan luoda haluttuja video-, audio- ja signaalintesisältöä MPEG2-

ohjelmavirtaan. Tähän tarvitaan video- ja audiosisältöjä sekä signalointiin tarvittavaa metatietoa, jonka avulla voidaan generoida määritellyt ohjelmavirrat eli kanavaniput.

Ohjelmavirrat suunnitellaan esimerkiksi yllä olevan testitapauksen mukaisesti siten, että niihin generoidaan tarvittavat video-, ääni- ja tekstityskomponentit sekä lisätään tarvittavat PSI/SI-signalointitiedot eli PSI/SI-taulut, esimerkiksi PAT, PMT, NIT, SDT ja EIT-taulut. Kuvassa 2-6 on esimerkki yhden palvelun PMT-taulusta XML-koodattuna.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<teststream>
  <PMT version="5" current="true" service_id="0x0834" PCR_PID="0x083D">
    <!-- PID 0x0834 (2100) -->
    <component elementary_PID="0x083C" stream_type="0x03">
      <ISO_639_language_descriptor>
        <language code="fin" audio_type="0x00"/>
      </ISO_639_language_descriptor>
    </component>
    <component elementary_PID="0x083D" stream_type="0x02"/>
  </PMT>
</teststream>
```

Kuva 2-6 PMT-taulun XML-kuvaus

Tämä taulun perusteella päätelaite osaa yhdistää palvelun lähetysvirran komponentit yhdeksi palveluksi, joka tässä esimerkissä muodostuu kahdesta komponentista, MPEG-1 Layer 2-ääni- ja MPEG-2-videokomponentista. Lisäksi on määritelty, että ääni on suomenkielinen. Taulussa on myös muuta tietoa, joka kertoo muun muassa taulun versionumeron, palvelun tunnisteen sekä videon ja äänen synkronointiin tarvittavan aikakoodin sijainnin.

Jokaiselle testitapaukselle luodaan määrittelyn mukaisesti yksi tai useita kanavanippua, joilla voidaan testata päätelaitteen toiminta kyseistä vaatimusta ja testitapausta vastaan. Kokonaisen määrittelyn testaamiseen tarvitaan noin 150–200 testikanavanippua, jotka ovat erilaisia eri määrittelyissä. Usean maan määrittelyiden testaaminen vaatii satoja jopa tuhansia erilaisia testikanavanippuja.

3. TESTAUSJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS

3.1 Suunnittelun taustaa

Tässä kandidaatintutkielmassa etsittiin ratkaisua testiohjelmavirtojen automaattiseen generointiin ja versiointiin. Tällaisen järjestelmän toteuttamisella pyritään automatisoimaan kappaleessa 2.5.2 kuvattujen testisignaalien generointi ja niiden versiointi eri maihin suuntautuviissa testikokonaisuuksissa. Pyrkimyksenä oli käyttää jo olemassa olevia työkaluja tai esitellä mahdollisuus käyttää niin sanottuja open source -ratkaisuja. Tutkittaessa erilaisia vaihtoehtoja haettiin mahdollisimman joustavaa tapaa määrittellä ohjelmavirrat.

Hong et.al. [5] tutkivat mahdollisuutta käyttää XML-tekniologiaa ilmaisiverkossa, jossa oli monentyyppisiä laitteita, jotka eivät käyttäneet yhtenäistä konfigurointimäärittelyä. Heidän tutkimuksensa mukaan XML sopii erittäin hyvin kyseiseen toteutukseen ja paransi järjestelmän avoimuutta merkittävästi.

Hailli et.al. [4] puolestaan tutkivat hajautetun tuotannonohjausjärjestelmän versiopäivitysten toteuttamista ja varmistamista Java-ohjelmistokielellä toteutetun konfigurointi- ja asennustyökalun avulla. Työkalu käyttää XML-kuvausta konfiguraatioiden määrittelyssä ja heidän tutkimuksensa mukaan järjestelmän käyttö vähensi huomattavasti ylläpitohenkilöiden konfigurointiin käyttämää työaikaa ja konfiguroinnissa tapahtuneita virheitä.

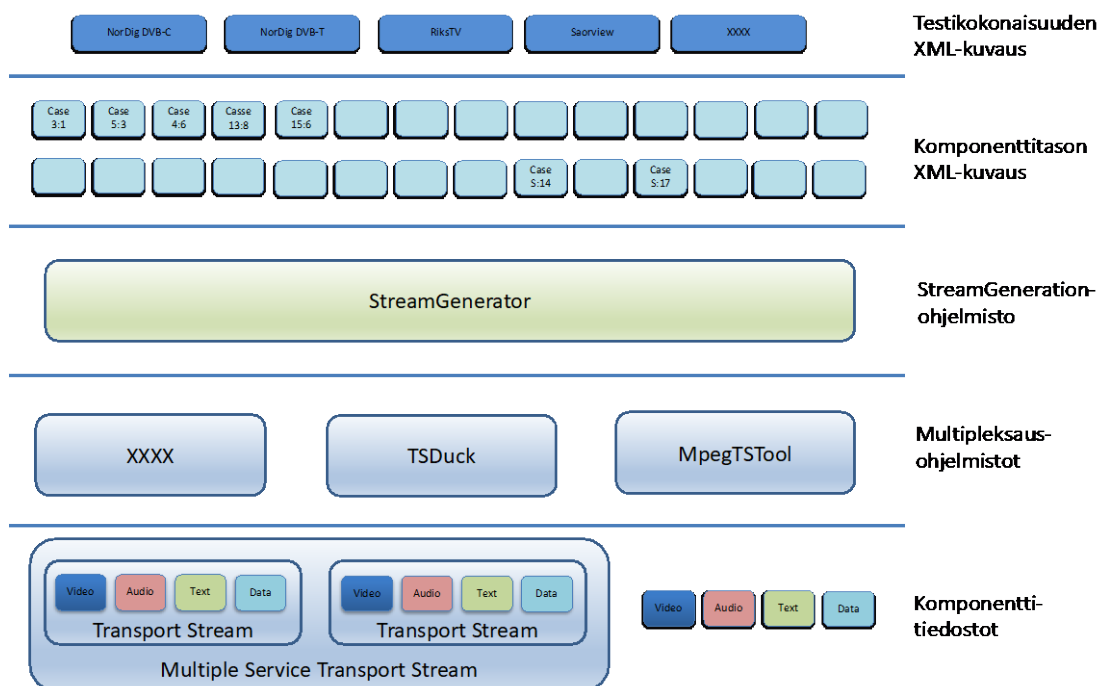
Joustava simulointiympäristön toteutus, joka perustui avoimeen jaettuun yhteiseen dataan eri järjestelmien välillä, oli Sunderland et.al. [9] tutkimuksen lähtökohta. Kyseisen tutkimuksen perusteella he pystyivät konfiguroimaan yksinkertaisilla XML-kuvauksilla simulointiohjelmiston toteuttamaan halutut simuloinnit muuttamatta itse simulointia.

Aikaisempien tutkimusten perusteella XML-kuvaus olisi joustavaa ja käyttäjäystävällistä. Tässä tutkielmassa toteutettava kokonaisuus muodostui kolmesta eri osa-alueesta: testikokonaisuuksien määrittelystä, yksityiskohtaisesta testiohjelmavirtojen määrittelystä ja ohjelmistokokonaisuudesta, jolla testiohjelmavirrat generoidaan. Toteutuksessa päätettiin ottaa käyttöön XML-kuvaus testikokonaisuuksien ja yksittäisten

ohjelmavirtojen määrittelyssä sekä toteuttaa Python-ohjelmisto, jolla voidaan generoida halutut ohjelmavirrat.

3.2 Toteutettavan järjestelmä

Toteutettava järjestelmä olettaa, että tarvittavat video-, ääni- ja muut ohjelmasisällöt on jo valmiiksi generoitu eri työkaluja käyttäen ja ne ovat ohjelmavirtatiedostoina käyttävissä. Nämä ohjelmavirtatiedostot voivat olla yksittäisiä komponenttivirtoja (elementary stream), usean komponentin tai yhden palvelun sisältäviä ohjelmavirtoja (transport stream) tai usean palvelun sisältäviä ohjelmavirtoja (multiple service transport stream). Järjestelmä yhdistää halutut ohjelmakomponentit ja liittävät niihin tarvittavat signaointitiedot. Alla olevassa kuvassa on periaatteellinen kuvaus toteutettavasta järjestelmästä.



Kuva 3-1 Periaatteellinen kuva järjestelmästä

Tässä kandidaatintutkielmassa keskityttiin yllä olevan kuvan kolmeen ylimpään kerrokseen: testikokonaisuuksien ja komponenttitason XML-määrittelyjen sekä StreamGeneration-ohjelmiston suunnitteluun. Komponenttitason XML:n avulla kuvataan yhtä testitapausta varten generoitua ohjelmavirtaa. Testikokonaisuus, eli kokonaisen määrittelyn testitapaukset, muodostuu useasta ohjelmavirrasta. Ohjelmavirrat vastaavasti muodostuvat useasta komponentista.

3.3 Testitapausten hallinta ja muokkaus

Tämän järjestelmän toteutuksessa päädyttiin ratkaisuun, jossa yhden testivaiheen toteuttamiseen tarvittavat komponentit ja niiden signalointi-informaatio on yhdessä XML-kuvauksessa. Alla olevassa kuvassa on osa konfigurointi- ja signalointi-informaatiosta, jota käytetään testitapausten yhden vaiheen testaamiseen tarvittavan kanavanipun generointiin.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<teststream task="NorDig 5:6" name="Variable Bitrate Elementary Streams" phase="1" defaultsettings="default2">
  <PAT version="1" current="true" transport_stream_id="" network_PID="0x0010">
    <!-- PID 0x0000 (0) -->
    <service service_id="0x0834" program_map_PID="0x0834"/>
    <service service_id="0x0898" program_map_PID="0x0898"/>
    <service service_id="0x08FC" program_map_PID="0x08FC"/>
  </PAT>
  <NIT version="1" current="true" network_id="" actual="true">
    <!-- PID 0x0010 (16) -->
    <network_name_descriptor network_name="">
    <transport_stream transport_stream_id="" original_network_id="" preferred_section="0">
      <terrestrial_delivery_system_descriptor centre_frequency="" bandwidth="" priority="" no_time_slicing="" no_MPE_FEC="" constellation="" hierarchy_information=""
code_rate_HP_stream="" code_rate_LP_stream="" guard_interval="" transmission_mode="" other_frequency="">
    <private_data_specifier_descriptor private_data_specifier="NorDig"/>
    <nordig_logical_channel_descriptor_v1>
      <service service_id="0x0834" logical_channel_number="1" visible_service="true"/>
      <service service_id="0x0898" logical_channel_number="2" visible_service="true"/>
      <service service_id="0x08FC" logical_channel_number="3" visible_service="true"/>
    </nordig_logical_channel_descriptor_v1>
    <service_list_descriptor>
      <service service_id="0x0834" service_type="0x01"/>
      <service service_id="0x0898" service_type="0x01"/>
      <service service_id="0x08FC" service_type="0x01"/>
    </service_list_descriptor>
  </transport_stream>
</NIT>
  <SDT version="1" current="true" transport_stream_id="" original_network_id="" actual="true">
    <!-- PID 0x0011 (17) -->
    <service service_id="0x0834" EIT_schedule="false" EIT_present_following="false" CA_mode="false" running_status="running">
      <service_descriptor service_type="0x01" service_provider_name="Labwise" service_name="Test21"/>
    </service>
  ...
</SDT>
  <PMT version="1" current="true" service_id="0x0834" PCR_PID="0x083D" tsfile="Task_0506.ts">
    <!-- PID 0x0834 (2100) -->
    <component elementary_PID="0x083C" stream_type="0x03" esfile="">
      <ISO_639_language_descriptor>
        <language code="default1" audio_type="0x00"/>
      </ISO_639_language_descriptor>
    </component>
    <component elementary_PID="0x083D" stream_type="0x02" esfile="">
  </PMT>
  ...
</teststream>
```

Kuva 3-2 Konfiguraatio- ja signaloitisesimerkki

Tämän esimerkin tietojen perusteella ohjelmisto generoi testikanavanipun testitapausta "NorDig 5:6 Variable Bitrate Elementary Streams" varten. Kyseisessä kanavanipussa on kolme palvelua: kanavanumerot 1: "Test21", 2:

”Test22” ja 3: ”Test23”. Kanavat generoidaan vastaamaan maanpäällisenverkon signalointia ja ääniraitojen kielenä on default1 eli suomi. Tämän testitapauksen kanavanipun ääni-, video- jne. komponentit ovat jo valmiiksi multipleksatussa tiedostossa, johon liitetään signalointitieto. Muissa testitapauksissa voidaan generoida koko kanavanippu yksittäisistä komponenttiedostoista. Halutessa voidaan muuttaa oletustietoja ja saadaan helposti generoitua testitapaus toisille kielille, toiseen verkkoon ja jopa toiseen maahan sopivaksi ilman, että itse testitapauksen asetuksia muutetaan.

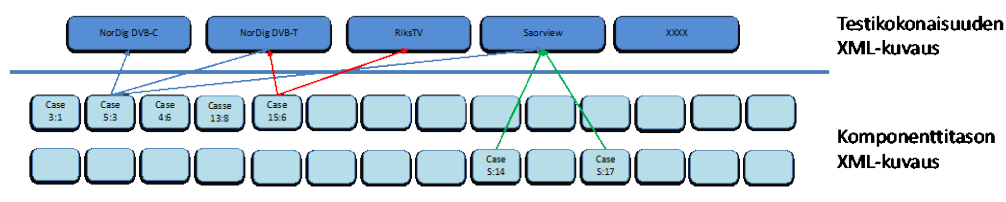
Testitapausta voidaan muuttaa muokkaamalla XML-kuvausta vastaamaan esimerkiksi muuttunutta vaatimusta. Yksinkertainen muutos voisi olla esimerkiksi sellainen, että muutetaan testitapauksen kanavanumerointia. Silloin yllä olevan esimerkin kanavan Test21 kanavanumeron muuttaminen tapahtuu muokkaamalla alla olevan esimerkin rivillä olevaa ”logical_channel_number” arvoa:

```
<service service_id="0x0834" logical_channel_number="1" visible_service="true"/>
```

Testitapausten määrittely käyttämällä XML-kuvausta, jota pystyy lukemaan ja muokkaamaan lähes millä tahansa editointityökalulla ja se on ihmiselle ymmärrettävää, helpottaa huomattavasti testitapausten muuttamista ja uusien suunnittelua. Lisäksi se, että yksi XML-kuvaus sisältää koko testitapauksen määrittelyn, helpottaa testitapausten hallintaa.

3.4 Testitapausten ryhmittely ja versiointi

Yksittäinen testitapaus saattaa kuulua yhteen tai useampaan testikokonaisuuteen. Testitapauksen signalointi ei kuitenkaan ole välttämättä samanlainen kaikissa testikokonaisuuksissa. Alla olevassa kuvassa on esimerkki miten eri testitapaukset kuuluvat eri testikokonaisuuksiin.



Kuva 3-3 Testitapausten ryhmittely testikokonaisuuksiin

Kuvassa 3-3 olevassa esimerkissä testitapaus Case 5:3 kuuluu kolmeen eri testikokonaisuuteen: NorDig DVB-C-, NorDig DVB-T- ja Saorview-testeihin. Testitapauksen signalointi ei kuitenkaan ole samanlainen näissä kokonaisuuksissa. Esimerkiksi NorDig DVB-C ja DVB-T tapauksissa kielinä käytetään suomea ja ruotsia, mutta käytettävä modulaatio ja siten myös signalointi on eri. NorDig DVB-C sisältää kaapeliverkon signaloinnin ja NorDig DVB-T maanpäällisen verkon signaloinnin. Saorview-signalointi puolestaan on maanpäällinen, mutta kohdemaana on Irlanti ja siten kohdeverkon tunniste on eri kuin NorDig DVB-T-signaloinnissa. Lisäksi kielet Saorview-signaloinnissa ovat irlanti ja gaeli.

Tästä syystä päädyttiin ratkaisuun, jossa toteutetaan testikokonaisuuden kuvaaminen XML:n avulla sekä tuomalla oletusasetukset yksittäisten testitapauksien määrittelyyn. Oletusasetusten perusteella voidaan tuoda yksittäisen testitapauksen asetuksiin kyseisen testikokonaisuuden oletusasetukset muun muassa verkkomäärittelyihin sekä käytettäviin kieliin äänessä ja tekstityksessä. Alla on esimerkki NorDig DVB-T-oletusasetuksista.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<configuration>
  <name="NorDig DVB-T/T2"/> <version="3.1.2"/>
  <default_settings>
    <network>
      <mux1 network_name="Labwise TestNet" original_network_id="0x20f6" network_id="0xBABE" transport_stream_id="1"/>
      <mux2 network_name="Labwise TestNet" original_network_id="0x20f6" network_id="0xACDC" transport_stream_id="2"/>
    </network>
    <modulation>
      <mux1 centre_frequency="650,000,000" bandwidth="8MHz" priority="HP" no_time_slicing="true" no_MPE_FEC="true" constellation="64-QAM"
      hierarchy_information="0" code_rate_HP_stream="7/8" code_rate_LP_stream="7/8" guard_interval="1/32" transmission_mode="8k" other_frequency="false"/>
      <mux2 centre_frequency="666,000,000" bandwidth="8MHz" priority="HP" no_time_slicing="true" no_MPE_FEC="true" constellation="64-QAM"
      hierarchy_information="0" code_rate_HP_stream="7/8" code_rate_LP_stream="7/8" guard_interval="1/32" transmission_mode="8k" other_frequency="false"/>
    </modulation>
    <language>
      <default1 language_code="fin"/>
      <default2 language_code="swe"/>
      <default3 language_code="eng"/>
    </language>
  </default_settings>
</configuration>
```

Kuva 3-4 Esimerkkikuvaus testitapauksen oletusasetuksista XML-muodossa

Kuvan 3-4 esimerkissä on määritelty, että käytettävissä oletusasetuksissa on kaksi kanavanippua, joiden taajuudet ovat 650 ja 666 MHz, verkon tunnisteet ovat 0x20F6 (Suomen maanpäällinen verkko) sekä 0xBABE ja 0xACDC. Verkon nimi on Labwise TestNet ja oletus kielinä ovat suomi, ruotsi ja englanti. Jos halutaan

muuttaa esimerkiksi kohdeverkkoa, se vaihdetaan muuttamalla `original_network_id`-arvoa vastaamaan kohdeverkon tunnistetta ja generoimalla uudet kanavaniput.

Testikokonaisuudet on määritelty myös XML-kuvauksella, jossa on kuvattu kaikki testitapaukset, jotka kuuluvat kyseiseen testikokonaisuuteen ja missä testitapaukset on määritelty. Alla olevassa kuvassa on lyhyt esimerkki osasta testikokonaisuuden määrittelevästä XML-kuvauksesta.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<testkit>
  <name ="NorDig DVB-T/T2"/>
  <version="3.1.2"/>
  <settings="NorDig_DVB_T_settings.xml"/>
  <testcase testtask="5:6" name="Variable Bitrate elementary Streams">
    <configuration="Nordig_0506.xml"/>
  </testcase>
  <testcase testtask="5:7" name="Mixture of services types">
    <configuration="Nordig_0507.xml"/>
  </testcase>
  ...
  ...
</testkit>
```

Kuva 3-5 Esimerkki testikokonaisuuden kuvauksesta

Tässä esimerkissä DVB-T/T2-testikokonaisuus muodostuu kahdesta testitapauksesta ”5:6 Variable Bitrate elementary Streams” ja ”5:7 Mixture of services types”. Oletusasetukset ovat tiedostossa `NorDig_DVB_T_settings.xml` ja testikokonaisuuden versionumero 3.1.2.

Järjestelmästä toteutettiin pilottiohjelmisto Python-ohjelmistokielellä, jolla voitiin varmistaa XML-kuvauksen toimivuus signaalien generoinnissa. Lisäksi saatiin tutkittua niin sanotun open source -ohjelmiston toimivuutta tässä kokonaisuudessa valitsemalla käytettäväksi ohjelmistopohjaiseksi multiplexeriksi TSDuck Toolkit. Tutkielman aikana haettiin myös ratkaisuja olemassa olevien testitapausten signalointitietojen ja ohjelmavirtojen analysointiin ja automaattiseen XML-tiedon generointiin.

4. YHTEENVETO

Tässä tutkielmassa tarkasteltiin digitaalitelevisiopäätelaitteiden testausympäristön automatisointia ja sen osakokonaisuuden toteutusta. Digitaal-TV-päätelaitteiden testaamisessa haasteena on lähetyksen simulointi. Lisäksi erilaisia testitapauksia on paljon. Myöskään nykyiset työkalut eivät tue joustavaa toteutusta testisignaalien generoinnissa.

Tutkielmassa päätettiin suunnitella järjestelmä, joka olisi joustavampi ja sen käyttö olisi tehokkaampaa testi-insinööreille. Ratkaisuna päädyttiin käyttää XML-pohjaista kuvausta testikokonaisuuksille ja yksittäisille testitapauksille. XML-kuvauksen perusteella voidaan hallita yksittäisiä testitapauksia sekä testikokonaisuuksia ja generoida haluttuja testisignaaleja käytettäväksi testeissä. Myös testitapausten versiointi uusiin testimäärittelyihin on helpompaa ja hallitumpaa. Järjestelmästä toteutettiin pilotti, jolla voidaan generoida haluttuja testikokonaisuuksia.

Jatkotutkimuksen aiheita ovat järjestelmän suunnitteleminen ja toteuttaminen usealle eri multipleksausohjelmistolle sekä play-out -järjestelmän suunnittelu ja toteuttaminen. Play-out -järjestelmällä voidaan muodostaa suoraan RF-signaali halutuista testitapausten XML-kuvauksesta käyttäen pienoislähettimejä. Lisäksi järjestelmään voitaisiin luoda käyttöliittymä, jolla voidaan hallita pienoislähettimien asetuksia.

LÄHTEET

- [1] D-Book – Digital Television Requirements for Interoperability, Version 9, November 2016, Digital TV Group
- [2] ETSI EN 300 468 V1.16.1: Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems (2019).
- [3] ETSI TS 101 211 V1.12.1: "Digital Video Broadcasting (DVB); Guidelines on implementation and usage of Service Information (SI)" (2013).
- [4] Hailli, Wu, Gong Renbin, and Wang Congbin. "Research and Application of Java Auto-Configuration and Deployment Tool Based on XML Metadata." *Telkomnika* 13.3 (2015): 1062–1068. Web.
- [5] Hong, Xiaobin, Guixiong Liu, and Jianlong Xu. "Dynamic Interpretation Method of XML Configuration Strategy for IP Mode Measurement and Control System." *Advanced Materials Research*. Vol. 139–141. N.p., 2010. 2537–2541. Web.
- [6] Ikonen Ari (2009). *Teräväpiirtotelevisio*, ISBN: 978-952-92-6406-3
- [7] ISO/IEC 13818: "Part 1 Systems – describes synchronization and multiplexing of video and audio." (2016)
- [8] NorDig Unified Requirements for Integrated Receiver Decoders, Version 3.0 November, 2017 (<https://nordig.org/wp-content/uploads/2017/12/NorDig-Unified-Requirements-ver.-3.0.pdf>)
- [9] Sunderland, R. M., R. I. Damper, and R. M. Crowder. "Flexible XML-Based Configuration of Physical Simulations." *Software, practice & experience* 34.12 (2004): 1149–1155. Web.
- [10] Unified Requirements of DVB - C and DVB - T2 digital receivers for the Finnish market, Version 4.1, January 2018

(https://cdn.sofiadigital.fi/ficom/Finnish_Unified_IRD_Specifications_Ver_4.1.pdf)