



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TOMMI IISAKKALA
OPTISEN TIEDONSIIRRON LIITTÄMINEN AVIONIIKAN
TESTIJÄRJESTELMÄÄN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Karri Palovuori
Tarkastaja ja aihe hyväksytty Tieto-
ja sähkötekniikan tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 4.2.2015

TIIVISTELMÄ

TOMMI IISAKKALA: Optisen tiedonsiirron liittäminen avioniikan testijärjestelmään
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 46 sivua
Marraskuu 2015
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Pääaine: Sulautetut järjestelmät
Tarkastaja: professori Karri Palovuori
Avainsanat: avioniikka, kuitukanava, optinen kuitu, optinen tiedonsiirto

Tässä diplomityössä selvitetään Insta ILS Oy:n mahdollisuudet luoda mahdollinen testauskyky Upgraded Solid State Recorder (USSR) lentotallentimen kuitukanavalle. USSR vastaanottaa soveltuvin osin FC-AV-standardin mukaista videota.

FC-AV-standardissa määritellään neljä tiedonsiirtokerrosta, jotka ovat osittain verrattavissa OSI-mallin tiedonsiirtokerroksiin. FC-AV-standardissa video siirretään paketeissa, jotka sisältävät kehyksiä. Yksi datapaketti pitää sisällään yhden videon kuvan. Kehysten määrä vaihtelee riippuen videon parametreista.

Toteutuksessa valittiin yksi kaupallinen kuitukortti, jolla luotiin mahdollisuus tallentaa videota USSR:lle. Samalla kehitettiin kuitukaapeli USSR:n ja kuitukortin välille. Toteutuksessa käytetty ohjelma muokattiin kuitukortin valmistajan toimittamasta esimerkkiohjelmasta.

ABSTRACT

TOMMI IISAKKALA: Implementation of Optical Data Transmission as a Part of Avionic Test System

Tampere University of Technology

Master's thesis, 46 pages

November 2015

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

Major: Embedded Systems

Examiner: professor Karri Palovuori

Keywords: Avionics, Fibre Channel, Optical Fibre, Optical Communication

This Master's thesis conducts research on the ability of Insta ILS Oy to create a possible testing method for the fibre channel of Upgraded Solid State Recorder (USSR). The USSR receives video based on the FC-AV-standard.

The FC-AV-standard defines four transform layers which are partially comparable with the transform layers of the OSI-model. The FC-AV-standard transfers the video in containers. One container comprises of one image of the video. The information in the container is further divided to frames. The amount of frames depends on the format of the video.

One commercial fibre module was chosen for the implementation and the ability to record video to USSR through fibre channel was developed. The fibre cable between USSR and the fibre module was created during the implementation. The manufacturer of the fibre module provided the example software which was modified to this particular use case.

ALKUSANAT

Optinen tiedonsiirto ei ollut minulle tuttu aihe ennen tätä työtä. Tietotaitoni aiheesta kasvoi työn aikana valtavasti ja oli mukava perehtyä asiaan, joka työssä konkretisoitui toteutuksen muodossa.

Haluan kiittää työnantajaani Insta ILS Oy:tä saamastani mahdollisuudesta tehdä diplomityöni yrityksessänne. Kiitän myös työtovereitani, jotka auttoivat työn tekemisessä sen kaikissa vaiheissa. Erityisesti työtovereistani haluaisin kiittää työni ohjaajaa Hannu Pohjanpäätä sekä projektin vetäjää Miikka Hakamäkeä.

Suurimmat kiitokset kuuluvat kuitenkin vaimolleni Tarulle, joka on auttanut minua jaksamaan opiskeluiden ja diplomityön tuottamat paineet ja tuskat.

Tampere, 19.11.2015

Tommi Iisakkala

SISÄLLYS

1. Johdanto	1
2. Optinen kuitu	3
3. Laitteisto	9
3.1 Testattavat laitteet	9
3.2 Testilaitteisto	10
3.2.1 CASS-asetat	10
3.2.2 ID	11
4. Tiedonsiirto	13
4.1 Kuitukanava	13
4.1.1 FC-0 Fyysinen kerros	13
4.1.2 FC-1 Code	15
4.1.3 FC-2 Protokolla	17
4.2 FC-AV	20
4.2.1 Datan paketointi	20
4.2.2 FC-4 Frame Header Control Protocol	24
5. Toteutusmahdollisuuden selvitys	26
5.1 Toteutusmahdollisuuksien vaatimukset	26
5.2 Valmiit toteutusmahdollisuudet	27
6. Toteutus	29
6.1 Mini PCIe	29
6.2 Kuitukaapeli	30
6.3 Laiterajapinta	33
6.4 Ohjelmisto	33
6.5 Testiohjelma	34
7. Tulokset	39
8. Yhteenveto	42
Lähteet	44

KUVAT

2.1	Kuitukaapelin rakenne. Muokattu lähteestä [31, s. 2].	4
2.2	Valon heijastuminen ja taittuminen. Muokattu lähteestä [12].	4
2.3	Valon eteneminen moni- ja yksimuotokuidussa. Muokattu lähteestä [32, s. 222].	5
2.4	Valotehon häviäminen ja sen mahdollinen väärin tulkitseminen.	5
2.5	Dispersion aiheuttama valopulssin leveneminen ja sen mahdollinen väärin tulkitseminen.	6
3.1	MFCASS ja RTCASS -testiasemat. [30, 33]	11
3.2	ID ja testikaapeleita. Muokattu lähteestä [30].	11
4.1	8B/10B enkoodaus. Muokattu lähteestä [16].	15
4.2	Juokseva pariteetti kuvattuna tilakoneena [16].	16
4.3	Välittäjäsilmutopologia. Muokattu lähteestä [24].	18
4.4	Kytkinverkkotopologia. Muokattu lähteestä [24].	19
4.5	Point-to-Point-topologia. Muokattu lähteestä [24].	19
6.1	Finisar FTLF8519P2BTL SFP.	31
6.2	Amphenol CF-198036-010 -kuitupinni.	31
6.3	Kuitukaapelin liittimet: ylempänä D38999/26JC4PNLC-liitin, alempana LC-liitin.	32
6.4	Prototyypikuitukaapelin testausympäristö.	33
6.5	Laiterajapinta.	33
6.6	Kuitukortin ohjelman vuokaavio.	35
6.7	RGP565 kuvan tavujen vaihto, valmistajan Y esimerkkikoodia varten.	37

TAULUKOT

4.1	Ennalta sovitut viestit ja viestiketjut. Muokattu lähteestä [23].	17
4.2	FC-AV kehyksen sisältö ja vakioarvot	21
4.3	FV-AV standardin mukainen paketin otsikko ilman ylimääräistä otsikonlaajennusta.	22
4.4	Objekti 0:n data ja datan sijainti paketissa.	23
4.5	Esimerkki 1: 480x480 mono -videokuva.	23
4.6	Kehyksen otsikon parametrit ja datan sijainti paketissa.	24
6.1	BMP-tiedoston otsikot RGB888-formaatista ja RGB565-formaatissa. .	37
7.1	Tarvittava laitteisto USSR:n kuitukanavan testausta varten.	39
7.2	Tarvittavat kaapelit ja liittimet USSR:n kuitukanavan testausta varten. Ensimmäisessä sarakkeessa esitetään laitteet, joiden välille kaapelit tulevat.	40

LYHENTEET JA MERKINNÄT

alipikseli	pikselin osa, esimerkiksi yksi pikselin väreistä
ATE	<i>Automatic Test Equipment</i> , testilaite, joka suorittaa testejä ennalta määrättyllä tavalla
ATLAS	<i>Abbreviated Test Language for All Systems</i> , Ohjelmointikieli
CASS	<i>Consolidated Automated Support System</i> , automaattinen testiasema
dielektrinen	sähköä johtamatonta ainetta
douppaus	aineeseen lisätään toista ainetta, jotta sen optiset ominaisuudet muuttuvat
duplex	kaksisuuntainen yhtäaikainen tiedonsiirto
EOF	<i>End of Frame</i> , kehyksen lopetustavu
FC	<i>Fibre Channel</i> , kuitukanava
FC-AV	<i>Fibre Channel - Audio Video</i> , tiedonsiirtoformaatti
FHCP	<i>Frame Header Control Protocol</i> , kehyksen otsikoinnin määrittely
Gbps	<i>Giga Bits per Second</i> , tiedonsiirrossa käytettävä nopeuden yksikkö
HD-video	<i>High Definition Video</i> , korkearesoluutioinen video
ID	<i>Interface Device</i> , liityntäpaneeli testiaseman ja testattavan laitteen välillä
IDPC	<i>Interface Device Personal Computer</i> , ID:n sisällä oleva teollisuus-PC
LED	<i>Light Emitting Diode</i> , valoa tuottava puolijohde
metadata	lähetettävää dataa tukeva data
MFCASS	<i>Mainframe Consolidated Automated Support System</i> , ATE-asema
modulointinopeus	johtosignaalin numeronopeus
OSI-malli	<i>Open Systems Interconnection model</i> , tiedonsiirrossa käytettävä malli
pariteetti	merkitsee enkoodatun luvun tilojen yksi ja nolla määrää
RMM	<i>Removable Memory Moduley</i> , irroitettava ja vaihdettava muistimoduuli
RTCASS	<i>Reconfigurable Transportable Consolidated Automated Support System</i> , ATE-asema
SFP	<i>Small Form-Factor Pluggable</i> , Optisen datan lähetin/vastaanotin

SOF	<i>Start of Frame</i> , kehyksen aloitustavu
SPDV	<i>Simple Parametric Digital Video</i> , FC AV:ssa käytetty datan pakkaus
USSR	<i>Upgraded Solid State Recorder</i> , lentodatan tallennin
WRA	<i>Weapons Replaceable Assembly</i> , vaihdettavissa oleva asejärjestelmän laite

1. JOHDANTO

Insta ILS Oy on Suomen johtava avioniikkalaitteiden ja järjestelmien kunnossapitopalveluiden toimittaja. Se huolehtii avioniikkalaitteista aina kokonaisesti järjestelmiin asti koko niiden elinkaaren ajan. Insta ILS Oy:llä tehdään avioniikkalaitteille testauksen ja huollon lisäksi myös tuotekehitystä.

Insta ILS Oy on luonut laitetestit laitteille Upgraded Solid State Recorder (USSR) ja Removable Memory Module (RMM). Näiden laitteiden käyttötarkoitus on tallentaa lennonaikaista dataa. Dataa voidaan tallentaa käyttäen eri kanavia, joista yksi on kuitukanava. Optisen kuidun kautta kulkee videodataa, jota USSR tallentaa RMM:lle. Insta ILS Oy:n luomat laitetestit eivät ennen tätä työtä testanneet USSR:n videotallennusta kuitukanavasta. Tässä diplomityössä on tarkoitus selvittää Insta ILS Oy:n etenemistapa ja toteuttaa alustava malli, jolla otetaan käyttöön USSR:n kuitukanava ja luoda sille mahdollinen laitetesti.

Tavoitteena on luoda selkeä kokonaisuus tarvittavista laitteista ja ohjelmista kuitukanavan testausta varten sekä tutustua Fibre Channel - Audio Video (FC-AV) -tiedonsiirtostandardiin. FC-AV-standardi on yleisesti käytössä lentokonemaailmassa, mutta on jo monessa paikkaa korvattu uudemmallalla ARINC 818-standardilla. Työssä tehtävän selvityksen perusteella pyritään luomaan alustava laitetesti kuitukanavan testaukseen, jota voidaan hyödyntää viralliseen laitetestiin. Syntyvä laitetesti pitää olla testattavissa käytössä olevilla testiasemilla.

Aluksi työssä tutustutaan optisen kuidun rakenteeseen ja tiedonkulkuun kuidussa. Samalla esitellään eroja optisen kuidun ja kuparikaapelin välillä. Työn toisessa osassa esitellään USSR:n ja RMM:n laitetesteissä käytettävä testilaitteisto sillä tarkkuudella ja syvyydellä, joka on työn raportointiin riittävä. Osiossa erotellaan testattavat laitteet sekä testilaitteet ja kerrotaan, mitkä näiden laitteiden ominaisuudet ovat. Työn kolmas osio keskittyy optiseen tiedonsiirtoon FC-AV -formaattissa. Tiedonsiirto pohjautuu tiedonsiirtokerroksiin, jotka ovat osittain verrattavissa OSI-malliin. Osiossa esitellään jokaisen tiedonsiirtokerroksen toiminta ja yhteys testattavaan laitteeseen. Neljännessä osiossa selvitetään onko olemassa kaupallisia tuotteita kuitukanavan toiminnallisuuden testaukseen. Työn viidennessä osiossa toteutetaan kuitukanavan

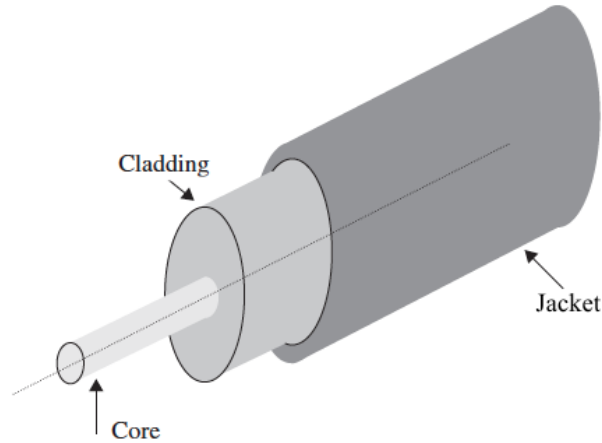
testaus, jotta valittu etenemistapa voidaan todentaa toimivaksi. Osiossa esitellään testausta varten hankitut ja valmistetut tarvikkeet, kuten kuitukaapeli ja kuitukortti. Osio sisältää myös tehdyn ohjelman, joka on liitettävissä USSR:n laitetestiin. Työn lopuksi esitellään lopputulos ja yhteenveto selvitystyöstä.

2. OPTINEN KUITU

Tiedonsiirtonopeuksien kasvaessa vanhat kuparikaapelit alkavat käydä tekniikaltaan ja ominaisuuksiltaan vanhoiksi. Kuparikaapeleissa on kuljetettu tietoa niin jännitekuin virtaviesteinäkin mutta niiden kehityksen ja käytön ongelmaksi muodostuvat korkeat tiedonsiirtonopeudet. Korkeilla tiedonsiirtonopeuksilla kuparikaapelin induktiiviset ominaisuudet vaikuttavat enemmän kuin resistiiviset ja täten syntyy suuria häiriöitä. Kuparikaapeleita onkin korvattu monissa paikoin, kuten puhelin- ja internetyhteyksien toteutuksessa, optisesta kuidusta valmistetuilla kaapeleilla, jolla vastaavaa häiriötä ei ole. Kuitukaapelin sisällä kulkee valo jännitteen tai virran sijasta. [31, s. 1]

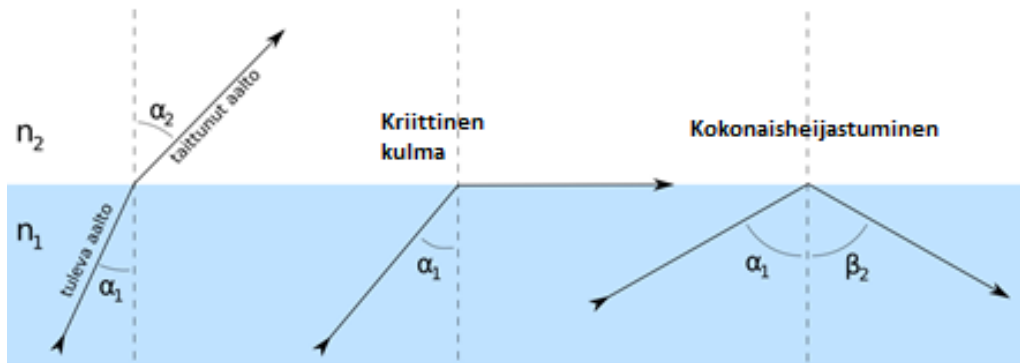
Optinen kuitu on sylinterimäinen pitkä kuitu, jonka tarkoituksena on kuljettaa valoa sen toisesta päästä toiseen päähän. Optisessa kuidussa tapahtuvat häviöt ja häiriöt ovat selvästi pienemmät kuin kuparikaapelissa. Optinen kuitu ei säteile sähkömagneettisesti kuten kuparikaapeli, joten se ei häiriinny muista kaapeleista eikä se häiritse muita kaapeleita. Tämä on selvä etu kuparikaapeliin nähden. Optisen kuidun muita etuja on pieni koko ja kevyt rakenne. Lisäksi riippuen optisen kuidun tyypistä, sen sisällä on mahdollista kuljettaa enemmän dataa käyttäen tiedonsiirtoon eri valon aallonpituuksia. Optisen kuidun haittapuolia ovat korkeampi hinta ja sen vaikeampi käsittely, joka vaatii enemmän tarkkuutta kuin kuparikaapelin. [31, s. 1]

Yksittäinen kuitukaapeli koostuu kolmesta osasta, josta sisimmäisenä on ydin (engl. core), ytimen päällä on vaippa (engl. cladding) ja kuoren päällä on suojakuori (engl. jacket). Kuoren ja suojakuoren välissä voi olla erilaisia vahvennekerroksia, joiden tehtävä on suojata sekä ydintä että vaippaa ja vahvistaa kuitukaapelin rakennetta. Kuitukaapelin rakenne on esitetty kuvassa 2.1. Ydin ja vaippa ovat yleensä valmistettu kvartsilasista mutta muitakin vaihtoehtoja on olemassa. Materiaalin valinta riippuu käyttökohteesta. Ydin ja kuori eroavat toisistaan siten, että ydintä on dopattu, eli siihen on lisätty esimerkiksi germaniumia, jotta sen taitekerrointa saadaan kasvatettua kuoreen nähden. Näin ytimessä kulkeva valo heijastuu ytimen ja kuoren reunalta eikä taitu kuoren läpi. Kuitukaapelissa oleva vahvennekerros on yleensä jotain kovaa ainetta esimerkiksi kevlaria. Se suojaa optista kuitua vääntymiseltä. Suojakuoren tehtävä on suojata kuitukaapelia mekaanisesti ja absorboida kuoren läpi tullut valo.



Kuva 2.1 Kuitukaapelin rakenne. Muokattu lähteestä [31, s. 2].

Suojakuori voi olla esimerkiksi akrylaattia, polyimidia tai alumiinia. [31, s. 1-2]

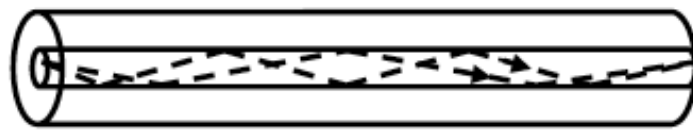


Kuva 2.2 Valon heijastuminen ja taittuminen. Muokattu lähteestä [12].

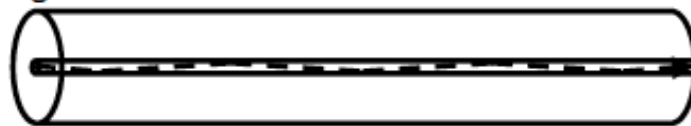
Optiset kuidut voidaan jakaa karkeasti kahteen kategoriaan, yksimuoto- ja monimuotokuituihin. Näistä yleisimmin käytetty on monimuotokuitu, jonka toiminta perustuu valon taittumiseen ja heijastumiseen fysiikan lakien perusteella. Sen ydin on suurempi kuin yksimuotokuidulla ja sen kuoren ja ytimen taitekertoimien suhde on suuri. Tämän vuoksi monimuotokuituun tuleva valo voi sisältää eri aallonpituuksia ja edetä heijastumalla kuidun toiseen päähän. Kuvassa 2.2 havainnollistetaan valon taittumista ja heijastumista. n_1 kuvaa ytimen taitekerrointa, joka on suurempi kuin vaipan taitekerroin n_2 . Koska valo kohtaa aineiden rajapinnan tiheimmän aineen suunnasta, voi valo joko taittua tai heijastua. Taittuminen tai heijastuminen riippuu valon tulokulmasta α_1 . Jos valon tulokulma ylittää taittumis- ja heijastuslakien perusteella kriittisen kulman, valo taittuu ja absorboituu kuorimateriaaliin, eikä näin pääse etenemään kuidussa. Tämän vuoksi valon tulokulman ytimen ja vaipan rajapintaan pitää olla suurempi kuin kriittinen kulma. Monimuotokuitua käytetään usein lyhyiden matkojen siirtymissä esimerkiksi talosta taloon, ja siinä voidaan siirtää

monenlaista tietoa yhtä aikaa käyttäen hyväksi valon eri aallonpituuksia. Monimuotokuidun kaistanleveyttä voidaan vaihdella muuttamalla ytimen ja kuoren välistä taitekerrointen suhdetta. Kun halutaan tarkempaa ja pidempää tiedonsiirtoa voidaan se tehdä yksimuotokuidulla. Yksimuotokuidussa valo etenee kuidussa suoraan päästä päähän heijastumatta ytimen ja vaipan rajapinnasta. Jotta heijastumia ei tapahtuisi, ytimen halkaisija on paljon monimuotokuitua pienempi ja se on aina yksilöllinen käytetyn valon aallonpituudelle. Kuvassa 2.3 on esitetty valon eteneminen moni- ja yksimuotokuidun sisällä. [32, s. 11-13]

Multimode Fiber

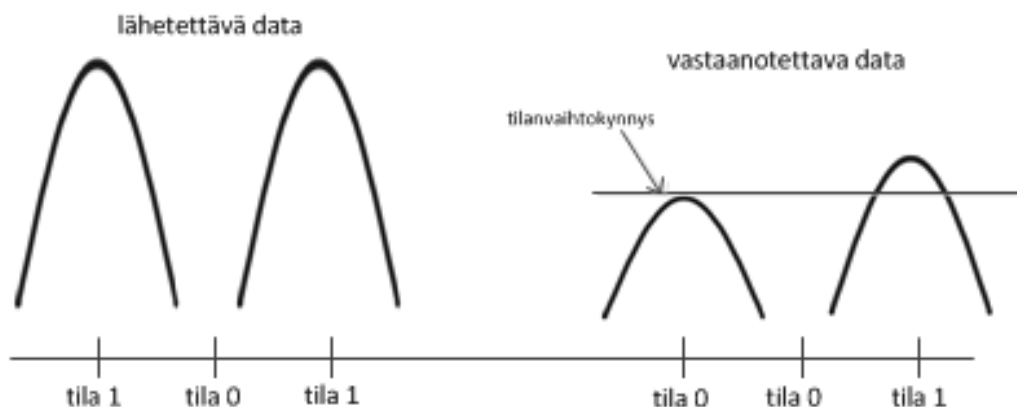


Single-mode Fiber



Kuva 2.3 Valon eteneminen moni- ja yksimuotokuidussa. Muokattu lähteestä [32, s. 222].

Monimuotokuidun ytimen halkaisija on yleensä välillä 50-100 mikronia, kun yksimuotokuidun halkaisija on vain muutamia mikroneita. Jokaisessa heijastuskohdassa menetetään hieman valotehoa, jolloin monimuotokuidun siirtomatkat ovat lyhyempiä kuin yksimuotokuidun. Valotehon määrän katoaminen riippuu käytettävästä kuitumateriaalista ja siitä miten valo heijastuu tai taittuu kyseisessä materiaalissa. [8, s. 68]



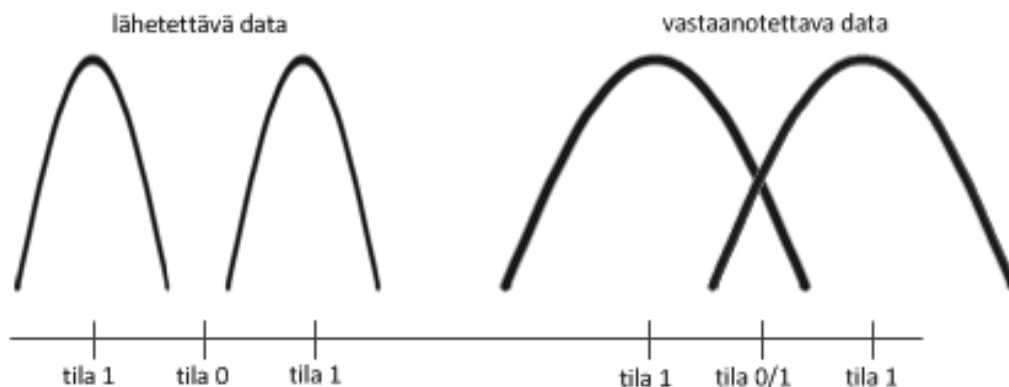
Kuva 2.4 Valotehon häviäminen ja sen mahdollinen väärin tulkitseminen.

Kuten kuparikaapelissa myös kuitukaapelissa syntyy häviöitä. Häviöiden seurauksena

valoteho vaimentuu ja kuitukaapelissa kulkeva data vääristyy. Häviöiden syntymekanismit ovat erilaisia kuin kuparikaapelissa, koska data kulkee kuitukaapelissa valona. Kuitukaapelin valoteho mitataan desibeleissä per kilometri (dB/km) [31, s. 61]. Valotehon vaimentuminen johtaa siihen, että lähettimen lähettämä tila yksi voidaan lukea vastaanottimen päässä tilana nolla kun valoteho ei riitä ylittämään tarvittavaa kynnystä tilalle yksi. Kuvassa 2.4 on havainnollistettu valotehon häviö ja vastaanottimen lukema virhe. Valoteho voi vaimentua absorpoitumalla tai siroutumalla.

Absorptiolla tarkoitetaan valon imeytymistä aineeseen. Optisen kuidun ydintä douppataan eri aineilla, jolloin saadaan ytimen taitekerrointa kasvatettua vaippaan nähden. Douppausaine kuitenkin absorpoo valoa, jolloin kadotetaan osa valotehosta. Valon absorption määrä riippuu käytettävästä douppausmateriaalista. Monimuotokuitua douppataan enemmän kuin yksimuotokuitua. Tämän vuoksi monimuotokuidussa absorpooituu enemmän valotehoa douppausaineeseen kuin yksimuotokuidussa. Absorptio tapahtuu myös kriittisen kulman ylityttyä. Valokuidun taittaminen muuttaa ytimen ja vaipan välistä kulmaa, jolla on suora vaikutus myös valon heijastuskulmaan ja sitä kautta valotehon häviöön. Kuitukaapelin taittuessa kriittinen kulma pienenee, jolloin valotehoa absorpooituu enemmän suoja-kuoreen. Kuitukaapelin taittuminen pitää ottaa huomioon kaapelia asennettaessa. Absorptiota tapahtuu myös jokaisessa kuitukaapelin ja liittimen liitoskohdassa. [8, s. 61-62]

Toinen valotehoon vaikuttava asia on valon sironta. Rayleigh-sironnassa kuidussa olevat pienet materiaalirakeet aiheuttavat eroja materiaalin taitekertoimissa. Rakeiden taitekertoimien poiketessa kuitumateriaalin taitekertoimesta heijastumista tapahtuu kaikkiin eri suuntiin. Heijastumisen seurauksena valo ei enää etene kuidussa kuten sen pitäisi, jolloin syntyy valotehon häviötä. Sirontaa tapahtuu sekä monimuoto- että yksimuotokuiduissa. [8, s. 61-62] [10]



Kuva 2.5 Dispersion aiheuttama valopulssin leveneminen ja sen mahdollinen väärin tulkitseminen.

Kuitukaapelissa datan vääristyminen johtuu dispersiosta. Dispersio tarkoittaa valo-

pulssin leviämistä tai siirtymistä ajan suhteen. Dispersio vaikuttaa vastaanottopäässä siten, että valon amplitudi ei pienene, mutta valon muodostama pulssi levenee. Levenemisestä johtuen lähettimen päässä oleva tilan yksi ja nolla ero voi vastaanotuksen päässä sekoittua, ja vastaanotin voi lukea tilan nolla sijaan tilan yksi. Kuvassa 2.5 havainnollistetaan vastaanottimella näkyvää, dispersiosta aiheutuvaa virhettä. Kuitukaapelissa tapahtuva dispersio voidaan jakaa kromaattiseen dispersioon (engl. chromatic dispersion) ja polarisaatiomuotodispersioon (engl. polarization mode dispersion). [10]

Kromaattinen dispersio vaikuttaa suoraan ajassa näkyvään signaaliin. Kromaattinen dispersio syntyy materiaali- ja aaltojohtodispersioiden yhdistelmänä. Materiaalidispersiota syntyy, kun kuitukaapelin ytimen materiaalin taitekerroin ei ole vakio kaikille aallonpituuksille, vaan muuttuu aallonpituuksien muuttuessa. Valopulssin tuottava lähetin ei lähetä yhtä tiettyä valon aallonpituutta, vaan se lähettää myös halutun valon aallonpituuden ympärillä olevia aallonpituuksia. Materiaalidispersiosta johtuen valon eri aallonpituudet kuluttavat eri ajan kulkiessaan optisen kuidun läpi ja aiheuttavat valopulssin leviämistä. Aaltojohtodispersio johtuu ytimen materiaalin epätasaisuudesta, jolloin valopulssissa syntyy vaihe-eroa. Kromaattista dispersiota esiintyy sekä monimuoto- että yksimuotokuiduissa. [8, s. 62-63][10]

Yksimuotokuiduissa on myös havaittavissa polarisaatiomuotodispersiota. Se tarkoittaa sitä, että yksimuotokuidussa valon aalto kulkee sekä x- että y-akselin suuntaisesti. Ideaalitulanteessa eri akselien aallot kulkevat samalla nopeudella, mutta koska optisen kuidun ydin ei ole täysin geometrisesti symmetrinen, niin toisen akselin suuntainen valopulssi voi edetä toisen akselin suuntaista aaltoa nopeammin. [8, s. 62-63]

Valotehoa voidaan vahvistaa samaan tapaan kuin jännitettä tai virtaa. Pitkille siirtomatkoille voidaan asettaa vahvistimia, jotta valoteho on riittävä vastaanottimella. Tarvittaessa valotehoa voidaan myös vaimentaa.

Tiedonsiirrossa tieto siirtyy kuitenkin bitti kerrallaan, vaikka kyseessä on optinen kuitu. Jos esimerkiksi kuparikaapelissa kaksi eri jännitettä kuvaa digitaalisen viestin tiloja yksi ja nolla, optisessa kuidussa sama tapahtuu kuituun syötettävällä valolla. Esimerkiksi valon ollessa päällä voidaan lukea tila yksi, ja valon ollessa pois päältä voidaan lukea tila nolla. Kuitukaapelissa kulkevaa valoa tuotetaan pääsääntöisesti LED-valoilla (engl. Light Emitting Diode) tai lasereilla. VCSEL (engl. Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) on yleisesti käytössä oleva optisen tiedonsiirron lähetinlaser. Sitä käytetään paljon erilaisissa valokuituun perustuvissa sisäverkoissa. [21] Valon tärkein ominaisuus on sen aallonpituus, sen vuoksi valonlähde valitaan sen mukaan, millaista valon aallonpituutta halutaan tuottaa. Laser-lähettimellä saa-

daan lähetettyä LED:iä tarkempaa valonaallonpituutta ja se on usein parempi valinta järjestelmään, joka on herkkä tietylle aallonpituudelle [8, s. 63].

Optisessa tiedonsiirrossa käytetään yleensä 850-1650nm aallonpituudella olevaa valoa, joka osuu infrapunavalon alueelle. Infrapunavaloa tuotetaan laserdiodeilla, joiden modulointinopeus ylittää useisiin kymmeneen gigabitteihin per sekunti (Gbps). Niiden tekeminen on halpaa, koska ne perustuvat puolijohdeteknologiaan. Yleisimmät kaupallisessa käytössä olevat yksimuotokuidut ovat tehty aallonpituuksille välillä 1300-1600nm [31, s. 10], kun taas monimuotokuidut ovat 850nm [8, s. 68] läheisyydessä oleville aallonpituuksille. [8, s. 63]

3. LAITTEISTO

Työssä tarvittavat laitteistot ja erilliset laitteet ovat kuvattu tässä kappaleessa. Ne voidaan jakaa kahteen osioon: testattaviin laitteisiin ja testilaitteisiin. Testattavat laitteet käsittävät kaikki laitteet, joiden oikeanlainen toiminta pyritään varmentamaan, sekä löytämään laitteessa olevat mahdolliset viat laitetestejä suoritettaessa. Testilaitteet ovat laitetestejä suorittavia laitteita. Laitetestejä on eritasoisia riippuen halutusta lopputuloksesta. Täydelliset laitetestit suorittavat kaikki mahdolliset testilaitteen toiminnot ja raportoi, mikäli toiminnon vaste ei ole sellainen kuin pitäisi. Myös testilaitteelle pitää määrätyn väliajoin ajaa laitetesti erillisillä testilaitteilla, jotta voidaan olla varmoja niiden antamista lopputuloksista.

3.1 Testattavat laitteet

Työssä käsitellään kahta ilma-alus A:ssa olevia laitetta, USSR:ää ja RMM:ää, joille Insta ILS Oy on luonut laitetestit. Luodut laitetestit kattavat ne osuudet testattavista laitteista, kuin ne ovat käytössä laitetestit tilanneella asiakkaalla. Työssä selvitetään mahdollisuudet testata USSR:ltä toiminnallisuus, jota ei tällä hetkellä laitetesteissä suoriteta ja käytetä.

USSR on tallennin, joka korvaa ilma-alus A:ssa vanhat analogiset V-80 videokasettinauhoittimet. USSR:n kautta voidaan tallentaa lennon aikaisia kuvia ja videota sekä ladata järjestelmään ennalta laadittu lentosuunnitelma. USSR:n sisällä on erillinen muistimoduuli RMM, johon tiedot tallennetaan. Tallennus tapahtuu eri tyyppisten kanavien kautta. USSR:ssä on kolme analogista videosisäätuloa. Yhtä videokanavaa kohden on kaksi tallentavaa mono-audiokanavaa. Lisäksi USSR voi tallentaa digitaalista videota kahden erillisen Ethernet-kanavan kautta. Tässä työssä tullaan selvittämään mahdollisuus ottaa käyttöön USSR:ssä oleva optisen tiedonsiirron mahdollisuus kuitukanavan kautta. USSR:n tehtävä on vastaanottaa kuitukanavan kautta tuleva videosignaali ja tallentaa se muistimoduulille. Kuitukanavassa liikkuvan videon formaatti on ennalta sovittu. [13, 17, 18]

USSR tallentaa kaiken datan erilliselle muistimoduulille, RMM:lle. USSR:n pysyessä kiinnitettynä ilma-aluksessa A, niin muistimoduuli voidaan irrottaa ja ottaa mukaan

lennon jälkeen. Muistimoduuli sisältää SSD-kovalevyn, jossa on USB 2.0 liitäntä. Liitännän kautta muistimoduuli voidaan kytkeä erilliseen tietokoneeseen ja RMM:n sisällä olevaa dataa voidaan lukea tai sinne voidaan tallentaa dataa. RMM:n pää-tarkoitus on toimia lentodatan säilytysmedianana, joka voidaan purkaa lennon jälkeen tietokoneelle. [14, 25]

3.2 Testilaitteisto

Automaattinen testilaitte (engl. Automatic Test Equipment, ATE) on testilaitte, joka suorittaa laitetestejä ennalta määritellyllä tavalla, ilman käyttäjän jatkuvaa ohjausta. Sillä voidaan testata järjestelmiä, laitteita tai komponentteja riippuen sen käyttötarkoituksesta. Automaattiseen testilaitteeseen kuuluu laitteisto, sen hallintaohjelmisto ja testiohjelma. Laitteisto hoitaa testiohjelman konkreettiset osat, kuten esimerkiksi jännitteiden syöttämisen, virran mittaamisen ja testiraportin tulostuksen. Testiohjelma on erikseen testilaitteelle tehty ohjelma, joka suorittaessa käyttää hyväkseen laitteistoa ja sen hallintaohjelmistoa. Testilaitteella olevien ohjelmien tai ohjelmistojen määrä riippuu testilaitteesta. Voi olla, että testilaitte on suunniteltu ja toteutettu vain yhtä käyttötarkoitusta varten, ja siinä on siksi vain yksi ohjelma. Se voi myös olla suunniteltu testaamaan monia eri laitteita, jolloin siinä on mahdollisesti ohjelma jokaista testattavaa laitetta kohden. Automaattinen testilaitte voi olla yksinkertaisimmillaan esimerkiksi patterintestaaaja, johon on ohjelmoitu syttymään punainen LED-valo, jos jännite paristossa on liian alhainen. Se voi myös tarkoittaa yhtä testilaitetta osana suurempaa järjestelmää. [30]

3.2.1 CASS-asetat

Consolidated Automated Support System eli CASS-asema on US Navy:n standardin mukainen ATE-asema. CASS-asetat ovat suunniteltu erilaisten laitteiden testaukseen. CASS-asetat sisältävät tietokoneita ja erilaisia testilaitteita, kuten jännite- ja virtamittareita, signaaligeneraattoreita ja teholähteitä. Näitä laitteita voidaan kytkeä yleiskäyttöisiin sisäänmeno- ja ulostuloportteihin riippuen testattavasta laitteesta ja sille suunnitellusta laitetestiohjelmasta. Testiohjelmaan määritellään yleiskäyttöisistä pinneistä syöttö- ja mittauslinjat.

CASS-asetamia on kaiken kaikkiaan seitsemän erilaista, mutta tässä työssä on tarkoitus selvittää mahdollisuudet liittää testaus Reconfigurable Transportable Consolidated Automated Support System (RTCASS) ja Mainframe Consolidated Automated Support System (MFCASS) -asetuille. Kuvassa 3.1 on esitelty molemmat CASS-asetat. Eri CASS-asetat sisältävät hieman erilaisia testilaitteita. [30, 33]



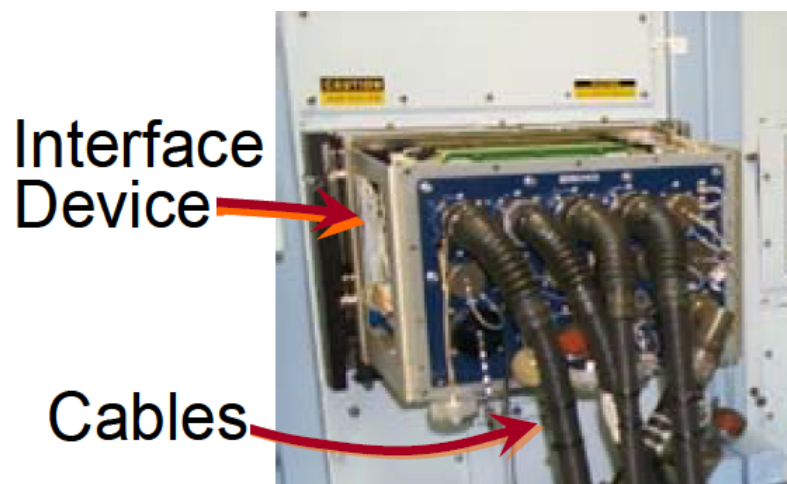
Kuva 3.1 MFCASS ja RTCASS -testiasemat. [30, 33]

Insta ILS Oy on luonut USSR:lle ja RMM:lle laitetestit MFCASS- ja RTCASS-testiasemille. Testiasemat syöttävät erilaisia syötteitä testattavalle laitteelle ja varmentavat oikeanlaisen toiminnan kyseisillä syötteillä. Tulos voidaan varmentaa joko mittaamalla joku suure, kuten esimerkiksi jännite, tai näyttämällä käyttäjälle testi-laitteelta syötetty video ja kysymällä käyttäjältä, vastaako video sitä mitä pitäisi.

3.2.2 ID

Interface Device:n (ID) tehtävä on ohjata testiasemalla olevat yleiset sisään- ja ulostuloportit testeissä käytettäviin kaapeleihin tai laitteisiin. ID suunnitellaan aina erikseen kullekin testattavalle laitteelle tai laiteryhmälle. Se kytketään kiinni testiasemaan ja testattavan laitteen testikaapelit kiinnitetään ID:hen. ID ja siihen liitettäviä kaapeleita on havainnollistettu kuvassa 3.2.

Vaikka ID:n tarkoituksena on ohjata oikeat sisään- tai ulostulot oikeisiin testikaapeleihin, USSR:n ja RMM:n testauksessa ID:n sisälle on sijoitettu erillinen PC-kortti, jota



Kuva 3.2 ID ja testikaapeleita. Muokattu lähteestä [30].

kutsutaan IDPC:ksi. IDPC:n tarkoituksena on täydentää CASS-aseilla suoritettavaa testausta niiden ominaisuuksien osalta, joiden testaaminen ei ole mahdollista CASS-asemien rajoitusten vuoksi. USSR:n laitetestissä IDPC ei missään tilanteessa selvitä testin tulosta itsenäisesti, vaan välittää kaiken tiedon eteenpäin testiasemalle, joka päättää testin tuloksen. Tässä työssä määritelty optisen tiedonsiirron testausmahdollisuus tullaan liittämään IDPC:n kautta testiasemalle. [20]

4. TIEDONSIIRTO

Ilma-aluksessa A on käytössä kuitukanava (engl. fibre channel), jonka kautta dataa liikutellaan optisesti eri paikkoihin. Kuitukanava on suljettu ja kaikki kuitukanavaan kytketyt portit ovat tunnettuja. Kuitukanavan toteutus voidaan tehdä optisella kuidulla, kuparikaapelilla tai niiden yhteisratkaisuna. Ilma-aluksessa A on käytössä vain optinen kuitu. Kuitukanava on jaettu kahteen aliverkkoon, data- ja videokuitukanavaan. Videokuitukanava jakaa fyysisen kuitukanavan datakuitukanavan kanssa siten, että yhteisesti on käytössä kuitukanavan tiedonsiirtokerrokset FC-0:sta FC-2:een, datavuon ohjaus, kuitukytkimet sekä reititysprotokolla. [11] Tässä työssä käsitellään kuitukanavasta vain videokuitukanavan osuutta.

Videokuitukanava käyttää datan siirrossa Simple Parametric Digital Video (SPDV) datan paketoitua. SPDV pohjautuu Fibre Channel - Audio Video (FC-AV) -standardiin, ja on tarkoitettu sekä videon että kuvien siirtämiseen kuitukanavassa. SPDV ei siirrä ääntä vaikka FC-AV-standardi sitä tukeekin. SPDV siirtää dataa käyttäen Frame Header Control Protokollaa (FHCP) identifioimaan lähetettävää dataa ja osoittaakseen sen olevan videodataa. [11]

4.1 Kuitukanava

Kuitukanava käsittää tiedonsiirtokerrokset FC-0, FC-1 ja FC-2. FC-0 eli fyysinen kerros määrittelee kuitukanavan fyysiset ominaisuudet ja sen miten bitit oikeasti liikkuvat. FC-1 eli code kerros kehystää ylempien kerrosten datan fyysiselle kerrokselle lähetettäväksi. FC-2 eli protokolla kerros määrittelee kuitukanavan siirtomekanismin. [34]

4.1.1 FC-0 Fyysinen kerros

Fyysinen kerros selittää sen miten bitit oikeasti liikkuvat. Se kattaa kaikki liittimet, kaapelit, jännitteet, valon sekä muut sellaiset asiat, joihin voidaan fyysisesti päästä käsiksi. Normaalisissa kuparijohtimen tapauksessa fyysisessä kerroksessa olevassa kuparikaapelissa on jännite, ja siinä kulkee sähkövirta, kun taas optisen kuidun

tapauksessa dataa kuljetetaan valona. Kuitukanavan fyysinen kerros on täysin verrattavissa OSI-mallin fyysiseen kerrokseen. Kuitukanavassa tiedonsiirto voi tapahtua joko kuparikaapelin tai kuitukaapelin kautta. Ilma-alus A:n videokuitukanava ei kuitenkaan sisällä kupariyhteyttä, joten työn toteutuksessa otetaan huomioon vain kuituyhteys. [11, 34][9, s. 12-13][7, s. 69-72]

Työn testilaitetapauksessa fyysiseen kerrokseen kuuluu valoa syöttävä lähde, liittimet, kuitukaapeli ja valon vastaanotin. Valoa vastaanottavana yksikkönä toimii USSR, jossa on valmiiksi kehitetty ratkaisu datan lukemista varten. Valon syöttämistä varten työssä on tutkittu kohdassa 5 eri vaihtoehtoja, joista datan syöttämistä varten valikoitui valmistajan Y kuitukortti. Kuitukaapelin kiinnittämiseen tarvittavat liittimet ovat erilaisia molemmissa päissä kuitua. USSR:ään kiinnitettäväksi liittimeksi on määritelty D38999/26JC4PNLC. [26] Liittimessä on käytössä neljä kuitupinniä, joista kahdessa kulkee HD-video. Toinen HD-videon linjoista siirtää dataa sisään USSR:ään ja toinen USSR:ltä ulos. Työssä käytössä olevan USSR:n konfiguraatiossa ei ole käytössä kuin yksi kuitulinja, joka on USSR:lle tulevan videon linja. Kuitenkin kaapeliin kalustettiin molemmat kuitupinnit, jotta kuitukaapelin toiminta voidaan todentaa. Kaksi muuta pinniä ovat varalla ja niitä ei kalusteta. Kuitukorttiin on liitetty erillinen Small Form-Factor Pluggable (SFP) lähetin/vastaanotin, joka muuttaa sähköiset viestit optisiksi viesteiksi. Käytössä olevaan SFP:hen voidaan kytkeä kuitukaapeli LC-liittimellä. [11]

Seuraavassa listassa on määritelty videokuitukanavan vaatimuksia [11]:

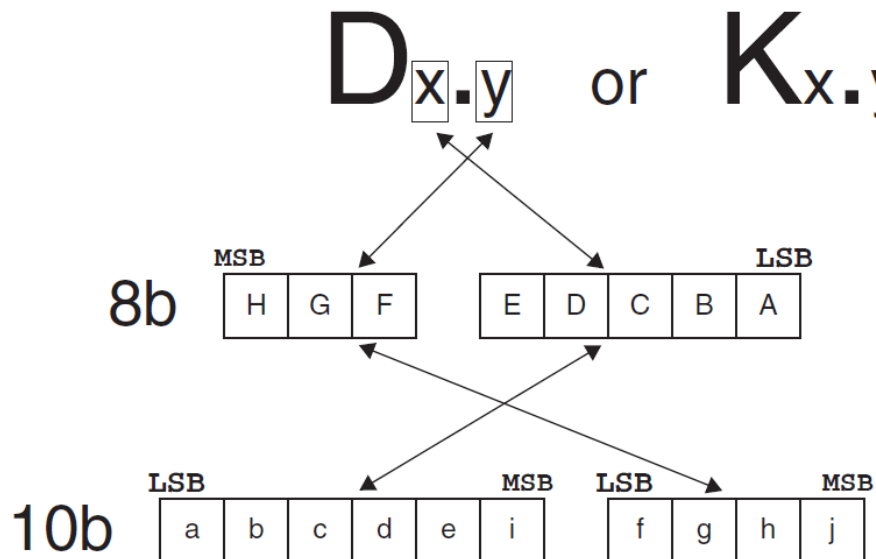
1. Kuitukanavassa suurin lähetysteho -3.0dBm.
2. Minimiteho mitattuna WRA:n liittimestä pitää olla -13,0 dBm. (mittauksissa käytettävä vähintään metrin mittaista 100 mikronin kuitukaapelia)
3. Lähettimen laserin pitää sietää heijastumia -10dB:iin asti.
4. Lähettimen ylemmän ja alemman signaalitason suhde pitää olla vähintään 6:1.
5. Kuitukanavan FC-portit ovat yhteensopivia joko ytimeltä 62,5 mikronia tai 100 mikronia paksujen kuitukaapeleiden kanssa.
6. Ilma-alus A:n kaapelit tulee olla ytimeltään 100 mikronia, kuoreltaan 140 mikronia ja polyimidi suojaltaan 172 mikronia paksuja.
7. WRA:n liitännät noudattaa lähteitä [27, 28].
8. WRA:n päässä käytettävät liittimet pitää olla MIL-C-38999 Series III sarjaa.

9. Kuitukontaktit tulee olla ilma-alus A:n valmistajan määrittysten mukaisia.
10. Videokuitukanavassa käytettävä kuitukaapeli tulee olla ilma-alus A:n valmistajan määrittelemää kuitukaapelia.

4.1.2 FC-1 Code

Code eli Transmission Protocol -kerros on osittain verrattavissa OSI-mallin siirtokerrokseen, joka kehystää ylempien kerrosten tietoliikennepaketin fyysisen kerroksen siirtoa varten. Se varmistaa myös, että data on oikeassa muodossa ja sitä on määrällisesti tarpeeksi. Se ei ota kantaa siihen, millaista dataa lähetetään ja mitä se pitää sisällään. Kuitukanavassa on käytössä 8B/10B enkoodaus/dekoodaus, joka toteuttaa ylempien kerrosten tietoliikennepakettien kehystämisen. [34][9, s. 12-13][7, s. 69-72]

8B/10B enkoodaus/dekoodaus tarkoittaa, että jokaista kahdeksaa bittiä eli tavua kohden lisätään kaksi bittiä. Siirrettävää dataa on näin ollen kymmenen bittiä jokaista kahdeksaa bittiä kohden. Ylimääräisten bittien lisäys tapahtuu lähettimen enkoodauksessa ja kymmenen bitin purku takaisin kahdeksaksi bitiksi tapahtuu vastaanottimen dekoodauksessa. 8B/10B enkoodaus/dekoodaus tehdään datalle, jotta lähetettävä signaali pysyy tasapainossa tilojen yksi ja nolla määrän suhteen ja siirtokello pysyisi synkronoituna.

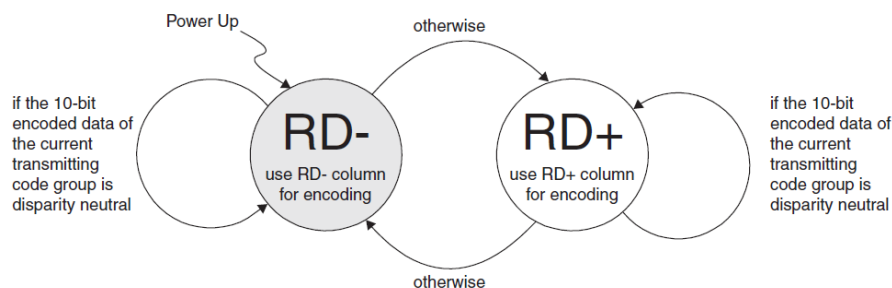


Kuva 4.1 8B/10B enkoodaus. Muokattu lähteestä [16].

8B/10B enkoodaus/dekoodaus perustuu 3B/4B ja 5B/6B enkoodaus/dekoodaukseen. 8B/10B enkoodattu luku muodostetaan muuttamalla ensin luvun kolme ensimmäistä

bittiä neljäksi bitiksi, ja loput viisi bittiä kuudeksi bitiksi. Kuvassa 4.1 havainnollistetaan 8B/10B enkoodatun luvun muodostamista. Enkoodattu luku muodostuu ensin kirjaimesta K, jos kyseessä on ennalta sovittua dataa, ja kirjaimesta D, jos data on käyttäjän määrittelemää. Tämän jälkeen luvun jälkimmäiset viisi bittiä käännetään kokonaisluvuksi ja merkitään kirjaimen perään. Kokonaisluvun jälkeen lisätään jäljelle jäänyt kolmebittinen luku kokonaislukuna edellisen kokonaisluvun perään siten, että nämä kaksi lukua erotetaan toisistaan pisteellä. Esimerkiksi kokonaisluku 163 muuttuu käyttäjän määrittelemäksi dataksi seuraavasti: Kokonaisluku 163 on bitteinä 10100011. Bittiluvusta erotetaan alun ensimmäiset kolme bittiä 101 ja muutetaan 3B/4B enkoodauksella luvuksi 1010, ja jälkimmäiset viisi bittiä 5B/6B enkoodauksella luvuksi 110001. Lukua 101 vastaa kokonaisluku 5 ja luku 00011 vastaa lukua 3. Näin saadaan enkoodatuksi luvuksi D03.5, joka on binäärinä luku 1100011010.

Kymmenellä bitillä voidaan kertoa yhteensä 1024 eri arvoa. Näistä arvoista on käytössä 512 kappaletta käyttäjän määräämän datan ja 24 kappaletta ennalta varatun datan esittämistä varten. Jokaiselle kolmebittiselle arvolle on olemassa ennalta määriteltä neljäbittinen arvo, jossa yksittäisten bittitilojen yksi määrä on 1, 2 tai 3. Viisibittiselle arvolle on olemassa ennalta määriteltä kuusibittinen arvo, jossa yksittäisten bittitilojen yksi määrä on 2, 3 tai 4. Näin ollen bittitilojen yksi määrän erotus tilojen nolla määrään nähden on -2, 0 tai 2. Lukua, jossa ykkösten ja nollien erotus on -2 kutsutaan pariteetiltaan + -merkkiseksi ja lukua, jossa erotus on 2 kutsutaan pariteetiltaan - -merkkiseksi. Lukua, jossa on yhtä monta ykköstä tai nolaa kutsutaan neutraaliksi. 8B/10B enkoodaus saadaan yhdistämällä 3B/4B-enkoodattu luku ja 5B/6B-enkoodattu luku. Yhdistämisessä katsotaan yhdistettävien lukujen pariteetti, ja lukuja ei voida yhdistää, jos pariteettien yhteenlaskettu summa on suurempi kuin +2 tai pienempi kuin -2. Näin saadaan 8B/10B luvulle mahdolliseksi pariteetti luvuksi -2, +2 ja 0. Edellä mainitussa esimerkissä on yhdistetty pariteetiltaan kaksi neutraalia lukua, jolloin luku D03.5 on neutraali.



Kuva 4.2 Juokseva pariteetti kuvattuna tilakoneena [16].

Kun 8B/10B enkoodattua dataa lähetetään eteenpäin, pitää varmistua siitä, ettei kahden peräkkäisen kymmenen bitin datan yhteenlaskettu pariteettisumma ole

suurempi kuin +2 tai pienempi kuin -2. Tämä voidaan estää sillä, että jokaiselle 256 erilaiselle datavaihtoehdolle ja 12 ennalta varatulle datalle on olemassa sekä pariteetiltaan + -merkkinen luku ja - -merkkinen luku. Tämä mahdollistaa sen, että peräkkäiset datat voidaan valita niin, ettei pariteettien yhteenlaskettu summa ylitä edellä mainittuja rajoja. Tätä kutsutaan juoksevaksi pariteetiksi. Ensimmäinen lähetettävä data on aina - -merkkinen, jonka jälkeen datan pariteettiluku tarkastetaan. Jos pariteettiluku on 2, seuraava lähetettävä data on pariteetiltaan + -merkkinen, ja jos pariteettiluku on 0, eli data on neutraali, lähetetään seuraava data pariteetiltään - -merkkisenä. Sama tarkastelu tehdään, jos edellinen lähetettävä data on pariteetiltään + -merkkinen. Neutraalin datan jälkeen jatketaan pariteetiltään + -merkkisen datan kanssa, ja jos pariteettiluku on -2, seuraava data on pariteetiltään - -merkkinen. Juoksevaa pariteettia havainnollistaa kuva 4.2. [16, 23]

Taulukko 4.1 Ennalta sovitut viestit ja viestiketjut. Muokattu lähteestä [23].

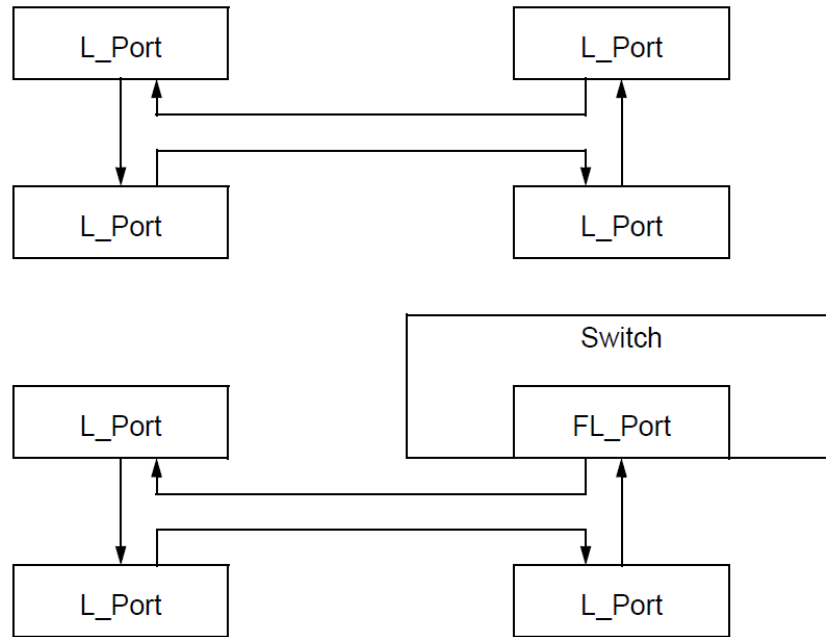
parametri	arvo
Idle	K28.5 - D21.4 - D21.5 - D21.5
R_RDY	K28.5 - D21.4 - D10.2 - D10.2
NOS	K28.5 - D21.2 - D31.5 - D5.2
OLS	K28.5 - D21.2 - D10.4 - D21.2
LR	K28.5 - D9.2 - D31.5 - D9.2
LRR	K28.5 - D21.1 - D31.5 - D9.2

Lähetettävät kymmenen bittiä voivat olla joko käyttäjän määrittelemää dataa, joita saadaan kahdeksasta bitistä yhteensä 256 erilaista yhdistelmää, tai ennalta varattua dataa, joita on yhteensä 12 kappaletta. Ennalta määrättyä dataa ja käyttäjän määräämää dataa yhdistelemällä voidaan lähettää tiettyjä ennalta sovittuja viestejä, jotka ovat neljän tavun mittaisia. Ennalta sovitusta viesteistä ei käytetä videokuitukanavassa muuta kuin täyteviestiä (Idle) ja vastaanotin valmiina -viestiä (R_RDY). Viestien lisäksi ennalta määrätyn datan ja käyttäjän määräämän datan yhdistelmillä voidaan tehdä ennalta sovittuja viestiketjuja. Nämä viestiketjut kuvaavat verkossa olevien porttien tiloja. Tiloja ovat ei operatiivinen (NOS), yhteydetön (OLS), yhteyden nollaus (LR) ja yhteyden nollauksen vastaus (LRR). Ennalta sovittujen viestien ja viestiketjujen arvot ovat esitelty taulukossa 4.1. Porttien tiloilla on merkitystä esimerkiksi silloin, kun laite haluaa kirjautua verkkoon. [23, 34]

4.1.3 FC-2 Protokolla

Protokollakerros kuitukanavassa vastaa OSI-mallin verkko- ja kuljetuskerrosta. [9, s. 12-13] [7, s. 69-72] Kuitukanava tukee kolmea eri verkkotopologiaa. Ne ovat Point-to-Point-, kytkinverkko- ja välittäjäsilmutopologia. Jokainen topologiatyyppi on

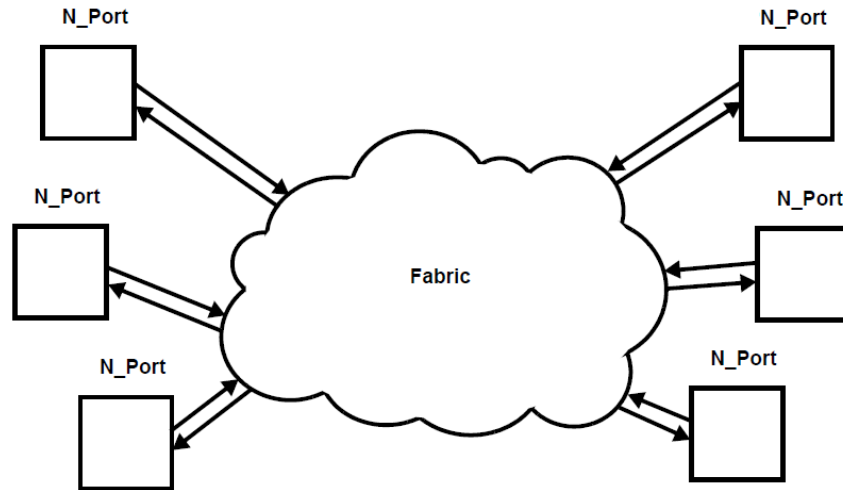
itsenäinen verkko ja eri topologioilla voi olla omia rajoituksia verkon sisällä. [34]



Kuva 4.3 Välittäjäsilmuakatologia. Muokattu lähteestä [24].

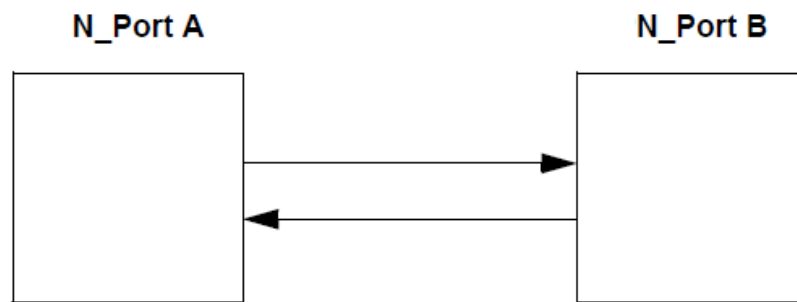
Välittäjäsilmuakatologia on kirjaimellisesti silmukka, jossa data kiertää ympyrää. Jokainen verkkoon kytketty laite on kytketty kahteen muuhun verkon laitteeseen. Näin syntyy silmukka, jossa data voi kiertää yhtä aikaa ympyrää laitteelta laitteelle kahteen suuntaan. Jos verkossa on kuusi laitetta ja laitteet ovat nimetty myötäpäivään nimillä laite 1, laite 2 jne. Laitteen 1 lähettämä data laitteelle 4 kulkee läpi laitteiden 2 ja 3 tai 6 ja 5. Kuvassa 4.3 on kuvattu neljän laitteen välittäjäsilmuakatoverkko. Kuvassa on myös esitetty, miten kolmen laitteen välittäjäsilmuakatoverkko voi olla osa jotain muuta verkkoa kytkimen kautta. Tämä verkkorakenne on kaikkein hitain, koska data ei välttämättä kulje suoraan lähettäjältä vastaanottajalle vaan voi joutua kulkemaan muiden verkon laitteiden läpi. [24, 34]

Kytkinverkkotologia on verkko, jossa kaikki data lähetetään kytkinten kautta vastaanottajalle. Lähetettävän datan kehyksen otsikkoon pitää merkitä vastaanottajan osoite, jotta data kulkee perille kytkimien läpi. Kytkinverkkotologiaa on havainnollistettu kuvassa 4.4. Ilma-aluksen A videokuitukanava on topologiaaltaan kytkinverkko, jossa on kaksi erillistä kytkintä yhdistettynä toisiinsa ja molemmissa kytkimissä on 14 porttia. Videokuitukanavassa on kuitenkin määritelty erilliset portit olemaan joko lähettäjä- tai vastaanottajaportteja. Tämä yksinkertaistaa verkkoa siten, että lähettäjäportit lähettävät datansa kaikille porteille ja vastaanottajaportit vastaanottavat kaiken datan, joka on lähetetty kaikille porteille. Koska videokuitukanavassa liikkuu vain videokuva, on lähettäjäportteihin kytketty videota lähetäviä



Kuva 4.4 Kytkinverkkotopologia. Muokattu lähteestä [24].

laitteita, kuten esimerkiksi videokamera, ja vastaanotinportteihin on kytketty videota vastaanottavia laitteita kuten USSR. [11, 24, 34]



Kuva 4.5 Point-to-Point-topologia. Muokattu lähteestä [24].

Point-to-Point-topologia on yksinkertaistettu versio kytkinverkkotopologiasta. Siinä on vain kaksi laitetta ilman kytkimiä, jotka keskustelevat keskenään. Kuvassa 4.5 on havainnollistettu Point-to-Point-topologia. Point-to-Point-topologiavaihtoehdossa ei tarvita erikseen vastaanottajan osoitetta, vaan kaikki data lähetetään verkossa olevalle toiselle laitteelle. Tässä työssä käsiteltävä USSR:n kuitukanavan testaus tehdään käyttäen hyväksi Point-to-Point-topologiaa, koska käytössä ei ole erillistä kuituverkkokytkintä. [11, 34]

Kun kuitukanavaan liitetään laite, sen pitää kirjautua verkkoon. Kirjautumistapoja on kaksi, suora ja epäsuora kirjautuminen. Suorassa kirjautumisessa tarvitsee tietää mihin verkkoon kirjautuu. Epäsuorassa kirjautumisessa oletetaan laitteen olevan kirjautuneena verkkoon kun se vastaanottaa jonkun ennalta sovitusta viestiketjuista. Kun verkkoon kytketty laite lukee ennalta sovitun viestiketjun, aloittaa se porttinsa alustuksen. Kun laite on saanut alustuksen valmiiksi, alkaa se lähettämään ja vastaanottamaan ennalta määrättyä täyteviestiä. Täyteviestiä lähetetään aina kun

verkossa ei liiku muuta dataa, jotta yhtäjaksoinen lähetys ei katkea. Tämä on merkki siitä, että epäsuora kirjautuminen on valmis. Epäsuora verkosta uloskirjautuminen tapahtuu siten, että portille lähetetään, sen ollessa kirjautuneena verkkoon, viestiketju ei operatiivinen tai yhteydetön. Tällöin laite ei vaihda viestejä verkon kanssa. [11, 23]

4.2 FC-AV

Tässä kappaleessa kuvatut FC-AV:n ominaisuudet ovat kuvattu sillä tarkkuudella, jolla ne ovat käytössä SPDV:ssä. SPDV on osa FC-AV-standardia, mutta siitä on karsittu osa FC-AV:n ominaisuuksista, kuten esimerkiksi äänen siirto. SPDV käyttää tiedonsiirtokerrosta FC-4, josta käytössä on FHCP. FC-AV paketoit joko videodataa tai kuviadataa. Kuva- ja videodata erotetaan standardissa niin, että alle 15Hz:n taajuudella toistettava data on kuviadataa ja 15Hz:n tai sen yli olevilla taajuuksilla toistettava data on videodataa. Videodata rajoittuu kuitenkin välille 15 - 60Hz. SPDV:n tiedonsiirtonopeus on 1,0625 Gbps.

FC-AV-standardissa lähetetään FC kehyksiä, jotka muodostavat datapaketteja. Datapaketti jakaantuu neljään objektiin. Objekti 0 sisältää paketin otsikkotiedot ja täydennysdatan, objekti 1 audiodatan, objekti 2 lomittamattoman videon datan ja objekti 3 lomitettua videon datan. Näistä audiota sisältävää objekti 1:stä ja lomitettua videota sisältävää objekti 3:sta ei käytetä SPDV:ssä. Pakettiin lisätään vastaanottajan ja lähettäjän tunniste kertomaan keneltä data lähetetään ja kenelle se on menossa.

4.2.1 Datan paketointi

Yksi datapaketti pitää sisällään yhden videokuvan ja siihen liittyvän metadatan. Kehyksen koko on vakio: 2148 tavua, josta 36 tavua on kehyksen yksilöiviä tietoja ja 2112 tavua dataa. Datapaketin kehysten määrä vaihtelee lähetettävän videon ominaisuuksien mukaan. Yksittäinen videokuva paloitellaan siten, että ensimmäinen kehys sisältää paketin otsikkotiedot. Tätä kehystä kutsutaan nollakehykseksi. Loput kehykset sisältävät videodataa ja viimeinen kehys videodatan ohella lopetustiedon. Taulukossa 4.2 on esiteltynä kehyksen sisältö arvoineen. Kehys alkaa aina kehyksen aloitusviestillä (SOF), jonka jälkeen seuraa kehyksen otsikko (Frame Header). Kehyksen aloitusviestille on olemassa kaksi erilaista vakio arvoa. Arvoista SOF_i ilmoittaa, että kyseessä on datapaketin ensimmäinen kehys ja SOF_n aloittaa muut kehykset. Arvot ovat aina pariteetiltaan - -merkkisiä. Otsikon jälkeen kehyksessä on lähetettävä

Taulukko 4.2 FC-AV kehyksen sisältö ja vakioarvot

Tunniste	Selitys	Koko	Arvo
$\text{SOF}_{i/n}$	kehyksen aloitus	4 tavua	K28.5 - D21.5 - D22.2 - D22.2 (SOF_i , pariteetti -) K28.5 - D21.5 - D23.1 - D23.1 (SOF_n , pariteetti -)
Frame Header	kehyksen otsikko	24 tavua	ei vakio
Payload	Lähetettävä data	2112 tavua	ei vakio
CRC	tarkistussumma	4 tavua	ei vakio
$\text{EOF}_{n/t}$	kehyksen lopetus	4 tavua	K28.5 - D21.4 - D21.3 - D21.3 (EOF_t , pariteetti -) K28.5 - D21.5 - D21.3 - D21.3 (EOF_t , pariteetti +) K28.5 - D21.4 - D21.6 - D21.6 (EOF_n , pariteetti -) K28.5 - D21.5 - D21.6 - D21.6 (EOF_n , pariteetti +)

data ja tarkistussumma. Neljätavuinen tarkistussumma lasketaan kehyksen otsikosta ja datasta. Kehyksen aloitusviestiä ja kehyksen päättävää viestiä (EOF) ei lasketa mukaan tarkistussummaan. Kehyksen päättävällä viestillä on olemassa neljä vakioarvoa, jotka jakaantuvat kahteen käyttötarkoitukseen. Molemmilla käyttötarkoituksilla on olemassa viesti molempia pariteetteja varten. EOF_t ilmaisee, että kyseessä on datapaketin viimeinen kehys ja EOF_n on käytössä muissa kehyksissä. Yksi kehys voi sisältää dataa monesta videokuvan rivistä muutamaan pikseliin. [4]

Ilma-aluksen A videokuitukanava ei ole tarkka siitä, että jokainen paketti saataisiin täydellisesti luettua. Videokuitukanavassa liikkuvaa videota katsotaan normaalisti reaaliaikaisesti, jolloin yhden paketin eli yhden videokuvan katoaminen ei vaikuta juurikaan kokonaiseen videoon. Riippuen videon toistonopeudesta videokuva päivittyy millisekunneissa, jolloin reaaliaikaista videota katsottaessa ihmissilmä ei välttämättä edes huomaa kadonnutta videokuvaa. [11] [22, s. 24]

Paketin otsikkoon on koottu kaikki metadata kyseisestä paketista ja videosta. Siitä käy ilmi esimerkiksi videon toistotaajuus, datan koko ja videokuvan eli paketin järjestysnumero. Taulukossa 4.3 on esitelty FC-AV-standardiin kuuluva paketin otsikko ilman ylimääräistä otsikonlaajennusta. Otsikossa oleva Container count parametri laskee datapakettien lukumäärää lähetettävän videon sisällä. Lähetettävän videon tunniste on määritelty parametriin Clip ID. Container Time Stamp on aikaleima lähetettävälle datapaketille. Aikaleimaa käytetään hyväksi tiedonsiirrossa, eikä sillä ole mitään tekemistä datapaketin sisältämän videokuvan ajoituksen kans-

Taulukko 4.3 FV-AV standardin mukainen paketin otsikko ilman ylimääräistä otsikonlaajennusta.

Sana	Selitys	tavu 0	tavu 1	tavu 2	tavu 3
0	Container count	MSB	-container count-		LSB
1	Clip ID	MSB	-clip id-		LSB
2-3	Container Time Stamp	MSB	-time stamp-		LSB
4	Transmission Type	Video Fr. Rate	Trans. Rate	Reserved	Reserved
5	Container Type	Mode	# of Objects	Reserved	Sz of Ext Hdr
6+n	Object n Class	Type	Link Pointer	Index (xxxxh)	
7+n	Object n Size	MSB	-Size (bytes)-		LSB
8+n	Object n Offset	MSB	-Offset (bytes)-		LSB
9+n	Object n O.T. Defined	O.T. Defined			

sa. Transmission Type parametriin määritellään videon toistotaajuus (Video Frame Rate) ja videon toistonopeus (Transmission Rate). Datapaketin tyypin (Container Type) parametri tyyppi (Mode) määrittelee, onko datapaketissa käytössä ylimääräistä otsikon laajennusta. Datapaketin tyypissä määritellään myös datapaketin käytössä olevien objektien määrä (# of Objects) ja lisäotsikon koko (Sz of Ext Hdr). Otsikon laajennus ei ole käytössä SPDV:ssä ja siitä johtuen otsikon koko on vakio 88 tavua. Seuraaviin parametriin määritellään kunkin objektin omia tietoja. Jokaiselle objektille määritellään tyyppi (Type), yhteys toiseen saman datapaketin objektiin (Link Pointer), tyypin alimäärittäminen (Index), koko (Size), datan alkamiskohta (Offset) ja käyttäjän määrittelemää dataa objektin tyypille (Object Type Defined).

Objekti 0 pitää sisällään tiedot paketissa olevasta videon yksittäisestä kuvasta. Tiedot eivät kuitenkaan muutu kesken videon. Näitä tietoja ovat kuvan resoluution, pikselien kuvasuhteen, bittien määrän per pikseli, bittien määrä per alipikseli, pikselien määrä yhdessä sanassa ja niiden lähetysjärjestys, väritiedot ja tieto siitä onko video lomittamaton vai lomitettua. Lomittamattomassa videossa päivitetään koko videokuva kerrallaan, kun lomitetussa videossa päivitetään vuorotellen parilliset ja parittomat rivit. Objekti 0 on 16 tavua pitkä, josta 8 tavua on ennalta määrättyä dataa ja 8 tavua käyttäjän määrittelemää dataa, jolle ei ole erikseen määriteltyä käyttötarkoitusta. Jos käyttäjän määrittelemä data ei riitä, sitä on mahdollista ottaa käyttöön erikseen vielä ylimääräiset 1024 tavua. Työssä ei käytetä käyttäjän määrittelemää dataa. Taulukossa 4.4 esitellään objekti 0:n sisältö. Sekä paketin otsikko

Taulukko 4.4 Objekti 0:n data ja datan sijainti paketissa.

sana 0																																	
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
NoR																NoC																P/I	

sana 1																															
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CI				PA				PAO				PTN				B/A				B/B				B/C				B/D			

sana 2																															
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
käyttäjän määrittelemä data																															

sana 3																															
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
käyttäjän määrittelemä data																															

- NoR = rivien määrä
 NoC = sarakkeiden määrä
 P/I = lomittamaton tai lomitettu videokuva
 CI = väritiedot
 PA = pikselin korkeuden ja leveyden suhde
 PAO = videon kuvan pikselien järjestys
 PTN = pikseleiden määrä yhdessä sanassa ja lähetysjärjestys
 B/A = bittien määrä alipikselissä A
 B/B = bittien määrä alipikselissä B
 B/C = bittien määrä alipikselissä C
 B/D = bittien määrä alipikselissä D

että objekti 0 lähetetään ensimmäisessä kehyksessä, kehys nollassa.

Taulukko 4.5 Esimerkki 1: 480x480 mono -videokuva.

Kehys	Tavu 0	Tavu 1	...	Tavu 1918	Tavu 1919
1	pikseli 1	pikseli 2	...	pikseli 1919	pikseli 1920
2	pikseli 1921	pikseli 1922	...	pikseli 3839	pikseli 3840
⋮					
119	pikseli 226561	pikseli 226562	...	pikseli 228479	pikseli 228480
120	pikseli 228481	pikseli 228482	...	pikseli 230399	pikseli 230400

Objekti 2 pitää sisällään lomittamattoman videodatan. Kehyksien määrä riippuu siirrettävän videon kuvan datan määrästä. Taulukossa 4.5 on esitetty resoluutioltaan 480x480 pikselin monovideon eli yksivärisen videon objekti 2:n sisältö. 480x480

monovideossa on yhteensä 230400 pikseliä, joista jokaisen sävy on kerrottu yhdellä tavulla. Yhteen kehykseen, jonka datan maksimikoko on 2112 tavua, mahtuu neljä riviä monovideoa eli 1920 pikseliä. Näitä kehyksiä lähetetään yhteensä 120 kappaletta, jotta jokainen kuvan rivi saadaan lähetetyksi. Yhteensä lähetettäviä kehyksiä on 121, kun lasketaan mukaan kehys nolla.

4.2.2 FC-4 Frame Header Control Protocol

FC-AV-standardissa identifioidaan kyseinen kehys ja sen sisältö käyttäen ylempää tiedonsiirtoprotokollaa Frame Header Control Protocol. FHCP on oma tiedonsiirtoeroksensa, mutta fyysisesti sisältyy jokaisen lähetettävän kehyksen sisälle. Sen tarkoitus on ohjata kehys oikealle vastaanottajalle ja kertoa tarvittava tieto lähetettävästä kehyksestä. FHCP:n parametrit ja niiden sijainti otsikossa ovat esitelty taulukossa 4.6. Reitityskontrolliviesti R_CTL kertoo kehyksen käyttötarkoitukset ja käytettävät reititysviestit. D_ID on vastaanottajan tunniste, joka määrittelee datan vastaanottajan. S_ID määrittelee D_ID:n tavoin datan lähettäjän. CS_CTL on lähetysluokkakohtainen viesti, jolla voidaan antaa lähetettävälle kehykselle lisäparametreja, kuten esimerkiksi kiireellisyysluokan. Type määrittelee millaista dataa kehyksessä on. Kehyksen kontrolliparametri F_CTL määrittelee kehyksen tilan. Sillä voidaan kertoa esimerkiksi, onko kyseessä paketin ensimmäinen tai viimeinen kehys. Seq_ID kertoo kehyksen tunnuksen datapaketin sisällä ja Seq_CNT toimii kehysten laskurina datapaketin sisällä. DF_CTL on datan kontrolliviesti, jossa määritellään tarvittavat lisäotsikot datalle. OX_ID on vastaanottotunnus, ja RX_ID on lähetystunnus. Näitä tunnuksia käytetään identifioimaan kyseinen lähetys. Parameter kohtaan voidaan määritellä aloituksen suhteellinen siirto. [4, 34]

Taulukko 4.6 Kehyksen otsikon parametrit ja datan sijainti paketissa.

bitit																															
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
R_CTL								D_ID																							
CS_CTL								S_ID																							
Type								F_CTL																							
Seq_ID								DF_CTL								Seq_CNT															
OX_ID																RX_ID															
parameter																															

USSR:n ollessa kirjautuneena kuitukanavaan lähettäjän ei tarvitse määritellä erikseen vastaanottajan tai lähettäjän osoitetta kehyksen otsikkoon, koska USSR:n portti on vastaanottajaportti. USSR vastaanottaa kaiken mahdollisen datan, jota videokuitukanavassa liikkuu. [29] Kehyksen otsikon parametreista ei FC-AV-standarin

mukaan tarvitse määritellä kuin reitityskontrolliviestiin bitit 3-0 arvoon 0100. Kyseiset bitit määrittelee, että kyseessä on pyytämätöntä videota eli videota ei lähetetä jonkun verkossa olevan laitteen pyynnöstä, vaan sitä syötetään jatkuvasti kaikille verkossa oleville vastaanottimille. Type parametriin määritellään tavun arvoksi 0x60, joka kertoo videon olevan FC-AV-standardin mukaista videota. Kehyksen tunnus ja kehyksen laskuri toimii automaattisesti, joten niille ei tarvitse määrittää mitään arvoja. Kehyksen kontrolliviestissä olevan bitin 19 arvo on kyseisen parametrin ainoa tarvittava tieto. Se määrittelee onko kehys datapaketin viimeinen vai joku muu kehyksistä. Bitin ollessa tilassa yksi on kyseessä paketin viimeinen kehys, ja muiden kehysten osalta bitin tila on nolla. Muita kehyksen otsikon parametrejä ei FC-AV:ssa tarvita. [4]

5. TOTEUTUSMAHDOLLISUUDEN SELVITYS

Insta ILS Oy näki riskin kuitukanavan testauksen toteutuksessa liittyen kytkinverkkoon ja FC-AV-standardiin. Tämän vuoksi toteutusmahdollisuuksia lähdettiin työssä selvittämään perinpohjaisesti. Varmaa tietoa selvitystä tehdessä ei ollut onko kuitukanavalle mahdollista luoda riittävää testauskykyä olemassa olevilla vaihtoehdoilla.

5.1 Toteutusmahdollisuuksien vaatimukset

Toteutusmahdollisuuksien vaatimuksena oli, että toteutuksen pitäisi täyttää kohdan 4.2 vaatimukset kuitukanavalle ja USSR:ssä kulkevalle videolle. Kuitukanavan vaatimuksia muutettiin hieman siten, että tarkoitus ei ollut luoda kokonaista kytkinverkkoa vaan pelkästään Point-to-Point -topologialla yhteys moduulin ja USSR:n välille. Selvityksen lähtökohtana oli liitettävyyden tämän hetken järjestelmään valmiina moduulina. Oman moduulin tekeminen ei tämän työn puitteissa ollut vaihtoehto. Moduuli tulee liittää joko suoraan testiasemaan tai vaihtoehtoisesti ID:n sisällä olevaan IDPC:hen. IDPC:n toimiessa Linux-ympäristössä pitäisi moduulin toimia Linux-ympäristössä. Moduuliin haluttiin myös mahdollisuus videon tallennukseen ja kahteen sisäänmeno- ulostuloporttiin, jotta yhtäaikainen videon lähetys ja vastaanotto olisi mahdollista. Tämä mahdollistaisi kuitukaapelin itsetestin, jolla voidaan todentaa testikaapelin olevan ehjä ja kuituyhteyden toimivan testilaitteessa.

FC-AV-standardin mukaisen moduulin löytäminen ei ollut helppoa, koska FC-AV-standardista on julkaistu uudempi versio, joka on nimeltään ARINC 818. Se on edelleen päivitetty versioon ARINC 818-2. ARINC 818 on laajalti käytössä lentokonemaailmassa, jossa tietoa halutaan siirtää kuitukanavan kautta. ARINC 818 pohjautuu FC-AV-standardiin, mutta ei kaikilta osin ole yhteensopiva FC-AV:n kanssa. ARINC 818 on laajennettu FC-AV, jossa on enemmän mahdollisuuksia parametreja kuitukanavassa kulkevaa videota. ARINC 818-standardi [5] tukee USSR:n vaatimusten mukaista videoformaattia mutta ARINC 818 ilmoittaa kehyksen otsikossa videotyyppikseen ARINC 818 eikä FC-AV, jota USSR odottaa. Tämän vuoksi moduuliratkaisun pitää tukea FC-AV:ta tai olla muutettavissa ARINC 818:sta FC-AV:ksi. Monet valmistajat ovat jo jättäneet FC-AV standardin mukaisten laitteiden

valmistuksen ja siirtyneet valmistamaan ARINC 818 standardin mukaisia laitteita.

5.2 Valmiit toteutusmahdollisuudet

FC-AV-standardia tukevia valmiita moduuleja myyviä valmistajia löytyi kolme kappaletta, jotka työssä nimetään valmistajiksi X, Y ja Z. Nopean selvityksen jälkeen valmistajat X ja Y otettiin tarkempaan tarkasteluun. Valmistajan Z valmistamalle moduulille ei ollut Linux-tukea. [6]

Valmistajalla X on kattava valikoima ARINC 818 tuotteita, jotka eivät suoraan ole yhteensopivia FC-AV-standardin kanssa. Heidän kanssaan selviteltiin erillistä mahdollisuutta käyttää hyväkseen heidän FC-AV-moduulia, jota heillä joskus on valmistettu. Kyseinen moduuli on kuitenkin elinkaarensa, loppupäässä ja sen saatavuudelle ei luvattu varmuutta muutaman vuoden päästä. Hinta tälle moduulille olisi ollut myös suuri. Moduulissa ei myöskään ollut kahta sisäänmeno- ulostuloporttia, ja epäselväksi jäi, onko yhdellä portilla mahdollista tehdä samaan aikaan sekä videon lähetys että vastaanotto.

Valmistaja Y tarjosi vaihtoehdoksi heidän FC-AV/ARINC 818 moduulia, josta voidaan valita kumpaa standardia halutaan käyttää. Heidän kanssaan käydyn keskustelun jälkeen Insta ILS Oy:lle tarjoutui mahdollisuus saada lainaksi testimoduuli yhteensopivuuden testaamiseksi. Valmistajan Y kortille löytyi suora tuki ja esimerkkiohjelma Linux-ympäristöön. Moduulin hinta on huomattavasti valmistajan X moduulia kalliimpi. Valmistajan Y moduulissa on kaksi sisäänmeno- ulostuloporttia, jolloin itsetesti olisi mahdollista. Kaksi erillistä porttia mahdollistaa kortissa myös monitoriominaisuuden. Monitoriominaisuus toimii datamonitorina, jolloin toinen portti lukee kuitukorttiin sisälle kuitukaapelissa liikkuvaa dataa, ja toinen portti lähettää sen ulos samassa muodossa kuin se on luettu. Datamonitori erittelee lue- tusta datasta erilliset otsikkokenttien arvot ja itse videodatan. Insta ILS Oy:llä on tuntemusta valmistajan Y laiterajapinnoista, joten moduulin käyttöönotto ei vaatisi yhtä paljon selvittelyä kuin muiden laitevalmistajien moduulien osalta.

Kolmesta laitevalmistajasta selvästi parhaimmaksi, laitevalmistajien datalehtien ja sähköpostien jälkeen, valikoitui valmistajan Y kuitukortti. Valmistajan X kuitukortista Insta ILS Oy sai tarjouksen, jossa selvästi ilmoitettiin tuotteen olevan elinkaarensa päässä, eikä tuotteen toimitusta voitu taata muutaman vuoden jälkeen. Valmistajan Z moduulille ei luvattu Linux-tukea heidän datalehdillään, joten se vaihtoehto sulkeutui pois. Valmistajan Z moduulia ei kuitenkaan tarkasteltu sen tarkemmin kuin mitä datalehdeltä saatiin selville. Samaa aikaan valmistaja Y tarjosi kuitukorttiaan, joka

oli täysin valmis Linux-ympäristöön. Kuitukortti sisältää mahdollisuudet sekä FC-AV-standardin että ARINC 818-standardin mukaisten videoiden lähettämiseen, ja antaa mahdollisuuden tulevaisuudessa tarvittaessa luoda testauskykyä myös ARINC 818 laitteille.

6. TOTEUTUS

Kuitukortin valinnan jälkeen selveni myös tarvittavat rautaosat kuituyhteyden luomiseen. Laiterajapinnalle omat vaatimuksensa antoivat kuitukortti, USSR ja käytössä oleva IDPC. IDPC:hen on mahdollisuus liittää lisälaitteita erilaisten liittimien kautta. Tässä työssä käytetään IDPC:n Mini PCIe-liitintä välittämään viestejä IDPC:ltä kuitukortille ja takaisin.

6.1 Mini PCIe

Mini PCIe-liittimeen on mahdollisuus liittää erilaisia laitteita. Se tukee erityyppisiä liityntöjä ja väyliä, kuten esimerkiksi PCI Express x1, USB 2.0, SMBus ja SIM-korttiliitynnän. Näistä kuituyhteyteen tarvitaan ainoastaan PCI Express x1 väylää. [19]

PCI Express liittimen nimessä on yleensä kerrottu datakanavien määrä. Määrä kerrotaan kirjaimen x perässä olevalla luvulla. IDPC:n Mini PCIe liittimessä oleva PCI Express x1 väylä tarkoittaa, että siinä on käytössä vain yksi datakanava ja kuitukortissa oleva x4 tarkoittaa, että sen liitin tukee neljää yhtäaikaista datakanavaa. Datakanavien määrä on suoraan verrannollinen datan siirtonopeuteen. Esimerkiksi x4 väylällä voidaan siirtää neljä kertaa nopeammin sama data kuin x1 väylällä. Pienemmällä datakanavamäärällä oleva kortti voidaan varmasti liittää sellaiseen tietokoneeseen, jonka on mahdollista lukea suurempia datamääriä. Esimerkiksi x4 kortti voidaan kytkeä tietokoneeseen, jossa on olemassa x16 liitin. Tällöin data kulkee kortin ja tietokoneen välillä vain neljän datakanavan kautta. PCI Express toimii myös toisinpäin, eli x4 kortti voidaan kytkeä tietokoneeseen, jossa on x1 liitin. Tällöin pitää varmistua, että x1 liitin on fyysisesti sopiva x4 kortille ja kortti toimii vain yhden datakanavan tiedonsiirtonopeudella.

Valmistajan Y kuitukortti on tehty PCI Express x4 liittimellä, joka ei suoraan sopinut käytössä olevaan IDPC:hen. Kuitukortin tiedonsiirtonopeus kuitukanavaan on 1,0625Gbit/s ja PCI Express versiolla 1.0 antaa siirtonopeudeksi 2Gbit/s jokaiselle datakanavalle. Näin ollen kuitukortti on yhteensopiva PCI Express x1 liitynnän kanssa, ja sitä myötä myös yhteensopiva käytössä olevan IDPC:n Mini PCIe-liitynnän

kanssa. [1] Varmistuksena asia tarkistettiin vielä valmistajalta. Jotta kuitukortti saatiin fyysisesti liitettyä Mini PCIe liittimeen, tarvittiin sopiva adapteri. Sopiva adapteri löytyi valmistajalta Amfeltec. Adapteri muuttaa PCI Express x4 liittimen suoraan Mini PCIe liittimeksi. Se lukee ainoastaan x4 liittimestä ensimmäistä datakanavaa ja muuttaa x4 liittimen x1 liittimeksi, vaikka fyysisesti onkin x4 liitin. Adapterin myötä syntyi lisätarve 12V käyttöjännitteelle. Käyttöjännite adapterille hoidettiin työn aikana erillisellä teholahteella, jossa oli AMP 171822-4 liitin. AMP 171822-4 liitin on samanlainen, jota 3.5"levykeasemassa käytetään virtaliittimenä. [2]

6.2 Kuitukaapeli

Valmistajan Y kuitukortti tarvitsee kuituliityntään Small Form-Factor Pluggable (SFP) lähettimen/vastaanottimen. SFP:itä on paljon erilaisia, ja ne tukevat eri siirtotekniikoita. Niitä on olemassa esimerkiksi Ethernet-verkkoon sekä kuitukanavaan. Vaatimuksena SFP:lle on 1,0625Gbit/s tiedonsiirtonopeus ja 850nm VSCEL laser lähetin. SFP:t sisältävät sekä lähettimen että vastaanottimen. Insta ILS Oy:llä on käytössä kuvassa 6.1 oleva Finisar FTLF8519P2BTL SFP, joka on yhteensopiva niin valmistajan Y kuitukortin kuin kuitukanavan vaatimustenkin kanssa. Finisar:n SFP:ssä on kuituliityntää varten LC eli Lucent -liitin (engl. Lucent Connector [15, s. 136]). Liitin on duplex-liitin, eli samassa liittimessä on johdinpaikat sekä lähetettävälle että vastaanotettavalle datalle. Sen maksimi lähetysteho on -2,5 dBm, joka on 0,5 dBm enemmän kuin kuitukanavassa on sallittu. Suuremmasta lähetystehosta ei kuitenkaan ole haittaa, koska lähetystehon kasvaminen näkyy kuitukaapelin vastaanottimen päässä vain voimakkaampana valona.

Kuitukortti liitetään USSR:ään Insta ILS Oy:ssä valmistetulla kuitukaapelilla. USSR:n MIL-liittimien takia suoraan valmista kaapelia ei ole olemassa, minkä vuoksi kuitukaapeli pitää erikseen suunnitella ja valmistaa. Ilma-alus A:n videokuitukanavan määrittelemät vaatimukset sekä kaapelille että liittimille on esitelty työn kohdassa 4.1. Nämä vaatimukset tulee täyttää, jos valmistetaan lentokelpoinen kaapeli. Lentokelpoisen kaapelin tulee olla ilma-alus A:n valmistajan määrittelemää kuitukaapelia ja kuitukontaktit pitää olla saman valmistajan määrittelemiä kontakteja. Tämän työn puitteissa valmistetaan prototyypikaapeli, jolla kuituyhteyden toimivuus voidaan todentaa. Koska prototyypikaapelilla ei testata mitään lentokelpoisia laitteita, sen ei tarvitse täyttää kaikkia lähteiden [11, 27, 28] vaatimuksia.

USSR:n sisällä oleva kuitukaapeli on paksuudeltaan 62,5/125 mikronia. Tämän perusteella prototyypikuitukaapeliin valittiin paksuudeltaan samanlainen, PVC-päällysteinen kuitukaapeli. Vaatimuksen 4.2 kohdan 6 perusteella ilma-aluksen A



Kuva 6.1 Finisar FTLF8519P2BTL SFP.

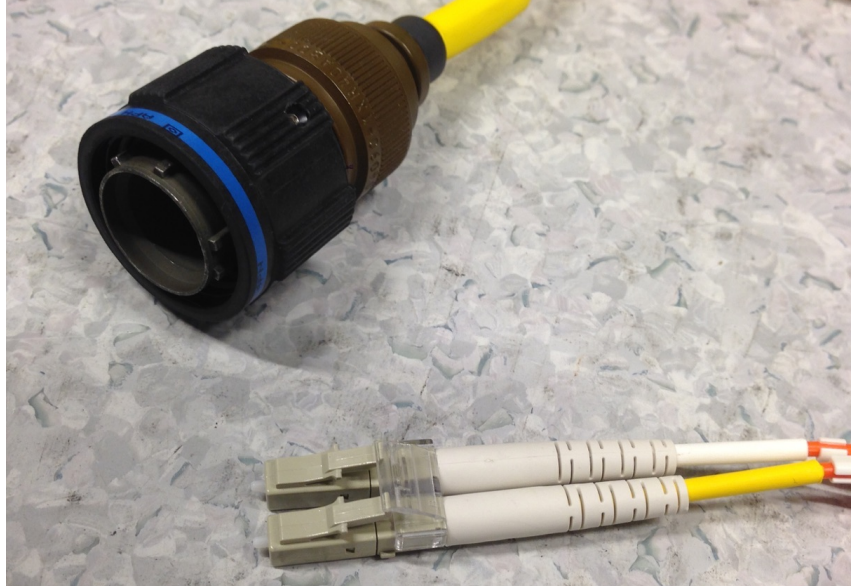
kuitukanavassa on käytössä 100/140 mikronia paksu kaapeli. Protokaapeli oli kuitenkin jo valmistettu ja testattu toimivaksi ennen kuin vaatimuksissa todettu kuidun paksuus selveni, joten uutta kaapelia ei työn puitteissa valmistettu. Prototyypin kuitukaapeliksi valittiin suurin piirtein vastaava kaupallinen kuitukaapeli. Kaapeli vastaa kaapelimäärittelydokumentin [27] 62,5/125 mikronin kaapelin vaatimuksia muuten paitsi suojakuoren osalta.



Kuva 6.2 Amphenol CF-198036-010 -kuitupinni.

Käytössä oleva SFP määritteli kuitukaapelin toiseen päähän kiinnitettäväksi LC-liittimen, joten valittiin sellainen kaupallinen kuitukaapeli, jossa oli valmiiksi molemmissa päissä LC-liittimet. Toiseen päähän kiinnitettiin MIL-38999 sarjan kuori ja kaksi erillistä kuitupinniä. Pinnien määrittelydokumenttien [11, 28] määrittelemien kuitupinnien saatavuus oli todella heikko ja hinta korkea. Tämän vuoksi prototyypikaapeliin päätettiin laittaa muuten vaatimukset täyttävät mutta materiaaliltaan ja

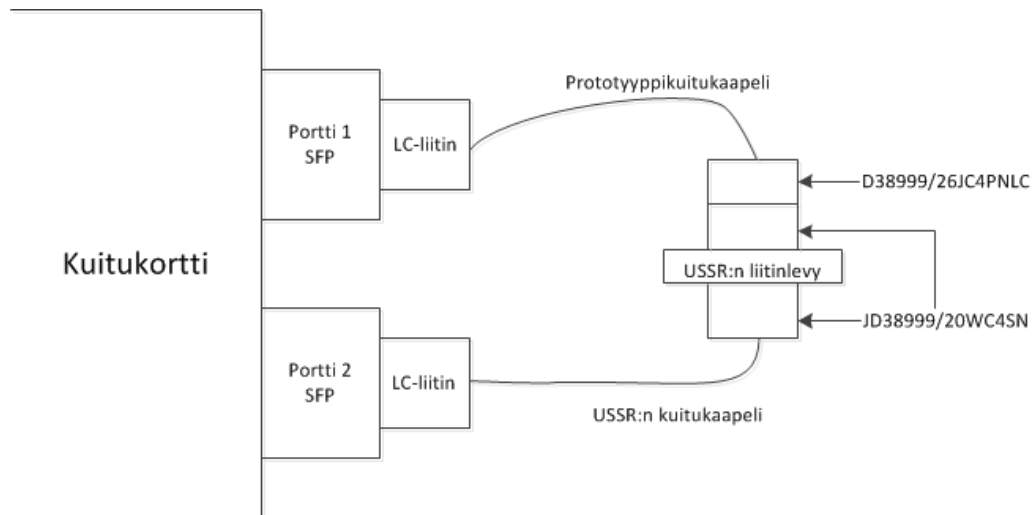
valmistajaltaan erilaiset pinnit. Vaatimusten mukaiset kuitupinnit ovat ruostumattomaa terästä, mutta kaapelit kalustettiin keraamisilla pinneillä. Pinneiksi valikoitui kuvassa 6.2 oleva Amphenol CF-198036-010 pinni. Kaapelista kalustettiin molemmat kaapelin kuidut, vaikka USSR:ltä ei saada ulospäin videota kuitua hyväksi käyttäen.



Kuva 6.3 Kuitukaapelin liittimet: ylempänä D38999/26JC4PNLC-liitin, alempana LC-liitin.

Kaapeli valmistettiin työssä suunnitellun kaapelikuvan mukaan katkaisemalla valmis PVC-kuitukaapeli keskeltä kahtia ja liittämällä leikattuun päähän MIL-liitin pinneineen. Kuitukaapelille tuli pituutta noin viisi metriä. Kuitupinneille ei voida tehdä puriste- tai juotosliitosta samalla tavalla kuin kuparipinneille. Kuitupinnit kiinnitettiin liimaamalla kuorittu kuitu pinnin mukana tulleen ohjeen [3] mukaisesti epoksilla EPO-TEK 353ND. Liimauksen kovetuttua pinnin pää hiottiin ja kiillotettiin sille tarkoitetuilla hioma- ja kiillotuspapereilla. Liimatut pinnit liitettiin MIL-38999 sarjan D38999/26JC4PNLC kuoreen, johon kiinnitettiin liittimeen sopiva supistaja, jotta kuitujohtimet eivät pääsisi liikkumaan liittimen sisällä. Supistajaan tehtiin vedonpoisto käyttäen kutistuvaa liimasukkaa, jotta kaapeliin kohdistuva veto ei kohdistuisi suoraan pinneihin vaan liittimen kuoreen. Molemmat liittimet ovat esitelty kuvassa 6.3.

Kaapelin toimivuus tarkastettiin liittämällä MIL-liitin USSR:n vastaliittimeen, ja USSR:ää purettiin sen verran, että sisällä oleva kuitukaapeli saatiin irrotettua SFP:stä. USSR:n sisällä olevan kuitukaapelin toisessa päässä oleva LC-liitin liitettiin prototyypikaapelin rinnalle kuitukortin toiseen porttiin. Kytöntöjen jälkeen kaapeli ja liitokset testattiin lähettämällä dataa kuitukortin ensimmäisestä portista ja vastaanottamalla toisesta portista. Kuitukaapelin testausympäristö on havainnollistettu

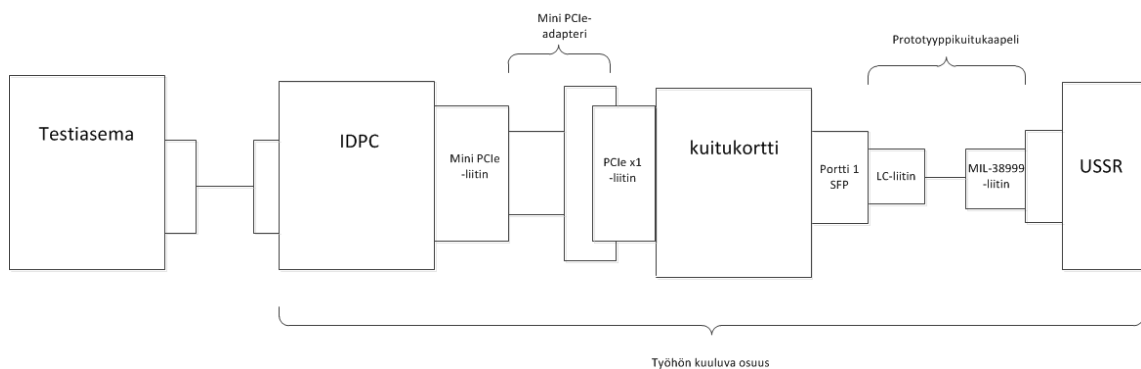


Kuva 6.4 Prototyypikuitukaapelin testausympäristö.

kuvassa 6.4.

6.3 Laiterajapinta

Kuvassa 6.5 on kuvattu koko työn laiterajapinta testiasemalta aina USSR:lle asti. Kuvaan on rajattu ne laitteet, joiden kommunikointi keskenään testataan tässä työssä. Testiaseman kommunikaatio IDPC:n kanssa on jo luotu laitetesteihin ja todettu toimivaksi, joten sitä ei tässä työssä tehdä.



Kuva 6.5 Laiterajapinta.

6.4 Ohjelmisto

Testiasemat lähettävät ennalta sovittuja komentoja, joiden mukaan IDPC suorittaa määrättyjä toimintoja, kuten aloittaa ja lopettaa videon toiston. IDPC:n ohjelma

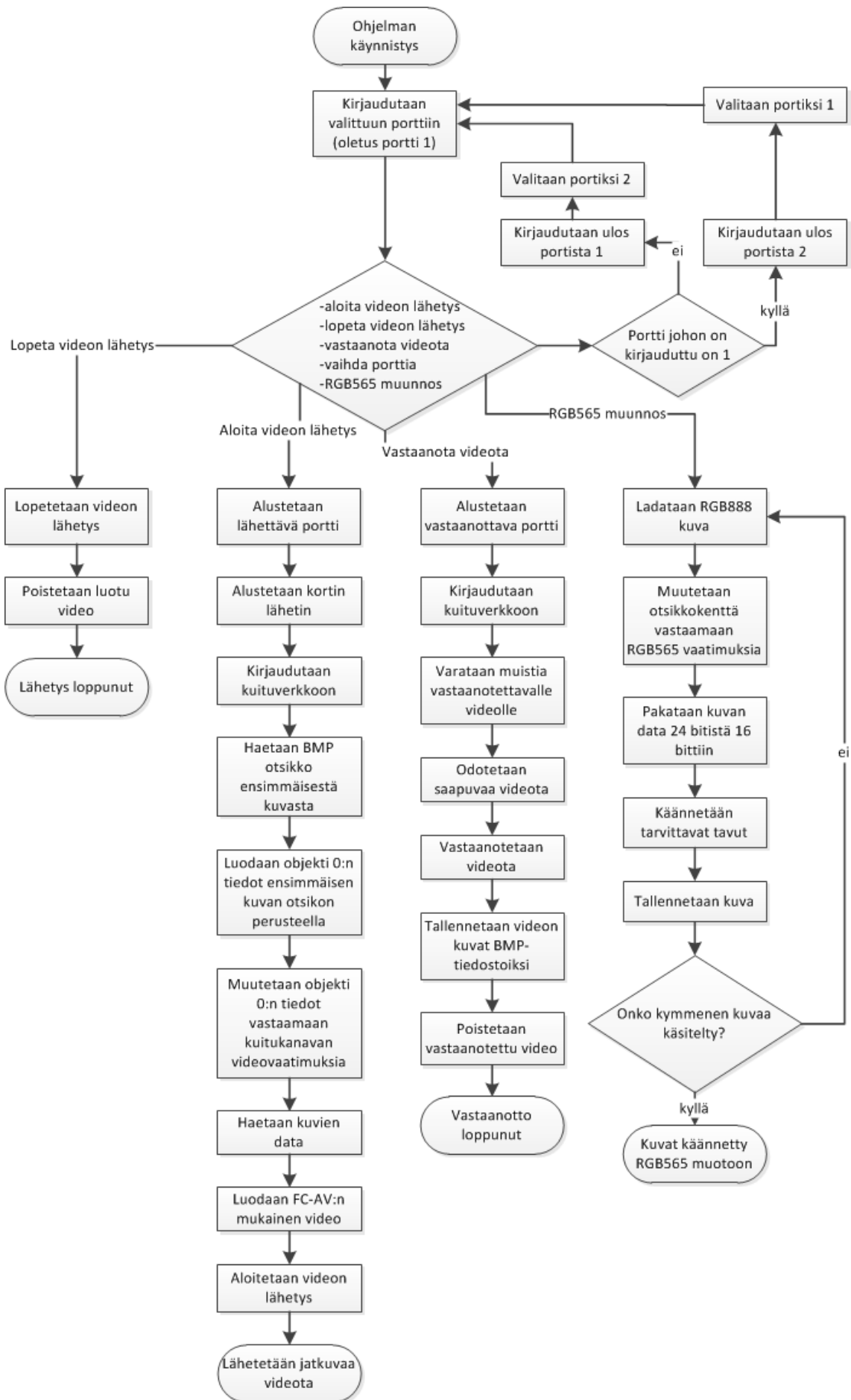
on tehty hyvin joustavaksi lisättävien komentojen osalta, joten kuitukorttia varten tehtävät lisäykset ovat helppoja toteuttaa. Tämän työn puitteissa toteutetaan ainoastaan funktiot, joilla voidaan aloittaa ja lopettaa videon lähettäminen IDPC:ltä USSR:lle ja tallentaa videota IDPC:lle. Tarvittaessa myöhemmin voidaan testiasemien ATLAS-kieliseen ohjelmaan lisätä tarvittavat ennalta sovitut viestit, jotka käskvät IDPC:n aloittamaan tai lopettamaan videon lähetyksen tai vastaanottamaan videota kuitukanavasta.

Työssä ennalta sovitut komennot on korvattu erillisellä komentorivillä suoritettavalla valikolla. Valikosta voidaan käskää videon toisto päälle ja pois. Ohjelman suorittamat funktiot voitaisiin suoraan liittää testeissä käytettävään IDPC:n testiohjelmaan. Valikkoon toteutettiin myös mahdollisuus vastaanottaa kuitukanavasta videota, vaihtaa käytettävää porttia ja muuntaa lähetettävät kuvat oikeaan muotoon.

Valmistaja Y toimitti kuitukorttinsa mukana esimerkkiohjelmiston, jolla voidaan todentaa kuitukortin oikeanlainen toiminta. Kortin käyttäjien on luvallista käyttää esimerkkiohjelmaa oman ohjelmansa pohjana. Kuitukortin mukana toimitettiin erillinen ohjelmistorajapintadokumentti, jossa valmistaja oli määritellyt kaikki funktiot, jolla voidaan ohjata kuitukorttia tekemään haluttuja asioita. Esimerkkiohjelma lukee kymmenen kappaletta BMP-tiedostotyyppiin valokuvia, joista se muodostaa lähetettävän videon. Esimerkkiohjelmassa muodostetun videon pituus rajoittuu ainoastaan kymmeneen kuvaan, jotka lähetetään kahteen kertaan. Ohjelma pitää sisällään myös muita käytettäviä funktioita, kuten videon vastaanottamisen ja kuvien oikean formaatin tarkastuksen. Näitä ominaisuuksia ei USSR:n testaamiseen tarvita. Videon vastaanottamista käytetään kuitenkin testilaitteen ja testikaapelin tarkistamiseen. Testilaitteiston testauksessa kytketään kuitukaapeli suoraan kuitukortin ensimmäisestä portista, joka lähettää videota toiseen porttiin, joka vastaanottaa videota. Näin voidaan varmistua, että kuitukaapeli ei ole rikki ja kuitukortin lähetysominaisuus toimii kuten pitäisi. Prototyypikuitukaapelia ei voida kytkeä suoraan ensimmäisestä portista toiseen porttiin, koska siinä ei ole molemmissa päissä LC-liittimiä. Sen toimivuus voidaan testata kuvan 6.4 määrittämällä testausympäristöllä.

6.5 Testiohjelma

Esimerkkiohjelman tutkimisen jälkeen työssä päädyttiin muokkaamaan jo valmista esimerkkiohjelmaa uuden ohjelman tekemisen sijaan. Esimerkkiohjelma tekee kaikki kortille tehtävät tarpeelliset alustukset ja muistin varaukset, sekä siinä on valmiiksi käytettävä funktio videon tallennukseen. Kuvassa 6.6 on esitelty vuokaaviona testiohjelman valikosta valittavien funktioiden toiminta. Funktiot on tehty käyttäen hyväksi valmistajan Y toimittamaa ohjelmistorajapintaa kuitukortille. Videon lähetyksessä



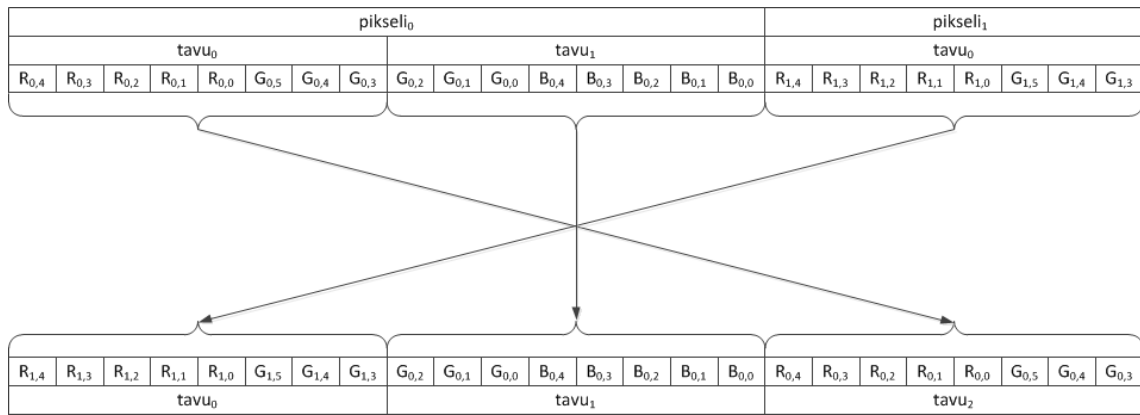
Kuva 6.6 Kuitukortin ohjelman vuokaavio.

portti alustetaan lähettämistä varten, ja se kirjataan verkkoon käyttäen epäsuoraa kirjautumista eli nollataan portin yhteys. Yhteyden luomisen jälkeen ohjelma hakee kuvasarjan ensimmäisen kuvan otsikkotiedot ja muodostaa siitä datapaketin otsikon ja objekti 0:n. Kun otsikko ja objekti 0 on luotu, otsikkoon muutetaan videon toistonopeudeksi 20Hz ja objekti 0:aan muutetaan videokuvan pikselien järjestys. Videoformaatti ja alipikseleiden määrä pikselissä muutetaan vastaamaan ilma-alus A:n videokuitukanavan videoformaattia. Videon vastaanottamisessa portti alustetaan ja kirjataan verkkoon samaan tapaan kuin lähetyksessäkin. Tämän jälkeen varataan videokuville tarvittava muisti ja jäädään odottamaan videota. Videota odotetaan ja tallennetaan niin kauan kunnes tallennus on käsketty pois päältä. Kuitukortin vastaanotettua video se tallentaa videon jokaisen kuvan BMP-tiedostoksi ja poistaa vastaanotetun videon muististansa. Videon lähetyksen lopetuksessa käsketään lähetettävän portin lopettaa lähetys ja poistetaan lähetettävä video muistista. Lähetettävä video kootaan kymmenestä BMP-tiedostomuodossa olevasta kuvasta, jotka pitää muokata videokuitukanavan videoformaattiin ja valmistajan Y ohjelmalle sopivaksi. Tätä varten työssä luotiin erillinen muunnosfunktio.

Valmistajan Y esimerkkiohjelma käsittelee RGB888 kuvia eli kuvan pikselin värit, punainen, vihreä ja sininen, on kuvattu kolmella tavulla eli 24 bitillä. Tällöin jokainen väri kuvataan yhdellä tavulla eli kahdeksalla bitillä. USSR käsittelee videon kuvat RGB565 muodossa, eli punaiselle värille on varattu 5 bittiä, vihreälle värille 6 bittiä ja siniselle värille 5 bittiä. Tämä on yhteensä kaksi tavua. Valmistajalta Y saatujen ohjelmapäivitysten jälkeen kuvien lukeminen ei kuitenkaan onnistunut sellaisessa muodossa, että USSR pystyisi käsittelemään kuvan oikein. Tätä asiaa valmistajan Y yhteyshenkilö yritti korjata moneen kertaan mutta ei siinä onnistunut. Tämän vuoksi työssä tehtiin erillinen kuvankäännösfunktio, joka kääntää BMP-tiedostotyypin kuvan sopivaan lähetettävään muotoon.

Lähetettävien kuvien muokkausohjelma lukee BMP-tiedostomuodossa olevien kuvien datan RGB888 muodossa. Ohjelma käsittelee dataa siten, että punaisen ja sinisen värin tavuista poistetaan kolme vähiten merkitsevää bittiä, jolloin väreistä saadaan viisibittisiä ja vihreästä väristä poistetaan kaksi vähiten merkitsevää bittiä, jolloin väristä saadaan kuusibittinen. Pikselin 24:stä bitistä poistetaan yhteensä kahdeksan bittiä, jolloin kuvan koko pienenee kaksi kolmasosaa alkuperäisen kuvan koosta. BMP-tiedosto tallentaa kuvan pikselin värien tiedot järjestyksessä punainen, vihreä ja sininen. Valmistajan Y ohjelma kääntää lähetettävän datan järjestykseen sininen, vihreä ja punainen. Koska esimerkkiohjelmassa käsitellään RGB888 kuvia jossa jokainen väri on oma tavunsa, riitti kun ohjelmallisesti vaihtoi punaisen ja sinisen värin paikan. RGB565 kuvissa tavut ja tavujen sisältämät pikselit sekoavat, kun joka toinen tavu vaihtaa paikkaa ja joka toinen tavu pysyy paikallaan. Tätä muutosta on

havainnollistettu kuvassa 6.7.



Kuva 6.7 RGP565 kuvan tavujen vaihto, valmistajan Y esimerkkikoodia varten.

Testausvaiheessa tuli ilmi, että vaikka FC-AV-standardin mukaan videolle voidaan antaa kuvan tietoja parametrina, jotka kulkevat videon mukana objekti 0:ssa, USSR ei kyseisiä parametrejä lue. USSR olettaa, että kuitukanavassa kulkeva video on oikeassa formaatissa. Tämän vuoksi kuvan käännohjelman piti vielä kääntää kuvan pikselirivien järjestys ylösalaisin, koska USSR tallentaa videon alkaen ylimmästä rivistä alimpaan riviin, kun taas valmistajan Y ohjelma lähettää datan alimmasta rivistä ylimpään riviin.

Taulukko 6.1 BMP-tiedoston otsikot RGB888-formaatista ja RGB565-formaatissa.

	RGB888	RGB565
tiedostomuoto	BMP	BMP
tiedoston koko	3932214 tavua	2621494 tavua
datan alkamiskohta	tavu 55	tavu 55
BITMAP otsikon koko*	40 tavua	40 tavua
kuvan leveys pikseleissä	1024 pikseliä	1024 pikseliä
kuvan korkeus pikseleissä	1280 pikseliä	1280 pikseliä
väritasojen määrä	1	1
bittejä pikseliä kohden	24 pikseliä	16 pikseliä
kuvan pakkaus	RGB	RGB
kuvan datan koko	3932160 tavua	2621440 pikseliä
kuvan tarkkuus vaakasuoraan	11816 pixeliä/mm	11816 pixeliä/mm
kuvan tarkkuus pystysuoraan	11816 pixeliä/mm	11816 pixeliä/mm
värien määrä	kaikki mahdolliset värit	kaikki mahdolliset värit
tärkeiden värien määrä	kaikki värit	kaikki värit

* BITMAP otsikko kirjoitetaan heti tiedoston otsikon jälkeen, ja se määrittelee kuvan datan sisällön.

Lopuksi käännohjelma tallentaa muokatun kuvan uudeksi BMP-tiedostoksi. Uuden tiedoston alussa olevaan otsikkokenttään on muutettu uuden kuvan koko, formaatti,

väritiedot RGB565 muotoon ja käännetty rivien lukujärjestys. Muutokset alkuperäisen RGB888 ja muutetun RGB565 kuvan välillä näkyvät taulukossa 6.1. RGB565 muutoksen vuoksi tallennettava kuva näyttää tietokoneen näytöllä suttuiselta, jossa värit ovat väärin ja kuva on ylösalaisin. Kuva kuitenkin tallentuu oikein USSR:lle.

7. TULOKSET

Työn lopputuloksena saavutettiin selvitys siitä, mitä USSR:n kuitukanavan testaukseen vaaditaan ja luotiin mahdollinen toteutusratkaisu testaukselle. Samalla luotiin Insta ILS Oy:lle tietämystä FC-AV ja ARINC 818 -standardista. Testaukseen vaaditaan kaksi osa-aluetta, jotka ovat laitteisto ja ohjelma. Näistä kahdesta laitteiston selvittäminen oli vaikeampi työ, koska FC-AV-standardin mukaisia laitteita on vain vähän saatavissa. Ohjelman tekeminen onnistui helpommin muuttamalla kuitukortin mukana tullut esimerkkiohjelma vastaamaan USSR:n kuitukanavan vaatimuksia.

***Taulukko 7.1** Tarvittava laitteisto USSR:n kuitukanavan testausta varten.*

	valittu laite	määrä (kpl)
liitos IDPC:hen	Amfeltec Mini PCI express to PCI express Adapter	1
kuitukortti	Valmistajan Y FC-AV kuitukortti	1
SFP	Finisar FTLF8519P2BTL SFP	2
tehon syöttö adapterille	AMP 171822-4	1
kaapeleita	kuitukortista ID:n kylkeen	2
	ID:stä USSR:ään	1

Kuitukanavan testausta varten tarvitaan taulukon 7.1 mukaisia laitteita. Näistä laitteista Amfeltec:n Mini PCI Express to PCI Express -adapterilla kytketään kuitukortti olemassa olevaan testilaitteistoon. Adapteri vaatii erillisen käyttöjännitteen 12V, joka saadaan testiaseman MFCASS tai RTCASS yleisistä sisäänmeno- ja ulostuloporteista. Käyttöjännitteet pitää kytkeä adapteriin AMP 171822-4 liittimellä. Kuitukortti muuttaa BMP-kuvatiedostot FC-AV-standardin mukaiseksi videoksi, jota voidaan lähettää ja vastaanottaa kuitukortin molemmista porteista. Kuitukortti siirtää lähetettävän videon sähköisesti portteihin, joista SFP:t muuttavat videon optiseen muotoon VCSEL-laserilla. SFP:t pitävät sisällään sekä lähettimen että vastaanottimen. Koska kuitukortissa on kaksi lähetin- vastaanotinporttia, voidaan tarvittava kuitukaapeli ja kuitukanavan testauksessa oleva laitteisto testata lähettämällä videota toisesta portista ja vastaanottamalla video toisesta portista. Tätä kutsutaan kuitukortin toiminnalliseksi itsetestiksi. Itsetestillä voidaan varmistaa, ettei testaava

laitteisto ole rikki. Itsetestiä varten molemmat kuitukortin portit kalustetaan ja niiden liittimet tuodaan testilaitteeseen liitettävän ID:n kylkeen kiinni siten, että molempiin portteihin voidaan kytkeä kaapeli ID:n ulkopuolelta. Kuitukortti tulee sijaitsemaan sinetöidyn ID:n sisäpuolella.

Taulukko 7.2 Tarvittavat kaapelit ja liittimet USSR:n kuitukanavan testausta varten. Ensimmäisessä sarakkeessa esitetään laitteet, joiden välille kaapelit tulevat.

laitteet	tarvittavat kaapelit ja liittimet	määrä
SFP-ID	ilma-aluksen A valmistajan määrittelemä kaapeli	40cm
	LC-liitin	1 kpl
	JD38999/20WC4SB	1kpl
	ilma-aluksen A valmistajan määrittelemä naaraskontakti	2kpl
SFP-ID	ilma-aluksen A valmistajan määrittelemä kaapeli	40cm
	LC-liitin	1kpl
	JD38999/20WC4SN-liitin	1kpl
	ilma-aluksen A valmistajan määrittelemä naaraskontakti	2kpl
ID-USSR/ID	ilma-aluksen A valmistajan määrittelemä kaapeli	2m
	D38999/26JC4PBLC	1kpl
	D38999/26JC4PNLC	1kpl
	ilma-aluksen A valmistajan määrittelemä uroskontakti	4kpl

Erilaisia kaapeleita USSR:n kuitukanavan testaukseen tarvitaan yhteensä kaksi kappaletta. Ensimmäinen kaapeli tuo yhteyden kuitukortilta ID:n kaapelirajapintaan. Laitetesteissä IDPC ja kuitukortti ovat sinetöidyn ID:n sisällä, jotta kukaan ei pääse muuttamaan testauskonfiguraatiota ja tämän myötä vaikuttamaan testaustulokseen. ID:n kaapelirajapinnasta kuituyhteys kytketään USSR:ään erillisellä testikaapelilla. Työssä nämä kaksi kaapelia ovat yhdistetty prototyypikuitukaapeliksi, koska työssä ei ole käytössä ID:tä. Taulukossa 7.2 on esitelty kaikki testauksessa tarvittavat kaapelit ja niiden päihin tulevat liittimet. Edellä mainitussa taulukossa on esitelty myös kolmas kaapeli, jota tarvitaan testilaitteiston toiminnan testaamiseen. Se kytketään kuitukortin portissa 2 olevaan SFP:hen LC-liittimellä ja sen toisessa päässä oleva liitin on samanlainen kuin USSR:n kuitukanavan liitin. Testikaapelia testattaessa kytketään lähetettävä video takaisin kuitukortin porttiin 2, jolloin voidaan varmistaa testikaapelin toimivan oikein. ID:n kaapelirajapinnassa olevien kuituliittimen avainnukset valitaan siten, ettei kaapelia voi erehdyksissä laittaa väärin liittimiin.

Tarvittava ohjelma tehtiin muuttamalla esimerkkiohjelmaa vastaamaan USSR:n kuitukanavan vaatimuksia. Muutoksia ei juuri tarvinnut tehdä, vaan riitti että FC-AV parametrit muutettiin kuitukanavassa kulkevan videon mukaisiksi. Videon lähetys muutettiin jatkuvaksi, jotta testeihin voidaan määritellä erikseen kuinka pitkä videoleike halutaan tallentaa. Videon lähettämiseksi koottiin yksi funktio, jolla videon lähetys saadaan päälle. Tätä funktiota voidaan kutsua IDPC:n alkuperäisessä testiohjelmassa. Videon vastaanottamiselle käytettiin valmista funktiota, jotta testilaitteiston toiminnallinen itsetesti kuitukortille voidaan suorittaa. Ohjelma luo videon kymmenestä BMP-kuvatiedostosta. Työssä tehtiin erillinen kuvanmuokkausohjelma, jolla muutettiin BMP-tiedostot sellaiseen muotoon, että ohjelma lähettää videodatan oikein.

8. YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää Insta ILS Oy:n mahdollisuudet luoda testauskyky laitteen USSR kuitukanavalle. USSR on lentotallennin, joka tallentaa lennonaikaista dataa. Se voi tallentaa videota eri lähteistä ja yksi lähde on ilma-aluksessa A videokuitukanava. Videokuitukanavassa liikkuu videota eri formaateissa, joista yksi on tarkoitettu USSR:n käyttöön. USSR olettaa, että sille lähetettävä video on oikeassa formaatissa, eikä juuri välitä FC-AV-standardin parametreista.

Videokuitukanavassa oleva video perustuu FC-AV-standardiin, jossa käytetään SPDV datan paketoitua. SPDV karsii FC-AV standardista pois äänen ja kuvien siirron. Se käsittelee vain videota lomittamattomassa kuvaformaatissa. Videokuitukanavassa on käytössä kuitukanavan tiedonsiirtokerroksista kolme: FC-0 fyysinen kerros, FC-1 code, FC-2 protokolla ja FC-AV:n tiedonsiirtokerros FC-4 Frame Header Control Protocol. Näistä kerroksista fyysinen kerros pitää sisällään sen, miten dataa fyysisesti käsitellään. Tämä tarkoittaa datan lähettäjiä, vastaanottimia ja kaapeleita jossa data kulkee. Code kerros pakkaa bittimuotoisen datan sähköisiksi tai optisiksi viesteiksi. Kuitukanavassa on käytössä 8B/10B enkoodaus/dekoodaus tasapainottamaan signaalisuhteita ja pitämään siirtokellon synkronoituna.

Lähetettävän videon data käsitellään paketeissa, jotka muodostuvat kehyksistä. Yhden kehyksen koko on 2148 tavua ja kehysten määrä riippuu lähetettävän videon parametreista. Yksi datapaketti vastaa yhtä videon kuvaa. Datapaketti jakaantuu siten, että ensimmäiseen kehykseen kuuluu datapaketin otsikko, joka pitää sisällään tarvittavat tiedot videosta, ja objekti 0, jossa on tiedot videon formaatista. Loput kehykset sisältävät videon dataa. Jokaisella kehyksellä on oma otsikkonsa pitämässä lukua kehysten määrästä, määrittämään kehyksen sisältöä ja kertomaan datan osoitteen. Videokuitukanavassa ei ole käytössä lähettäjän tai vastaanottajan osoitetta vaan portit jakaantuu lähettäjiin ja vastaanottajiin. Kaikki videon vastaanottajaportit vastaanottavat videota kaikilta lähettäjiltä. USSR on videon vastaanottaja.

Toteutukseen valikoitui valmistajan Y kuitukortti, koska se tuki FC-AV-standardia ja se oli liitettävissä adapterilla suoraan testilaitteistoon. Testausta varten valmistettiin prototyyppikuitukaapeli, joka ei vastaa täysin lentokelpoisen kaapelin vaatimuksia

mutta oli ominaisuuksiltaan riittävä kuitukanavan testaukseen. Prototyypikuitukaapeli tehtiin kuitukortin ja USSR:n välille. Kuitukortti soveltuu myös testilaitteiston toiminnalliseen itsetestiin, koska siinä on kaksi erillistä lähetin/vastaanotin porttia. Toiminnallisessa itsetestissä tarkastetaan onko käytettävä kuitukaapeli ja sen liitinrajapinnat ehjät ja lähettääkö kuitukortti videota.

Kuitukanavan testausta varten luotiin ohjelma, jolla komennetaan kuitukorttia. Ohjelma luotiin valmistajan Y antaman esimerkkiohjelman pohjalle, koska siinä olevat funktiot sopivat pienillä korjauksilla suoraan kuitukanavan testaukseen. Ohjelma luotiin siten, että se on liitettävissä olemassa olevaan testiohjelmistoon. Testiohjelma lukee tietokoneelta kymmenen BMP-tiedostoista valokuvaa ja muodostaa niistä jatkuvan videon. Videota lähetetään, kunnes käyttäjä käskää lähetysten lopetuksen. BMP-tiedostoille kuville luotiin muokkausohjelma, joka muutti kuvat vastaamaan videon formaattia ja sopimaan suoraan valmistajan Y esimerkkiohjelmaan.

Diplomityön tavoitteena oli luoda selkeä kokonaisuus tarvittavista laitteista ja ohjelmista kuitukanavan testausta varten ja tässä tavoitteessa onnistuttiin. Työssä saatiin selville, mitä rautaosia ja millainen ohjelma tarvitaan USSR:n kuitukanavan testaukseen. Työn puitteissa Insta ILS Oy:n tieto ja osaaminen kasvoi FC-AV-tiedonsiirtostandardin osalta. Työssä luotiin mahdolliset ohjelmafunktiot virallisia laitetestejä varten.

Työn tekemistä vaikeutti selvitystyön aloittaminen täysin alusta. Vaikka osaamista aihealueesta kasvatettiin hyvin kuitukanavasta kertovien dokumenttien avulla, työ eteni hyvin pitkälti kokeilemalla ja toteamalla jokin toimintatapa oikeaksi. Työtä helpottaakseni kuitukanavan standardia ja muita asiaan liittyviä dokumentteja olisi voinut tulkita alkuun tarkemmin, jotta monelta yritykseltä ja erehdykseltä olisi vältytty. Työn aikana oltiin useasti yhteydessä kuitukortin valmistajaan Y. Yhteydenpito valmistajaan osoittautui hyödylliseksi. Saimme hyviä neuvoja ja ohjeita muokatessamme omaa testiohjelmaa mutta valmistajan kautta saimme myös hyödyllistä tietoa kuitukanavan toiminnasta. Tämän työn aikana huomasin, että aikaa työn tekemiseen meni paljon enemmän kuin alkuun olin ajatellut. Työ opetti sen, että projektien eteneminen ei aina ole omista teoista kiinni.

LÄHTEET

- [1] *Salainen lähde.*
- [2] Amfeltec Corp., ”Flexible miniPCI express to PCI express adapter hardware manual”, tekninen raportti 1.2, 2011.
- [3] Amphenol Aerospace, *MIL-T-29504 fiber optic termini CF-198035-(), CF-198036-() cable installation instructions*, 1993.
- [4] *ANSI INCITS 356-2002 (r2007) fibre channel - audio video (FC-AV)*, American National Standards Institute, Inc, Information Technology Industry Council, 2007.
- [5] *Avionics digital video bus (ADVB) high data rate, ARINC specification 818-2*, Airlines Electronic Engineering Committee (AEEC), Aeronautical Radio, Inc., 2013.
- [6] *Salainen lähde.*
- [7] Cisco System, Inc, *CCNA 1 and 2 Companion Guide*. Cisco Press, 2003, ISBN: 1-58713-110-2.
- [8] K. Devices, *Fibre Optic Communications*, 1. painos, N. G. Herbert Venghaus, toim. Springer-Verlag berlin Heidelberg, 2012, vol. 161, ISBN: 978-3-642-20517-0.
- [9] T. W. Dimitrios Serpanos, *Architecture of Network Systems*. Elsevier, 2011, ISBN: 978-0-12-374494-4.
- [10] Fiber-Optics.Info, *Fiber dispersion*, [WWW], 2015. url: http://www.fiber-optics.info/articles/fiber_dispersion (viitattu 31.10.2015).
- [11] *Salainen lähde.*
- [12] Inter Netix, *Kokonaishyjastus*, [WWW], 2015. url: http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/fy/fy3/2_aaltoliike/206?C:D=iS3h.iPg2&m:selres=iS3h.iPg2 (viitattu 31.10.2015).
- [13] *Salainen lähde.*
- [14] *Salainen lähde.*
- [15] G. Keiser, *Optical Communications Essentials*. McGraw-Hill, 2003, ISBN: 9780071412049.
- [16] Lattice Semiconductor, *8b/10b encoder/decoder*, [WWW]. url: http://www.latticesemi.com/view_document?document_id=5653 (viitattu 07.10.2015).
- [17] *Salainen lähde.*

- [18] *Salainen lähde.*
- [19] *PCI express mini card electromechanical specification*, PCI-SIG. url: http://www.mod-book.ru/forum/attachment.php?attachmentid=1035&usg=%20AFQjCNHi_5S7Gf0HKzraRtzns0Y_hkIcQw&sig2=86DSvz4ba74cqYDoMjhdFA&bvm=%20bv.106379543,d.bGQ.
- [20] *Salainen lähde.*
- [21] Princeton Optronics, Inc, *Vertical-cavity surface-emitting laser technology*, [WWW]. url: www.princetonoptronics.com/pdfs/Introduction2VCSELS.pdf (viitattu 31. 10. 2015).
- [22] M. M.-P. Read Paul, toim., *Resonation Of Motion Picture Film*, 1. Butterworth-Heinemann, 2000, ISBN: 0 7506 2793 X.
- [23] *T11/10-010v3 fibre channel framing and signal interface - 3 (FC-FS-3) rev.1.11*, American National Standard for Information Systems, Information Technology Industry Council, 2010.
- [24] *T11/14-018v3 fibre channel framing and signal interface - 4 (FC-FS-3) rev.1.10*, American National Standard for Information Systems, Information Technology Industry Council, 2014.
- [25] *Salainen lähde.*
- [26] *Salainen lähde.*
- [27] *Salainen lähde.*
- [28] *Salainen lähde.*
- [29] *Salainen lähde.*
- [30] *The cass family OTPS sustainment process*, [WWW]. url: http://www.acq.osd.mil/ats/CASS_Family_OTPS_Sustainment_Process_-_Version_1.1.pdf (viitattu 20.01.2015).
- [31] M. Tur, *Advanced Fiber Optics*, L. Thévenaz, toim. EPFL Press, 2011, ISBN: 978-1-4822-4703-9.
- [32] N. Uchida, *Handbook of Optical Interconnects*, S. Kawai, toim. CRC Press, 2005, ISBN: 978-1-4200-2777-8.
- [33] *US Navy's got CASS: Electronic consolidated automated support system completes cdr*, [WWW]. url: <http://www.defenseindustrydaily.com/US-Navys-Got-CASS-Updating-a-1990s-Vintage-Automatic-Test-System-06254/> (viitattu 20.01.2015).

- [34] *X3t11/project 755d/rev 4.3 fibre channel physical and signal interface (FC-PH) rev.4.3*, American National Standard for Information Systems, Information Technology Industry Council, 1994.