



TEKNIikka JA LIIKENNE

Tietotekniikka

Ohjelmistotekniikka

INSINÖÖRITYÖ

Röntgenlaitteen testauksen automatisointi

**Työn tekijä: Janne Vuorijärvi
Työn ohjaajat: Auvo Häkkinen
Juuso Sirén**

Työ hyväksytty: __. __. 2009

**Auvo Häkkinen
Yliopettaja**



ALKULAUSE

Tämä insinööriyö tehtiin PaloDEX Group Oy:lle. Kiitän projektissa mukana olleita, Palodex Group Oy:n Scanora@3D-projektitiimiä sekä Testnova Oy:tä, jonka kanssa yhteistyössä projekti toteutettiin.

Helsingissä 12.11.2009

Janne Vuorijärvi

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Janne Vuorijärvi	
Työn nimi: Röntgenlaitteen testauksen automatisointi	
Päivämäärä: 12.11.2009	Sivumäärä: 39 s.
Koulutusohjelma: Tietotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Ohjelmistotekniikka
Työn ohjaaja: Auvo Häkkinen	
Työn ohjaaja: Juuso Sirén	
<p>Nykyaikaiset röntgenlaitteet sisältävät suuren määrän niin elektroniikkaa kuin ohjelmistoja. Näiden testaaminen on usein haastavaa ja aikaa vievä prosessi. Tämä insinöörityö oli osa suurempaa projektia, jossa luotiin automaattinen testausjärjestelmä Soredexin Scanora®3D-röntgenlaitteen elektroniikkakorteille. Projekti toteutettiin yhteistyössä Testnova Oy:n kanssa.</p> <p>Työn alussa esitellään pääpiirteittäin testattavaa järjestelmää, sen ominaisuuksia sekä laitteistoa, jotta lukija saa kokonaiskuvan siitä, mitä työssä tehdyllä testausjärjestelmällä testataan. Testausjärjestelmästä esitellään siihen kuuluvaa laitteistoa sekä ohjelmistot. Laitteistosta kerrotaan pintapuolisesti, mikä on kunkin osan tehtävä järjestelmässä. Ohjelmistoista kerrotaan tarkemmin, miten ne toimivat ja kommunikoivat keskenään. Työssä syntyneestä testausohjelmistosta esitellään jokainen yksittäinen testitapaus, mitä ja miten testillä testataan sekä miten testit on todettu toimiviksi. Työssä syntyi testausohjelmisto, joka on liitetty osaksi Scanora®3D-röntgenlaitteen normaalia ohjelmistoa.</p> <p>Työn lopussa esitellään muutamia parannusehdotuksia, miten järjestelmästä saataisiin kattavampi sekä käyttäjäystävällisempi. Valmis järjestelmä lähetettiin Scanora®3D-elektroniikkakorttien alihankkijalle, joka testaa järjestelmällä tuottamansa elektroniikkakortit. Työssä tehty järjestelmä on toiminut hyvin ja karsinut elektroniikkakorttien tuotantoeristä virheelliset kortit. Testausjärjestelmä on tehnyt sen, mihin se suunniteltiin.</p>	
Avainsanat: testaus, Scanora®3D, automatisointi, röntgenlaite	

ABSTRACT

Name: Janne Vuorijärvi	
Title: Automated testing of X-ray device	
Date: 12.11.2009	Number of pages: 39
Department: Information technology	Study Programme: Software technology
Instructor: Auvo Häkkinen	
Supervisor: Juuso Sirèn	
<p>Modern X-ray device contain a large amount of electronics and software. The testing of these is often a challenging and time-consuming process. In this study, a software programme was created for controlling I/O-boards during the testing. This thesis was a part of a larger project, which created an automatic system for testing the Soredex Scanora@3D-Xray device's electronic boards. The project was carried out with Testnova Oy.</p> <p>The beginning of the thesis briefly outlines the tested system, Scanora@3D-Xray device, its features and hardware in order to give the reader a full picture of what is tested by the testing system. The testing system is presented for both hardware and software. The hardware is described superficially by explaining what the function of each part of the system is. The software is described in greater details focusing on how all parts operate and communicate with each other. In addition, the individual test cases included in the testing software created in this thesis are described for function and functionality. This software has been added to be a part of the embedded software of the Scanora@3D-Xray device.</p> <p>Based on the experience gained in this study, a few suggestions on how the testing system can be developed to become more comprehensive and user-friendly are given. The completed testing system was sent to the subcontractor who manufactures electronic boards for the Scanora@3D-Xray device. The subcontractor now tests all manufactured electronic boards for the Scanora@3D-Xray device and delivers only those boards which pass the tests. The testing system has worked well, and it has eliminated defect cards from the production of Scanora@3D-Xray device electronic boards. The testing system has achieved what it was designed for.</p>	
Keywords: testing, Scanora@3D, automation, x-ray unit	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	TESTATTAVA JÄRJESTELMÄ	3
2.1	Panoraamakuvaus	4
2.2	Kartiokeilakuvaus	5
3	TESTAUSYMPÄRISTÖ	7
3.1	Laitteisto	7
3.1.1	<i>Testauslaatikko</i>	8
3.1.2	<i>Testauskehikot</i>	10
3.1.3	<i>Mittalaitteistot</i>	10
3.2	Ohjelmisto	10
3.2.1	<i>CPU-kortin testausohjelmisto</i>	12
3.2.2	<i>S2terminal-huolto-ohjelma</i>	12
3.3	Käytetyt protokollat	13
4	TESTATTAVAT ELEKTRONIIKKAKORTIT JA TESTITULOKSET	20
4.1	R3200 I/O-kortin testaus	20
4.1.1	<i>DDRAM-muistin hallinta</i>	21
4.1.2	<i>CCD-kameran rajapinta</i>	22
4.1.3	<i>3D-sensorin rajapinta</i>	23
4.1.4	<i>Pyöräjän moottorin ajo</i>	23
4.1.5	<i>I/O-rajapinta</i>	24
4.2	R3300 I/O-kortin testaus	24
4.2.1	<i>Detektorin moottorin ajo</i>	25
4.2.2	<i>Detektorin moottorin rajapinta</i>	26
4.2.3	<i>Kollimaattorin moottorin ajo</i>	26
4.2.4	<i>Kollimaattorin ja säteilyaukon moottoreiden rajapinnat</i>	27
4.2.5	<i>Pyöräjän X-liikkeen moottorin ajo</i>	27
4.2.6	<i>Säteilyaukon moottorin ajo</i>	27
4.2.7	<i>Potilaankohdistuslaserit</i>	28
4.2.8	<i>Säteilyputken esihehku</i>	29
4.2.9	<i>Säteilijän referenssiarvot</i>	29
4.2.10	<i>Säteilijän takaisinkytkentäarvot</i>	30
4.2.11	<i>Hälyytyssireeni</i>	30
4.2.12	<i>Pyöräjän moottorin rajapinta</i>	31

4.2.13	<i>Säteilypainikkeen rajapinta</i>	31
4.3	R3400 I/O -kortin testaus	32
4.3.1	<i>Z-moottorin ajo</i>	32
4.3.2	<i>Y-moottorin ajo</i>	33
4.3.3	<i>Leukatuen moottorin ajo</i>	33
4.3.4	<i>Y-moottorin rajapinta</i>	34
4.3.5	<i>Kaukosäätimen rajapinta</i>	34
4.4	Testien tuloksia	35
5	TESTERIN JATKOKEHITYS	37
6	YHTEENVETO	38
	VIITELUETTELO	40

1 JOHDANTO

Röntgenlaitteet ovat monimutkaisia kokonaisuuksia. Ne sisältävät suuren määrän niin elektroniikkaa kuin myös ohjelmistoja. Näillä hallitaan röntgenlaitteen moottoreita, kuvaamista sekä muuta logiikkaa. Laitteen monimutkaisuuden vuoksi sen testaaminen on pitkä ja aikaa vievä prosessi. Aluksi joudutaan testaamaan jokainen yksittäinen piirikortti, sitten kasaamaan laite ja testaamaan, toimiiko kokonaisuus niin kuin pitää.

Perinteisesti piirikortit testataan valmiilla laitteella, jonka tiedetään toimivan. Testattava kortti asennetaan laitteeseen ja testataan, toimiiko laite normaalisti testattavan piirikortin kanssa. Tämä testaustapa on kuitenkin hidas johtuen siitä, että kone pitää jokaisen testattavan kortin välissä sammuttaa, käynnistää, ajaa alustusrutiinit. Useimpien korttien kohdalla tarvitsee tehdä myös muita rutiineja, kuten kalibrointeja ja kuvaamista.

Perinteinen testaustapa tuo mukanaan erinäisiä ongelmia. Jos kone ei enää toimikaan, voi syynä olla huonosti kiinnitetty johto eikä niinkään viallinen piirikortti. Tällöin vian ilmetessä on usein tarpeen tarkistaa testattavan piirikortin johdotukset ja tehdä uudestaan kortin testausrutiinit. Jos taas piirikortti on viallinen, on riski, että laitteen muut toimivat osat voivat vioittua. Pahimmassa tapauksessa tämä voi aiheuttaa elektronisen ketjureaktion, jolloin laitteesta saattaa tuhoutua hyvinkin paljon elektroniikkaa.

Tämän insinööriyön tavoitteena oli rakentaa lähes automaattinen testausjärjestelmä kaikille Scanora®3D-röntgenlaitteen I/O- sekä virtakorteille. Järjestelmän tulee olla täysin erillinen oma yksikkönsä, jolloin testattavat kortit eivät ole kiinni enää itse röntgenlaitteessa vaan virtasuojatussa kehikossa. Näin ollen viallinen kortti voi pahimmassa tapauksessa laukaista vain releitä.

Testausjärjestelmä rakennettiin Soredexin Scanora®3D-röntgenlaitteelle. Tämä röntgenlaite on kehitetty hammaskuvantamiseen, ja se edustaa lajinsa uusinta sukupolvea. Perinteisten 2D-kuvien lisäksi laitteella pystytään ottamaan hampaista myös 3D-kuvia, joita tietokoneella voidaan käsitellä. 3D-kuva antaa hammaslääkäreille paremman kokonaiskuvan hampaista, miten hampaitten ikenet ja hermot menevät. Yhden Scanora®3D-

röntgenlaitteen hinta vuonna 2008 oli noin 250 000 euroa, joten opinnäytetyön yhteydessä käsiteltiin varsin hintavaa laitteistoa.

Koko järjestelmään kuuluu paljon erilaisia osia. Pääkokonaisuuksia on kaksi: itse testattava järjestelmä Scanora®3D ja testausympäristö. Testausympäristö jakautuu omiin pienempiin osiin, joita ovat testauslaatikko, testauskehikot ja virransyöttö- ja mittalaiteyksikkö.

Tämän insinöörityön osuus koko järjestelmästä oli Scanora®3D-röntgenlaitteen sisältä löytyvän CPU-kortin ohjelmamoduuli, jolla Scanora®3D:n I/O-korttien testejä hallitaan. Testien hallintaan kuuluu testin käynnistäminen, suorittaminen, lopettaminen sekä testauksen aikainen yhteydenpito testauslaatikon ohjelmistoon. Työhön kuului myös testausohjelmamoduulin testaaminen sekä järjestelmän käyttämän kommunikointikäytännön suunnittelu. Myöhemmin tekstissä esiintyvä CPU-kortin testausohjelmisto tarkoittaa tätä testausohjelmamoduulia.

Kun projekti aloitettiin, koko järjestelmästä ei ollut valmiina kuin betavaiheen Scanora®3D-röntgenlaitteita ja karkea dokumentaatio siitä, mitä Scanora®3D:n elektroniikkakorteista pitäisi testata. Näin ollen koko työssä valmistunut testausympäristö rakennettiin lähes puhtaalta pöydältä. Se, että laite oli vielä betavaiheessa, toi oman haasteensa tälle projektille. Kun Scanora®3D:n laitteisto tai ohjelmisto muuttui, jouduttiin usein tekemään muutoksia myös testausjärjestelmän ohjelmistoon tai/ja laitteistoon.

Tämä opinnäytetyö on jaettu kuuteen lukuun. Luvussa 2 esitellään testattavaa laitetta: minkälaiseen käyttöön se on tarkoitettu ja millainen on sen rakenne. Luku 3 käsittelee, minkälaisista osista testausjärjestelmä koostuu ja millaisia ohjelmistoja siinä on. Luvussa 4 käydään läpi testattavat elektroniikkakortit sekä miten ne on testattu. Luvussa 5 tutkitaan järjestelmän jatkokehitysmahdollisuuksia. Luvussa 6 on yhteenveto tehdystä testausjärjestelmästä sekä tästä opinnäytetyöstä ja tulokset, päästiinkö tavoitteisiin.

2 TESTATTAVA JÄRJESTELMÄ

Testattavana järjestelmänä on Scanora®3D-röntgenlaitteen (kuva 1) I/O- sekä virtakortit. Scanora®3D-röntgenlaite on Soredexin toukokuussa 2008 julkaisema hammaskuvantamiseen tarkoitettu röntgenlaite. Siinä yhdistyvät kolmen kuvakoon 3D-kartiokeila ja teräväpiirtopanoraamakuvaus. Tämä kokonaisuus saa aikaan anatomisesti oikeanlaisia sekä korkealaatuisia kuvia hampaista, luustosta sekä pehmytkudoksesta. Järjestelmä on suunniteltu auttamaan hammaslääkäreitä suunhoidossa sekä suukirurgteja lyhentämään hoitosuunnittelun aikaa. Laitteen ominaisuuksien kuten 3D-kuvauksen ansiosta kirurgit pystyvät lisäämään kirurgisten operaatioiden onnistuvuutta sekä parantamaan työnkulkua. [1.]



Kuva 1. Scanora®3D-röntgenlaite. [1]

Kuvien resoluutio, niin panoraama- kuin kartiokeilakuvauksessa, on valittavissa. 3D-tilassa Scanora®3D tarjoaa kahta eri kuvaresoluutiota. Resoluution koko vaikuttaa suoraan tarvittavaan sädeannokseen ja kuvantamisaikaan. Pienemmän resoluution kuvat tarvitsevat vähemmän säteitä, ja kuvaus tapahtuu nopeasti. Pienemmän sädeannoksen ja riittävän tarkkuuden vuoksi pienempi resoluutio on usein riittävä useimmissa

tapauksissa. Suurempi resoluutio antaa paljon tarkemman kuvan, mutta kuvaus kestää kauemmin ja säteitä tarvitaan huomattavasti enemmän. [1.]

2.1 Panoraamakuvaus

Panoraamakuva on usein ensimmäinen askel hammaskuvantamisessa. Sen avulla saadaan kokonaiskuva kaikista hampaista, niiden juurista sekä hermoradoista (kuva 2).



Kuva 2. Panoraamakuva. [11]

Panoraamakuva luodaan ottamalla useita yksittäisiä kuvia, jotka lopulta kootaan yhdeksi kuvaksi tietokoneella. Scanora®3D-röntgenlaitteessa yksi yksittäinen kuva on yhden pikselin levyinen ja koko kuvan korkuinen. Näitä yksittäisiä kuvia otetaan kuvauksen aikana noin 2000. Tämä määrää kuvan tarkkuuden. Mitä enemmän kuvia otetaan sitä ohuempia kuvat ovat ja lopullinen kuva on tarkempi. [8.]

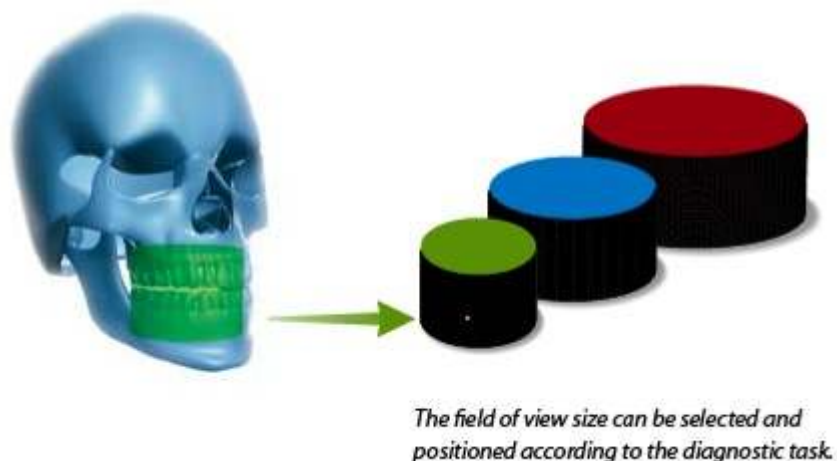
Scanora®3D tarjoaa tavan ottaa tarkkoja panoraamakuvia. Panoraamajärjestelmä on kiinteä, eikä tarvitse erillisiä asennuksia. Kuvantamistyylin vaihtaminen kartiokuvauksesta panoraamaan tapahtuu helposti napin painalluksella, jolloin panoraamakamera asettuu automaattisesti paikoilleen. Tämä ominaisuus tekee laitteesta varsin nopean ja tehokkaan käyttää. Lyhyet kuvantamis- ja kuvan generointiajat omalta osaltaan parantavat ja nopeuttavat laitteen käyttöä. [1.]

2.2 Kartiokeilakuvaus

Joskus pelkkä panoraamakuva ei riitä, vaan tarvitaan yksityiskohtaisempia kuvia tietyistä paikoista. Tällöin voidaan kuva ottaa kartiokeilakuvauksella.

Kartiokeilakuvaus tapahtuu kiertämällä 360 astetta pään ympärillä ja ampumalla kartiomaisella röntgensädekeilalla 3D-kamerapaneeliin. Kamerapaneeli rekisteröi vokseleita (eng, voxel), jotka ovat kolmiulotteisia pikseleitä. Vokselit yhdistämällä kolmiulotteisessa avaruudessa saadaan tulokseksi 3D-kuva. Vokseleiden sivun pituus on 0,125 mm ja niiden paksuus voi vaihdella 0,125 mm – 2 mm. Vokselin paksuus määrää kuvan tarkkuuden. Scanora®3D:ssä vokseleiden paksuus on 0,133 mm – 0,35 mm riippuen valitusta kuvakoosta. [9, 10.]

Scanora®3D tarjoaa kartiokeilakuvauksessa kolmea kuvakokoa, joista esim. hammaslääkäri voi valita aina tapauskohtaisesti parhaiten sopivimman koon. Kuvassa 3 näkyy, miten nämä eri kuvakoot ovat suhteessa pääkalloon. Pienin kuvakoko on 60 mm x 60 mm, ja se soveltuu parhaiten hammasimplanttien kanssa operoimiseen, paikallisten hammasongelmien sekä yksittäisen leukanivelen tutkimiseen. Keskimäinen kuvakoko, 75 mm x 100 mm, on sopiva, kun halutaan tutkia koko hampaistoa ja alaleuan hammashermoja. Suurinta kuvakokoa, 75 mm x 145 mm, voidaan käyttää koko hampaiston, kummankin leukanivelen, ylimpien niskanikamien tai kasvoalueiden ilmäteiden tutkimiseen. [1.]



Kuva 3. Kuvakoot suhteessa pääkalloon. [1]

3D-kartiokuvauksen ansiosta otettuja kuvia voi tutkia tietokoneella kolmiulotteisesti (kuva 4). 3D-kuvaa pystytään vapaasti pyörittämään ja

leikkaamaan halutusta tasosta. Kuvan kontrastia muuttamalla saadaan näkyviin pehmytkudokset tai pelkkä luusto. Tavanomaiseen kartiokeilakuvaan verrattuna tämä tarjoaa etuja. Sen sijaan, että hammaslääkäri joutuisi päättämään tavallisesta 2D-kuvasta hermoratojen kulkua sekä muita oleellisia asioita, hän voi mennä 3D-mallinnuksen avulla kuvan sisälle, tutkia kuvaa syvyysuunnassa, pyöritellä kuvaa mihin kulmaan tahansa ja paljon muuta. Kuvaa pyörittämällä hammaslääkäri voi nähdä paremmin, miten hampaiden ikenet ovat asettuneet. Kun kuvan tasojen välillä kuljetaan, poikkileikkauksista voidaan nähdä helposti, jos ja miten hermot kulkevat ikenien välissä. Näkyvän materiaalin tiheyttä säätämällä pystytään poistamaan tai tuomaan pehmytkudos kuvaan. Näiden ansiosta hammaslääkäri voi nähdä ja tutkia kuvattua aluetta selkeämmin ja mahdollisesti saavuttaa potilaan kannalta parempia tuloksia. [2.]



Kuva 4. Esimerkkikuvat suurimmasta ja keskikokoisesta 3D-kartiokeilauksesta. [12, 13]

3 TESTAUSYMPÄRISTÖ

Testausjärjestelmään kuuluu testauslaatikko sekä -kehikoita, joissa testattavat kortit testataan. Kuvasta 5 näkyy testausjärjestelmä kokonaisuudessaan. Kuvan vasemmassa laidassa on testauslaatikko ja sen sisällä testauskehikko, johon on kiinnitetty yksi Scanora®3D:n virtakorteista. Kuvan oikeassa laidassa on mittaus- ja virransyöttöyksikkö. Kuvan keskellä on tietokoneen monitori ja hallintalaitteisto. Itse tietokone on sijoitettuna mittaus- ja virransyöttöyksikköön.



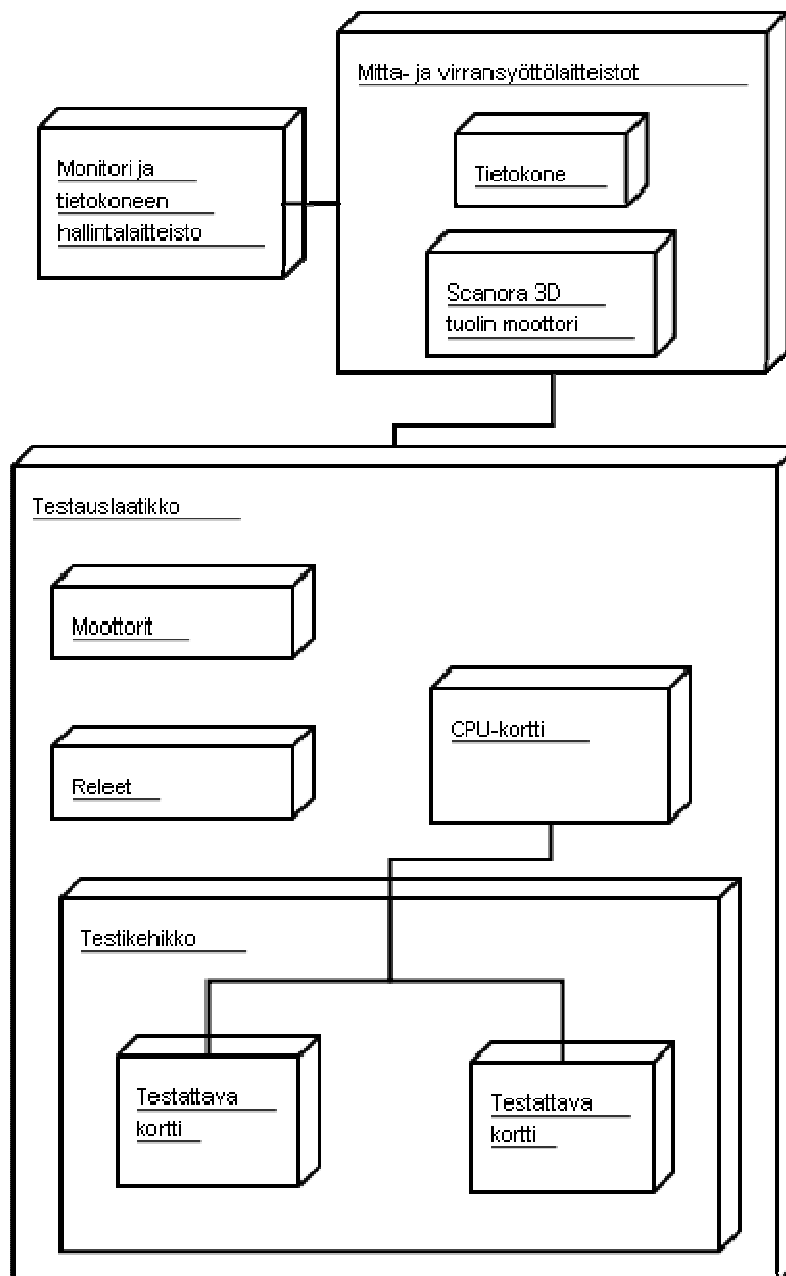
Kuva 5. Testausjärjestelmä.

Nämä kehiöt sekä testauslaatikon suunnitteli ja toteutti Testnova Oy. Mittaus- ja virransyöttöyksikkö sisältää kaikki tarvittavat mittalaitteistot, virransyöttöyksiköt, tietokoneen sekä yhden Scanora®3D:n moottoreista. Mittaus- ja virransyöttöyksikköön sijoitettuun tietokoneeseen on asennettu pääteohjelma, testauslaatikon releohjausohjelmisto sekä s2terminal-huolto-ohjelma.

3.1 Laitteisto

Kuvassa 6 on esitetty, miten järjestelmän laitteiston eri osat ovat yhteydessä toisiinsa sekä mitä suurimmat laitteistomodulit pitävät sisällään. Laitteisto toimii kokonaisuudessaan siten, että käytettävä testauskehikko kiinnitetään testauslaatikkoon. Testattava Scanora®3D:n elektroniikkakortti asetetaan

testauskehikkoon sille kuuluvaan paikkaan. Mittaus- ja virransyöttöyksikkö laitetaan päälle, jolloin testauslaatikko sähköistyy. Tämän jälkeen tietokoneelta ohjataan testauslaatikon releillä virta myös testattavalle kortille sekä CPU-kortille. Nyt järjestelmä on valmis käynnistämään testauksen.



Kuva 6. Laitteistokaavio.

3.1.1 Testauslaatikko

Testauslaatikko on koko järjestelmän sydän (kuva 6). Se sisältää releitä, moottoreita, mitta-antureita sekä Scanora@3D:n CPU-kortin.

Releet ohjaavat testauslaatikon toimintaa, mitta-antureita, testattavan kortin sähköistystä sekä optojen ja mikrojen signaaleja. Mikrot ovat mekaanisia kytkimiä, jotka sijaitsevat yleensä moottorin liikeradan päissä. Näiden avulla ohjelmisto tietää, milloin moottori on saavuttanut jommankumman ääripäistä, ja osaa siten sammuttaa moottorin oikeaan aikaan. Optot ovat taas optohaarukan ja -liuskan yhdistelmiä. Näiden avulla ohjelmisto tietää, missä kohtaa moottori menee sen liikeradalla. Mitä enemmän optohaarukoita ja -liuskoja on, sitä tarkemmin ohjelmisto tietää moottorin sijainnin.

Mitta-anturit mittaavat testattavan kortin sisään- ja ulostulojännitearvoja. Näitä antureita käytetään myös moottoreiden liikkeiden havaitsemiseen. Testauslaatikossa on myös liittimiä ja liitinpiikkejä, joilla testikehikot liitetään järjestelmään.

Releiden ohjauksesta ja hallinnasta vastaa Testnova Oy:n oma ohjelmisto. Käytettävät releet valitaan aina testikohtaisesti, ja samoilla releillä voi olla useita toiminnallisuuksia riippuen testistä. Releiden avulla mm. ohjataan jännitteitä testauslaatikon liitinpiikkeihin, liitetään mitta-antureita lukemaan jonkin liitinpiikin arvoja tai muodostetaan silmukointeja, joilla testattavan kortin ulostulo ohjataan suoraan testattavan kortin sisääntuloon.

Testauslaatikko pitää sisällään lähes kaikki Scanora®3D:n moottorit. Vain suurin moottori on sijoitettu mittalaitteistojen kanssa erilliseen yksikköön. Testauslaatikon moottoreita ohjaa aina testattava kortti. Moottoreihin kiinnitetyt anturit kertovat järjestelmälle, tekeekö moottori niin kuin pitää ts. ohjaako testattava kortti moottoreita oikein.

Scanora®3D:n CPU-kortin tehtävä on (testausympäristössä, niin kuin myös laitteen normaalissakin toiminnassa) välittää komentoja ja ohjelmakoodit muille I/O-korteille ja hallita niiden toimintaa. Testausjärjestelmän mitkään muut osat eivät ole yhteydessä testattaviin I/O-korttien ”älyyn” paitsi CPU-kortti.

Jos testattavana korttina on CPU-kortti, ei testauslaatikossa olevaa CPU-korttia käytetä, vaan testauksen kohteena oleva CPU-kortti suorittaa testit itse. Tämä on mahdollista, koska testausohjelmisto on osa CPU-kortin normaalia sulautettua ohjelmistoa. Testausohjelmisto latautuu kortille, kun CPU-korttia herätetään henkiin, ts. ladataan ohjelmistot sen sirulle.

3.1.2 Testauskehikot

Testauskehikot asetetaan testauslaatikkoon. Yhteen laatikkoon mahtuu vain yksi kehikko kerrallaan. Kehikon tarkoituksena on liittää testattavan kortin liittimet ja mittauspisteet testauslaatikon liitinpiikkeihin. Virran syöttö sekä suurin osa tiedonvaihdosta tapahtuu liitinpiikkien kautta. Näin ollen testauskehikot toimivat rajapintana testauslaatikon ja testattavan kortin välillä. Jotkin laitteet kuten kuvapaneelit tarvitsevat omat datakaapelit suoraan testattavaan korttiin.

Testauskehikoita on neljä erilaista. Yhdellä kehikolla testaaja voi testata aina tiettyjä elektroniikkakortteja. Yhdelle testauskehikolle mahtuu yhdestä neljään erilaista elektroniikkakorttia, mutta vain yksi kortti voi olla kerrallaan kiinni kortteja testattaessa.

3.1.3 Mittalaitteistot

Mittalaitteistot, testauslaatikon virransyöttö, tietokone sekä Scanora®3D:n tuolin moottori on sijoitettu erilliseen yksikköön (kuva 6). Tuolin moottorin erottaminen muista moottoreista ja sijoittaminen tähän yksikköön johtuu sen huomattavasti muita moottoreita suuremmasta koosta sekä suuremmasta virran tarpeesta. Toimiakseen tuolin moottori tarvitsee verkkovirran.

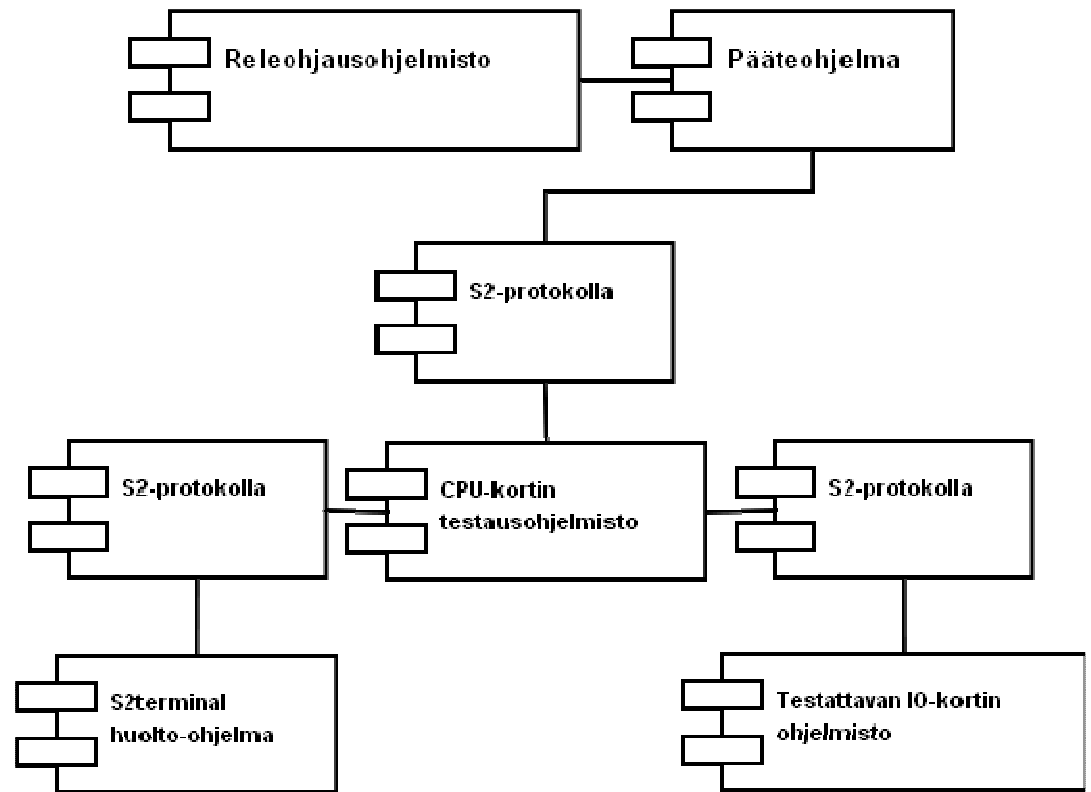
Mittalaitteistolla mitataan testattavan kortin ulostuloarvoja. Mittalaitteiden yhteydessä on jännitelähteitä, joilla hoidetaan testauslaatikon, testattavan sekä CPU-kortin, moottoreiden ja muiden laitteiden sähköistys.

3.2 Ohjelmisto

Järjestelmä pitää sisällään monenlaisia ohjelmistoja. CPU-kortilla on varsinainen testausohjelmisto, jonka avulla järjestelmä on yhteydessä testattavaan I/O-korttiin. Testausohjelmiston avulla saadaan suoritettua haluttuja toimintoja testattavalla kortilla. Järjestelmän tietokoneesta löytyy Testnova Oy:n suunnittelemat pääteohjelma ja testauslaatikon releohjausohjelmisto sekä Palodex Group Oy:n kehittämä s2terminal-huolto-ohjelma. Pääteohjelma on järjestelmän käyttöliittymä ja toimii rajapintana testaajan, testauslaatikon releohjausohjelmiston ja CPU-kortin testausohjelmiston välillä. Releiden ohjausjärjestelmä hallitsee nimensä mukaan testauslaatikon releiden toimintaa. Se asettaa releitä joko aktiivisiksi

ja tai pois päältä. Huolto-ohjelman kautta ladataan ohjelmat I/O-kortille sekä testaaja voi käynnistää että tarvittaessa keskeyttää yksittäisiä testejä.

Kuvassa 7 on esitetty järjestelmän ohjelmistokaavio, josta näkee, miten eri ohjelmamoduulit kytkeytyvät toisiinsa.



Kuva 7. Ohjelmistokaavio.

S2terminal-huolto-ohjelmalla lähetetään I/O-korttien ohjelmakoodit CPU-kortille. CPU-kortti välittää ohjelmakoodit sille I/O-kortille, jolle ne on tarkoitettu tai jos koodit ovat osoitettu CPU:lle, se lataa ne omaan muistiinsa. Testnova Oy:n pääteohjelma hoitaa testauksen aikaisen yhteydenpidon CPU-korttiin sekä releohjausohjelmistoon. Se lähettää testien käynnistyskomennot suoraan CPU-kortille ja vastaanottaa testien tulokset. Jos testauksen kohteena on jokin muu kuin CPU-kortti, lähettää testauslaatikossa oleva CPU-kortti testattavalle I/O-kortille tarvittavat komennot testin suorittamista varten. Pääteohjelma välittää testin tiedot releohjausohjelmalle, joka tietojen avulla osaa asettaa oikeat releet aktiivisiksi testauksen edetessä. Kaikki viestit IO-kortille lähetetään erityisen UDP-tyyppisen S2-protokollan kautta.

3.2.1 CPU-kortin testausohjelmisto

CPU-kortti sisältää röntgenlaitteen normaalin ohjelmiston lisäksi testausohjelmiston, jota käytetään testien suorittamiseen. Insinööriyön alkuvaiheilla ohjelmistot olivat erillään ja rakennettiin eri kehitysympäristössä. Myöhemmin testausohjelmisto sulautettiin CPU-kortin normaaliin ohjelmistoon ylläpidettävyyden helpottamiseksi. Ohjelmistojen sulauttaminen auttoi myös testausohjelmiston kehittämistä, sillä nyt voitiin käyttää normaalin ohjelmiston tarjoamia valmiita osia kuten röntgenkuvan ottoa. Tämä säästi huomattavasti työtunteja. Ohjelmistojen yhdistäminen mahdollisti myös sen, että CPU-kortteja testattaessa jokainen CPU-kortti pystyy ajamaan testit itse.

Testausohjelmisto antaa käskyt, milloin testit aloitetaan, mitä testien aikana tehdään ja milloin testit on suoritettu. Testistä riippuen testausohjelmisto määrittelee myös, menikö testi läpi. Testausohjelmiston vastuulla on testien aikana mm. moottoreiden ajot, optojen ja mikrojen asentojen valvominen sekä muut asiat, jotka testattavasta kortista tarvitsee testata.

CPU-kortin testausohjelmisto toimii yhteistyössä järjestelmän pääteohjelman kanssa. Kun pääteohjelmalla on muodostettu yhteys tietokoneen ja testauslaatikossa olevan CPU-kortin tai testattavan CPU-kortin välille, voi se aloittaa testauksen lähettämällä testin käynnistyskomennon CPU-kortille. CPU-kortin testausohjelmisto lähettää takaisin varmistusviestejä, joilla varmistetaan, että releiden ohjausjärjestelmä on tehnyt testauslaatikossa tarvittavat relekytkennät testiä varten. Kun kaikki kytkennät on tehty ja siitä on lähetetty viesti CPU-kortille, aloittaa testistä riippuen joko testauslaatikko tai CPU-kortti testattavan kortin testauksen.

3.2.2 S2terminal-huolto-ohjelma

S2terminal on Palodex Group Oy:n kehittämä huolto-ohjelma, jolla saadaan luotua Ethernet-kaapelilla UDP- tai suora ethernet-yhteys Palodex Group Oy:n valmistamiin röntgenlaitteisiin. Ohjelma käyttää yhteyden luomiseen S2-viestitysprotokollaa, joka on myöskin Palodex Group Oy:n kehittämä. Ohjelmaa käyttävät yleensä röntgenlaitteiden huoltomiehet sekä yrityksen tuotannon ja tuotekehityksen henkilöt.

Normaalissa käytössä, tuotekehityksen laboratoriossa tai kentällä huoltohenkilöllä, huolto-ohjelmaa käytetään röntgenlaitteen I/O-korttien

ohjelmistojen päivitykseen, laitteen statuksen tulostamiseen tietokoneen näytölle sekä tuotannollisiin toimintoihin. Tuotannossa laitteelle asetetaan mm. sarjanumero, IP- ja MAC-osoitteet sekä tehdään kesto- ja huolto-ohjelman kautta. Huolto-ohjelma on vartenotettava työkalu tuotekehityksessä laitteen debuggauksessa, sillä päätteelle voidaan ohjata tulostuksia siitä, mitä laite tekee: kuvadatat, askelmoottorien pyörimissuunnat ja askeleet yms. Jos halutaan tulostaa jotain erityistä, voidaan esim. CPU-kortin ohjelmistoon laittaa tulostusrivejä, jotka tulostuvat huolto-ohjelmalle ohjelmaa suoritettaessa.

Tässä työssä s2terminal-huolto-ohjelmaa käytettiin ohjelmiston kehitysvaiheessa tietokoneyhteyden luomiseen laitteeseen sekä testien ajamiseen. Testien käynnistyskomennot syötettiin terminaaliin, joka välitti ne CPU-kortille. Projektin loppuvaiheessa Testnova Oy integroi huolto-ohjelman käyttämään UDP-pohjaisen pakettiprotokollan (kuva 7) pääteohjelmaan, jolloin se pystyi lähettämään testien käynnistyskomennot itse suoraan CPU-kortille. Tämä mahdollisti testien automaattisen käynnistämisen. Huolto-ohjelmasta ei kuitenkaan päästy kokonaan eroon, sillä sitä tarvitaan vielä I/O-korttien ohjelmistojen lataukseen. Tämän ominaisuuden integroiminen pääteohjelmaan olisi tullut liian työlääksi, ja hyöty olisi ollut siihen nähden vähäinen.

3.3 Käytetyt protokollat

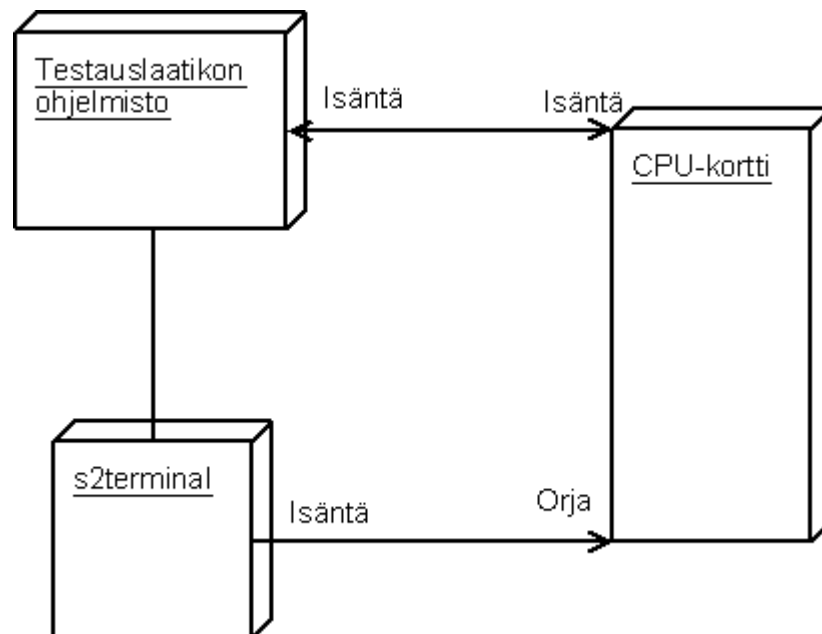
Scanora@3D:n ohjelmisto käyttää laitteen sisäiseen ja ulospäin menevään kommunikointiin pakettityyppiseen UDP-protokollaan pohjautuvaa S2-protokollaa. Tämän protokollan lisäksi järjestelmään jouduttiin luomaan oma viestityssääntö, jota pääteohjelma ja CPU-kortin testausohjelma käyttää testauksen aikana.

S2-protokolla

S2-protokolla on oma erillinen ohjelmakomponentti (s2.dll). Se on tyypiltään isäntä-orja-tyylinen viestintäprotokolla, missä yksi kommunikoijista on isäntä ja muuta ovat orjia. S2-protokollan orja voi kommunikoida pelkästään isännän kanssa, eikä kommunikointi kahden orjan välillä ole mahdollista. S2-isäntä aloittaa kaikki kommunikoinnit, ja orjan tehtävä on vastata isännän viesteihin. S2-protokollassa orjan ei tarvitse tietää isännästä mitään, mutta isännän tarvitsee tietää orjasta ainakin osoitteet, mihin paketit lähetetään.

Laitteen sisäisessä kommunikaatiossa CPU-kortti toimii isäntänä ja muut I/O-kortit ovat orjia. Näin CPU-kortti voi ohjata muita I/O-kortteja sekä kysellä niiden statusta. Laitteen ulkopuolisessa kommunikaatiossa ulkopuolinen laite on normaalisti isäntä ja CPU-kortti toimii orjana. CPU-kortti suorittaa ulkopuolelta saadut tehtävät ja lähettää paluuviestinä vastauksen toiminnoistaan.

Tätä insinööriyötä varten jouduttiin tekemään poikkeus ulkopuolisen kommunikaation suhteen. Järjestelmässä CPU-kortti toimii ulospäin isäntänä sekä orjana (kuva 8). Isäntä-orja-suhde pysyy samana huolto-ohjelman ja CPU-kortin suhteen, mutta Testnova Oy:n testauslaatikon ohjelmiston käyttöliittymän ja CPU-kortin välinen suhde on isäntä-isäntä-suhde. Näin kummatkin osapuolet voivat aloittaa kommunikaation.

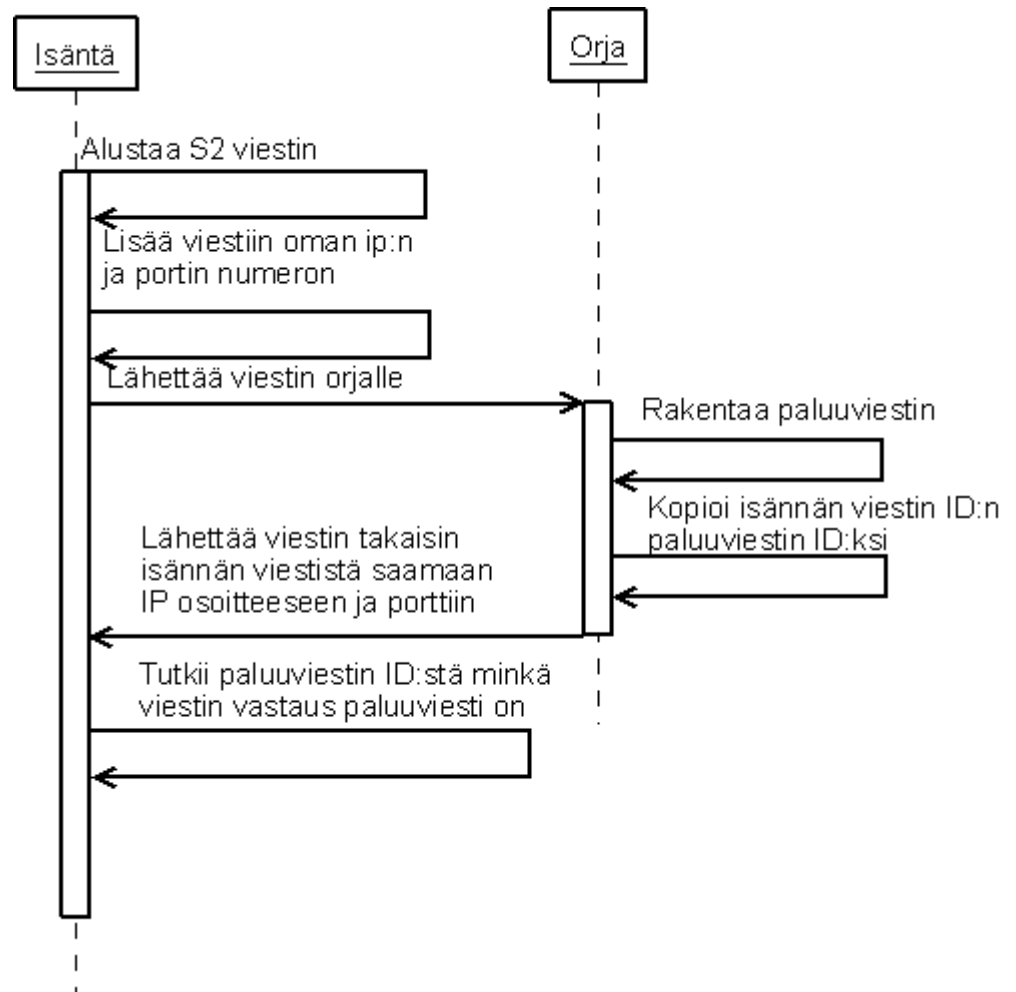


Kuva 8. Kommunikointisuhteet testausympäristössä.

Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska haluttiin että Testnova Oy:n ohjelmiston vastuu järjestelmässä olisi niin pieni kuin mahdollista. Haluttiin, että CPU-kortti määrää, koska testit varsinaisesti käynnistyy. Testnova Oy:n pääteohjelma vain kuuntelee testin aikana, miten testaus etenee. Myös keskeneräisen järjestelmän testaus helpottui, koska Testnova sai vasta projektin loppuvaiheilla S2-viestintäprotokollan liitettyä pääteohjelmaansa. Ennen tätä Testnovan pääteohjelma ei voinut itse lähettää testien käynnistyskomentoja, vaan kaikki testien käynnistyskomennot syötettiin käsin huolto-ohjelmalle, joka välitti ne CPU-kortille. Tällöin pääteohjelma

toimi pelkästään orjana. Se otti vastaan CPU-kortin lähettämän testin ID:n. Sen perusteella se käski releohjausohjelmistoa tekemään testiä varten oikeat kytkennät. Tämän jälkeen pääteohjelma lähettää paluuviestin, kun testauslaatikko on valmis testaukseen.

Kuvassa 9 on sekvenssikaaviolla esitetty, miten viestitys S2-protokollan yli menee.



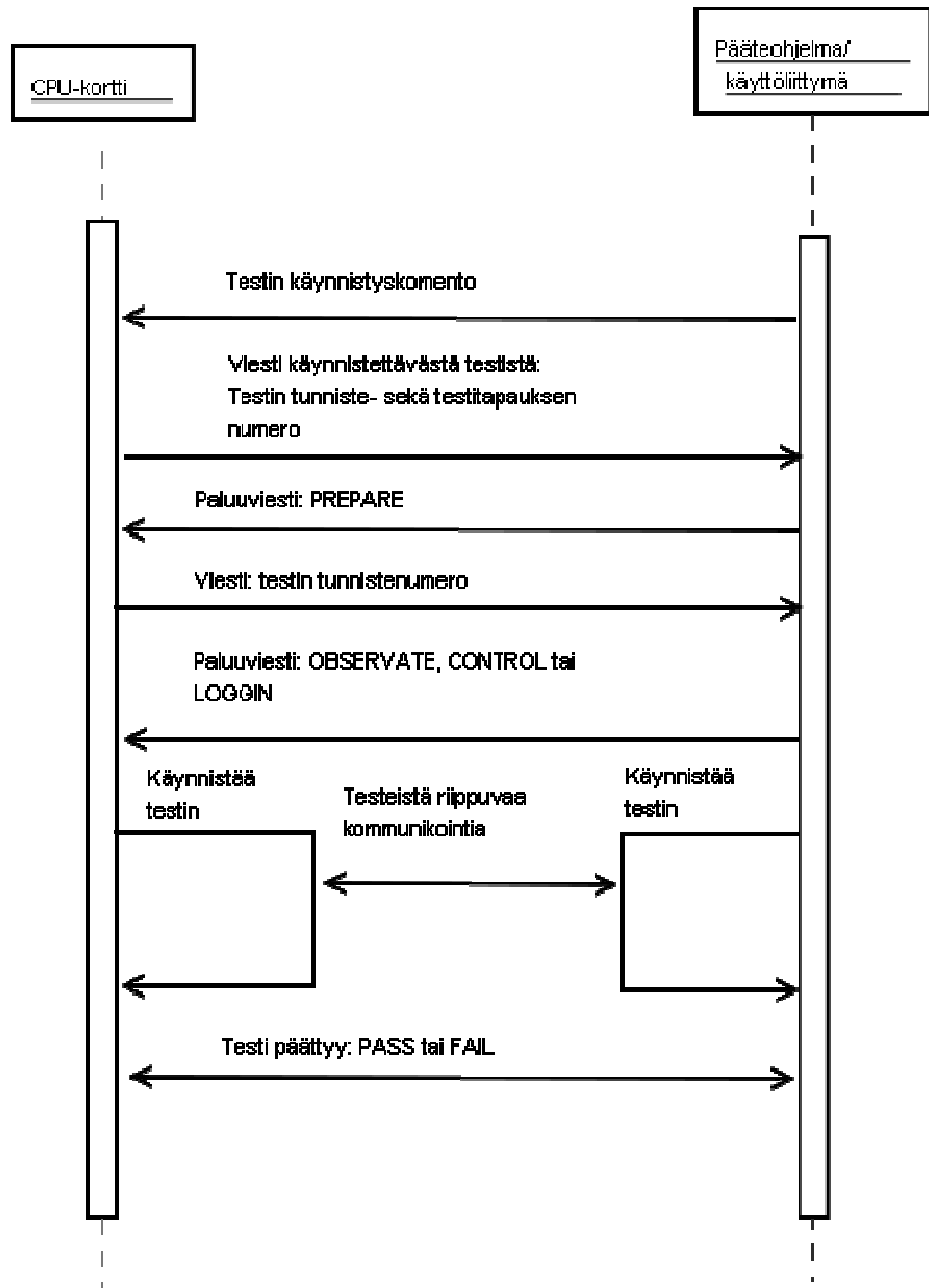
Kuva 9. Sekvenssikaavio kommunikoinnista S2-protokollan yli.

Kun S2-isäntä haluaa aloittaa kommunikoinnin S2-orjan kanssa, se luo S2-paketin. Jokainen paketti saa yksilöllisen tunnistuskoodin, jonka orja kopioi oman paluuviestin tunnisteeksi. Isäntä kopioi pakettiin oman IP:nsä sekä portin numeron. Nämä tiedot orja tallentaa omaan muistiinsa, jotta se myöhemmin osaisi lähettää vastauksensa oikeaan osoitteeseen. Isännän lähettämän paketin mukana tulee aina jokin komento, jonka isäntä haluaa orjan suorittavan, sekä muita paketille tärkeitä tietoja kuten paketin koon ja tyyppin.

Kun orja on suorittanut isännältä saadun komennon, se luo S2-tyyppisen paluuviestin isännän viestistä ja kopioi paluuviestin tunnisteeksi vastaanottamansa paketin tunnisteeseen. Näin isäntä pystyy tunnistamaan paluuviestin omakseen. Kun orja lähettää paluuviestiä takaisin isännälle, se käyttää vastaanottajan osoitteina IP-osoitetta sekä portin numeroa, jotka se oli kaivanut ulos isännän viestistä vastaanottovaiheessa.

Viestityspankollla

Tätä insinööriä varten suunniteltiin oma viestityssääntö, joka määritteli CPU-kortin testausohjelmiston ja pääteohjelman välisen kommunikoinnin. Kuvassa 10 on karkeasti esitetty sekvenssikaavion avulla testauksen aikaista viestitystä CPU-kortin ja pääteohjelman välillä. Kuvasta näkyy testin aloitusrutiini, testien aikainen toiminta sekä testin lopetus.



Kuva 10. Sekvenssikaavio CPU-kortin ja pääteohjelman välisestä kommunikaatiosta.

Se, miten kommunikointi tarkasti tapahtuu, määräytyy testin tyyhin mukaan. Testityypit taas määräytyvät sen mukaan, miten testit suoritetaan. Testejä on kolmea eri tyyppiä, joista kahdessa viimeisessä viestitys tapahtuu samalla lailla.

Testityypit ovat:

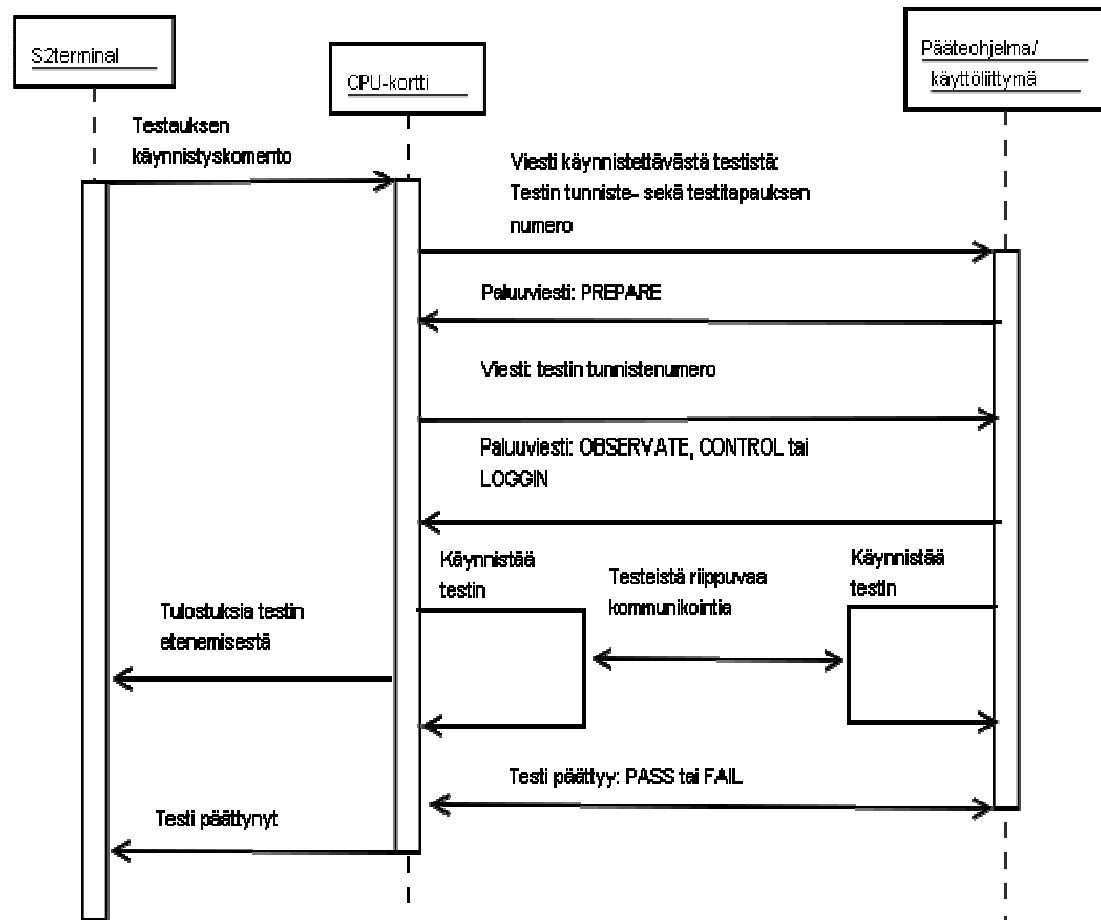
- 1) CPU-kortti ohjaa testattavaa korttia, ja testauslaatikko observoi tapahtuvaa ohjausta.
- 2) Testauslaatikko ohjaa testattavaa korttia, ja CPU-kortti observoi tapahtuvaa ohjausta.
- 3) CPU-kortti ohjaa ja observoi tapahtuvaa ohjausta.

Ensimmäisessä testityypissä, jossa CPU-kortti ohjaa testattavaa korttia, CPU-kortti jää testin käynnistyksen jälkeen kyselemään vastausta pääteohjelmalta, tekeekö testattava kortti niin kuin pitää. Pääteohjelma välittää kyselyn testauslaatikolle, joka vastaa kyselyihin sen mukaan, missä vaiheessa testaus on. Jos testaus on vielä kesken, pääteohjelma lähettää viestin "OBSERVATE", jolloin CPU-kortti jatkaa testattavan kortin ohjausta. Jos testi on loppunut, pääteohjelma lähettää joko "PASS" tai "FAIL" riippuen siitä, menikö testi läpi. Tällöin CPU-kortti tietää lopettaa testattavan kortin ohjauksen.

Toisessa ja kolmannessa tapauksessa, missä CPU-kortti observoi testattavaa korttia, pääteohjelma jää odottamaan viestiä CPU-kortilta. Kun testi päättyy, lähettää CPU-kortti pääohjelmalle "PASS" tai "FAIL" riippuen, siitä menikö testi läpi.

Kaikissa testeissä, tyypistä riippumatta, kommunikoinnin aloitus ja samalla myös testien käynnistys tapahtuu samalla tavalla. Kun CPU-kortti on saanut komennon testin käynnistyksestä, se lähettää pääteohjelmalle käynnistettävän testin tunnistenumeron sekä testitapauksen numeron. Lähtevä komento on syntaksiltaan esim. "3.5:A1", jossa "3.5" on testin tunnistenumero ja "A1" on testitapaus. Useimmat testeistä koostuu vain yhdestä testitapauksesta, mutta joitakin suurimpia testejä on pilkottu pienempiin osiin. Tähän testin käynnistysviestiin pääteohjelma vastaa "PREPARE", kun testauslaatikko on tehnyt relekytkennät testiä varten ja on valmis aloittamaan testauksen. Seuraavaksi CPU-kortti lähettää pelkän testitapauksen numeron esim."3.5" pääteohjelmalle. Tähän viestiin pääteohjelma lähettää paluuviestissä joko "OBSERVATE", "CONTROL" tai "LOGGING" riippuen siitä, mikä on testauslaatikon rooli kyseisessä testissä. Paluuviestin jälkeen CPU-kortti ja testauslaatikko aloittavat testauksen.

Kuvassa 11 on esitetty sekvenssikaavio ohjelmistojen välisestä viestityksestä, kun testit käynnistetään huolto-ohjelmalla. Kuvasta nähdään, että huolto-ohjelma ei ota kantaa testien etenemiseen vaan antaa vain testin käynnistykseen komennon. Testauksen aikana huolto-ohjelmalle tulostuu dataa testin etenemisestä sekä muuta tietoa, jonka avulla virheitä voidaan halutessa jäljittää ja ratkoa.



Kuva 11. Sekvenssikaavio huolto-ohjelman, CPU-kortin ja pääteohjelman välisestä kommunikaatiosta.

Jos CPU-kortti ei saa vastausta viesteilleen, se lähettää viestin uudestaan noin kymmenen kertaa. Tämän jälkeen CPU-kortti lopettaa automaattisesti testauksen ja ilmoittaa yhteyden katkeamisesta. Tämän jälkeen loput testit voidaan ajaa yksitellen huolto-ohjelmalla tai käynnistää testaus alusta pääteohjelmalla.

4 TESTATTAVAT ELEKTRONIIKKAKORTIT JA TESTITULOKSET

Scanora®3D sisältää kolme I/O-korttia sekä useamman jännitekortin. Jännitekortit tarjoavat vain sähköä laitteen eri osille, joten niitä ei tässä tarkemmin käsitellä. Tässä osiossa keskitytään vain laitteen I/O-kortteihin.

Jännitekorttien kohdalla testeissä mitataan liittimien ulostuloarvot. I/O-korteista testataan liittimien ulostuloarvot sekä eri laitteiden rajapinnat, millä kortti ohjaa mm. moottoreita. Laitteen pienet opto- ja mikrokortit testataan omilla erillisillä testausmenetelmillä.

Testityypit määräytyvät sen mukaan, miten testit suoritetaan ja miten kommunikointi järjestelmässä joudutaan hoitamaan. Esimerkiksi moottoreidenajotesteissä CPU-kortti ohjaa moottoreita, ja testauslaatikon anturit tutkivat, liikkuvatko moottorit. Tämnäntyyppisissä testeissä CPU-kortti jää testin käynnistyksen jälkeen kyselemään vastausta testauslaatikon ohjelmistolta, liikkuuko moottori. Kun taas esimerkiksi laitteen muistin tarkistuksessa CPU-kortti hoitaa muistin tarkistuksen ja lähettää testin lopussa tuloksen testauslaatikon ohjelmistolle, jota se on odottanut testin käynnistyksestä asti. Kolmas tapaus on samankaltainen kuin edellinen: testauslaatikko lähettää signaaleja testattavalle kortille ja kun CPU-kortin testausohjelmisto on havainnut kaikki signaalit, se lähettää vastauksen testauslaatikon ohjelmistolle.

4.1 R3200 I/O-kortin testaus

R3200 eli Scanora®3D:n CPU-kortti on laitteen älyllinen keskus. Se ohjaa laitteen tärkeimpiä toimintoja kuten kameroiden ohjauksen, laitteen ulkopuolelta esim. S2terminaalilta tulevien komentojen käsittelyn sekä muiden I/O-korttien hallinnan. Muut I/O-kortit, R3300 ja R3400, eivät pysty toimimaan ilman CPU-korttia. CPU-kortin ohjelmisto on kaksiosainen ja siihen kuuluu kortin runko-ohjelma (core software) sekä laite-ohjelmisto (firmware). [3.]

Kortin runko-ohjelma käynnistyy automaattisesti, kun kortti herää konetta käynnistettäessä. Tämä ohjelma on pieni ja yksinkertainen. Se mahdollistaa yhteyden tietokoneeseen ennen varsinaisen ohjelman käynnistystä. Jos yhteys luodaan, se antaa mahdollisuuden ladata I/O-korttien ohjelmistoja. Tästä on hyötyä silloin, jos laite-ohjelmisto, jolla normaalisti ohjelmat

ladataan, on korruptoitunut tai ei muuten vain toimi esim. liian vanhan version vuoksi. Jos uutta ohjelmistoa ei ladata, runko-ohjelma käynnistää kortin laite-ohjelmiston automaattisesti.

Laite-ohjelmisto on CPU-kortin varsinainen ohjelma, jolla laitetta ohjataan. Se on järjestelmän suurin ja monimutkaisin ohjelmakokonaisuus. Tässä insinööriyössä tehty testausohjelmisto on osa tätä kokonaisuutta.

CPU-kortti kontrolloi kuvantamisen aikana kuvan ottoa, valmiin kuvan siirtoa laitteen muistista tietokoneelle ja kuvantamiseen käytettäviä moottoreita. Muina aikoina moottoreita kontrolloi niiden omat I/O-kortit. Kuvan oton aikana CPU-kortilla on paljon vastuuta. Sen pitää asettaa oikeat kameran ja pyörijän moottorin asetukset, hallita kameran kellotuksia, säteilytyksen esihehkut sekä varsinainen säteilytysvaihe.

CPU-kortti tarjoaa Ethernet-rajapinnan tietokoneen ja röntgenlaitteen välille. Tämän yhteyden kautta tulevat komennot jäävät CPU-kortin käsiteltäväksi. Jos CPU-kortti ei itse pysty komentoja käsittelemään, se delegoi ne laitteen muille I/O-korteille. Ethernet-rajapinnan kautta myös kuvadata saadaan lähetettyä tietokoneelle.

CPU-kortti pitää yllä lokia Scanora@3D:n tilasta. Lokiin kirjataan tärkeimmät tapahtumat kuten käytön aikana syntyneet virhetilat ja huomautukset. Loki saadaan luettua huolto-ohjelman kautta, jolloin huoltomies voi kirjata omia huomautuksia esim. röntgenputken vaihdosta.

CPU I/O-kortin testauksessa tutkitaan kamerapaneelin sekä 3D-sensorin (detektorin) rajapinnat, muistinhallinta, pyörijän moottorin ajo sekä I/O-bittien toimivuus. Jokainen näistä testeistä on jaettu omiin testitapauksiin.

Tämän luvun testien lisäksi CPU-kortille tehdään virransyöttötestausta. Näitä testitapauksia ei ole liitetty tähän dokumenttiin, koska ne eivät suoranaisesti ole vaikuttaneet tähän työhön.

4.1.1 DDRAM-muistin hallinta

CPU-kortti vastaa Scanora@3D:n muistinhallinnasta. Asiakkaan tarpeista riippuen laitteisiin asennetaan joko 512 MB tai 1024 MB DDRAM-muistia. Tämä muisti on jaettu kolmeen lohkokon, joita käytetään kuvadatan, korttien ohjelmistojen ja kalibrointidatan puskurointiin. Suurin lohko (n. 85 %) on

varattu kuvadatalle. Ohjelmistojen lohkoa käytetään laitteen kaikkien I/O-korttien ohjelmistojen puskurointiin. Kun ohjelmia ladataan I/O-korteille, ne lähetetään paketeissa (100-200 kpl) CPU-kortille. CPU-kortti tallettaa näitä paketteja väliaikaisesti DDRAM-muistiin sitä mukaa, kun niitä tulee. Kun kaikki paketit on vastaanotettu, CPU-kortti kirjoittaa kyseisen kortin flash-muistiin koko ohjelman, josta se käynnistyy automaattisesti, kun kone käynnistetään uudelleen.

DDRAM-muistin muistinhallintatestissä testataan kortin muistiväylän toimivuutta. Testillä pystytään testaamaan myös korttiin liitetyt DDRAM-muistikammat, ja sen vuoksi testi on liitetty osaksi laitteen normaalia ohjelmistoa huoltomiehen käytettäväksi.

Testi käy testausvaiheessa läpi yksitellen DDRAM-muistin kaikki kolme lohkoa. Lohkoon kirjoitetaan numeroita 1:stä 65535:een. Tämän jälkeen numeroita luetaan muistista ja verrataan, täsmääkö kirjoitettu luku muistista luettuun lukuun. Jos luvut täsmäävät, testattavan CPU-kortin luku- ja kirjoitustoiminnot sekä muistikampa ovat oikein. Kun lohko on tarkistettu siirrytään seuraavaan lohkoon. Jos virheitä havaitaan, tulostetaan virheellinen muistiosoite ja lähetetään Tesnovan testausohjelmistolle FAIL-viesti testin epäonnistumisen merkiksi.

4.1.2 CCD-kameran rajapinta

CCD-kamerapaneelia käytetään normaalia panoraamakuvaa otettaessa. Ennen kuvan ottoa CPU-kortti alustaa kameran antamalla sille oikean TDI-rampin. TDI-ramppi on ohjelmapätkä, joka määrittää kameran toimintataajuuden, kuinka nopeasti rivejä luetaan. Testissä CPU-kortin testausohjelma asettaa kameralle TDI-rampin, jonka määrittelee kameran toimimaan koko kuvauksen ajan vakio taajuudella. Tällöin aikaan saadaan tasaisen värinen ns. pimeävirtakuva (dark current).

CCD-kameran rajapinnan testauksessa testataan CPU-kortin väylien toimintaa. Väylää käytetään CCD-kameran ohjaukseen sekä kameralta saadun kuvadatan siirtämiseen muistiin.

Testaus tapahtuu ottamalla pimeävirtakuva CCD-kennolta. Tätä varten ei tarvita säteilijää, sillä CCD-kennot generoivat itse jatkuvasti varausta pikseleihin ja muodostavat kuvaa kennolle [6.]

Testaus etenee seuraavasti: testin alussa käynnistetään CCD-kamera, jolloin kennolle muodostuu pimeävirtakuva. Kun kamera on käynnistynyt, luetaan kennolta kuvadata muistiin. Kun koko kuvadata on saatu muistiin, lähetetään se huolto-ohjelmalle, joka rakentaa saadusta datasta katseltavan kuvan. Tämän jälkeen CPU-kortin testausohjelma jää odottamaan PASS/FAIL- signaalia. Testaajan tehtäväksi jää katsoa tuliko pimeävirtakuva huolto-ohjelman kautta PC:lle. Huolto-ohjelma tallettaa kuvan raakakuvana tiettyyn kansioon. Testaajan tulee etsiä oikea kuva, avata se oikealla ohjelmalla (esim. ImageJ) ja tulkita onko kuva virheellinen vai ei. Pääteltyään, onko testi mennyt läpi, testaaja antaa pääteohjelmalle PASS tai FAIL signaalin, jonka pääteohjelma välittää CPU-kortin testausohjelmistolle.

4.1.3 3D-sensorin rajapinta

3D-kamerapaneelia käytetään 3D-kuvia otettaessa. Ennen kuvan ottoa CPU-kortti alustaa kameran antamalla sille oikean TDI-rampin. Testissä CPU-kortin testausohjelma asettaa kameralle TDI-rampin, jonka määrittelee kameran toimimaan koko kuvauksen ajan vakiotaajuudella, jotta saataisiin tasaisen värinen pimeävirtakuva.

3D-sensorin rajapinnan testauksella testataan, että sensorilta tuleva data tulee kortille oikein.

Testaus tapahtuu samoin kuin CCD-sensorin testauskin. Sensorilta otetaan pimeävirtakuva ja se lähetetään huolto-ohjelmalle. Testaaja katsoo, että kuva on tullut ja se on oikeanlainen. Tämän jälkeen testaaja tekee päätöksen, onko testi läpi vai ei.

4.1.4 Pyörijän moottorin ajo

Pyörijän moottorin ajossa testataan moottorin hallinnan toiminta, menevätkö hallintasiinaalit askelmoottorille.

Testissä ajetaan testauslaatikossa olevaa pyörijän moottoria noin neljä sekuntia kumpaankin suuntaan niin kauan, kunnes testauslaatikon optohaarukka havaitsee edestakaisen liikkeen. Liikkeen havaittuaan pääteohjelma lähettää PASS-viestin CPU-kortille, joka pysäyttää pyörijän moottorin ja siirtyy seuraavaan testiin. Jos testauslaatikon optohaarukka ei havaitse moottorin liikettä 60 sekuntiin, katkaisee CPU-kortti automaattisesti testauksen ja lähettää pääteohjelmalle FAIL-signaalin.

4.1.5 I/O-rajapinta

I/O-rajapinnan testauksessa tutkitaan kaikkien CPU-kortin I/O-bittien toimintaa. Testattavia bittejä käytetään tuolin moottorin sallimiseen (enable/disable), sen suunnan ja kellopulssin määrittämiseen sekä 3D-sensorin, CCD-kameran ja säteilyttämisen sallimiseen. Edellisessä testissä, luvussa 4.3.4, testattiin jo pyörijän I/O-bittien toiminta, jolloin niitä ei enää tässä testissä tarvitse testata.

Testausvaiheessa CPU-kortti heiluttaa kaikkia testattavia bittejä ykkösestä nollaan vuorotellen. Pääteohjelman tehtävä on mitata testauslaatikon mittalaitteilla kortilta ulostulevia signaaleita ja tutkia pystyykö CPU-kortilta lukemaan kaikki testattavat signaalit. Jos testauslaatikko saa luettua kaikki signaalit, lähettää pääteohjelma PASS-viesti CPU-kortin testausohjelmistolle, joka lopettaa testauksen. Jos kaikkia signaaleita ei saada luettua 60 sekuntiin, kortti on viallinen, ja CPU-kortti lopettaa testauksen sekä lähettää FAIL-viestin pääteohjelmalle.

4.2 R3300 I/O-kortin testaus

R3300 I/O-kortti on Scanora®3D:n askelmoottoreiden hallintakortti. Kortti hallitsee laitteen pyörijän ja siinä olevien viiden moottorin ohjauksen. Sen vastuulla on myös säteilijän generaattori (X-Ray Generator) ja turva-ajastin (Backup timer). Säteilijän generaattoria käytetään säteilijän tarvitseman virran tuottamiseen. Turva-ajastin taas estää säteilijää jäämästä päälle tai jumiin vikatilanteissa. [4.]

R3300-kortin ohjaamia moottoreita ovat pyörijä, pyörijän X-liikkeen, kollimaattorin (Collimator), detektorin (Detector) sekä säteilyaukon (Slit) moottorit [4.]

Näistä moottoreista R3300-kortin ohjelmisto kontrolloi itse kolmea moottoria (kollimaattorin, detektorin ja pyörijän X-liikkeen moottorit), ja loput kaksi moottoria (pyörijän ja säteilyaukon moottorit) ovat CPU-kortin kontrolloitavissa [4.] Kun CPU-kortti kontrolloi R3300-kortin moottoreita, se lähettää S2-protokollan yli R3300-kortille moottorinajorampin ja pyytää käynnistämään ajon. Ajorampit ovat taulukoita, jotka sisältävät tiedot, miten moottoria ajetaan; suunnan, nopeuden ja kuinka kauan moottoria ajetaan. Yhdellä ajorampilla voidaan ajaa yhteen suuntaan, mutta moottorin

ajonopeus voi muuttella ajon aikana. Ajorampit voivat olla pitkiä ja monimutkaisia. Esimerkiksi pyöräjän moottorin ajoramppi on noin tuhat koodiriviä pitkä.

Vaikka R3300 I/O-kortti onkin askelmoottoreiden hallintakortti, se hoitaa myös muitakin toimintoja. Muita kortin vastuulla olevia toimintoja ovat potilaanasettelulasereiden päälle/pois-asettelu, säteilysummeri, säteilijän virranohjaus ja valotuspainike.

Testattavat moottorit ovat detektori, kollimaattori, pyöräjän X-liikkeen moottori ja säteilyaukon moottori. Detektorin ja kollimaattorin moottoreiden kohdalla testataan vielä moottoreiden rajapinnat. Moottoreiden rajapinnoilla tarkoitetaan moottorin mikroja ja optoja. Pyöräjän X-liikkeen ja säteilyaukon moottoreiden rajapinnoista on kiinnostunut vain CPU-kortti, jonka testauksen yhteydessä nämä testataan.

4.2.1 Detektorin moottorin ajo

Detektorin moottori liikuttaa detektoria 3D-panoraamakuvausta varten. Koneen normaalissa tilassa, missä kone on käynnistyksen jälkeen, detektori on passiivisessa tilassa ja kääntyneenä 90 astetta pyöräjän sivulle. Kun 3D-panoraama otetaan käyttöön, detektori ajetaan kamerapaneelin eteen, kohtisuoraan säteilijää nähden.

Testissä testataan R3300-kortin detektorimoottorin hallinnan toiminta, menevätkö kortin lähettämät hallintasiinaalit oikein askelmoottorille.

Testissä CPU-kortin testausohjelmisto pyytää testattavaa R3300-korttia ajamaan testauslaatikossa olevaa detektorin moottoria noin neljä sekuntia kumpaankin suuntaan niin kauan, kunnes testauslaatikon optohaarukka havaitsee edestakaisen liikkeen. Liikkeen havaittuaan pääteohjelma lähettää PASS-viestin testauslaatikossa olevalle CPU-kortin testausohjelmistolle, joka lähettää moottorin pysäytyssignaalin R3300-kortille.

Jos testauslaatikon optohaarukka ei havaitse moottorin liikettä 60 sekuntiin, katkaisee CPU-kortti automaattisesti testauksen lähettämällä moottorin pysäytyssignaalin R3300-kortille ja pääteohjelmalle FAIL-viestin.

4.2.2 *Detektorin moottorin rajapinta*

Tässä testissä testataan R3300-kortin detektorimoottorin rajapinnat. Rajapintoja ovat moottorin mikrokytkimen sekä optohaarukan sisääntulosignaalit. Mikrokytkimen signaalin avulla R3300-kortti tietää, milloin moottori on ajanut jompaankumpaan ääripäistä. Optohaarukan signaalilla kortti tietää, missä asennossa moottori on.

Testissä testauslaatikko lähettää R3300-kortin detektorimoottorin opto- ja mikrosignaalien liittimiin ykkösestä nollaan vaihtuvaa signaalia. CPU-kortin testausohjelmisto kyselee 200 millisekunnin välein R3300-kortilta sen opto- ja mikron sisääntulosignaaleita. Jos signaalit muuttuvat testin aikana, on testi mennyt läpi ja CPU-kortti lähettää pääteohjelmalle PASS-viestin.

Jos signaalit eivät muutu 60 sekuntiin, katkaisee CPU-kortti automaattisesti testauksen lähettämällä pääteohjelmalle FAIL-viestin.

4.2.3 *Kollimaattorin moottorin ajo*

Kollimaattorin moottori liikuttaa kollimaattoria valittuun kuvausaukkoon säteilijän eteen. Kollimaattori on lyijylevy, johon on tehty erikokoisia reikiä. Röntgensäteet läpäisevät vain reikäalueet, eikä lyijyä ympärillä. Näin saadaan valittua ja tuotettua eri kokoisia röntgenkuvia.

Testissä testataan R3300-kortin kollimaattorin moottorin hallinnan toiminta, menevätkö kortin lähettämät hallintasignaalit oikein askelmoottorille.

Testissä CPU-kortin testausohjelmisto pyytää testattava R3300-korttia ajamaan testauslaatikossa olevaa kollimaattorin moottoria noin neljä sekuntia kumpaankin suuntaan niin kauan, kunnes testauslaatikon optohaarukka havaitsee edestakaisen liikkeen. Liikkeen havaittuaan pääteohjelma lähettää PASS-viestin testauslaatikossa olevalle CPU-kortille, joka lähettää moottorin pysäytyssignaalin R3300-kortille.

Jos testauslaatikon optohaarukka ei havaitse moottorin liikettä 60 sekuntiin, katkaisee R3200-kortti automaattisesti testauksen lähettämällä moottorin pysäytyssignaalin R3300-kortille ja pääteohjelmalle FAIL-signaalin.

4.2.4 Kollimaattorin ja säteilyaukon moottoreiden rajapinnat

Tässä testissä testataan R3300-kortin kollimaattorin sekä säteilyaukon moottoreiden rajapinnat. Rajapintoja ovat moottoreiden paikkaa tutkivien optohaarukoiden sisääntulosignaalit.

Testissä testauslaatikko lähettää R3300-kortin kollimaattorin ja säteilyaukon moottoreiden optosignaalien liittimiin ykkösestä nollaan vaihtuvaa signaalia. CPU-kortin testausohjelmisto kyselee R3300-kortilta optojen sisääntulosignaleita. Jos signaalit muuttuvat testin aikana on testi mennyt läpi, ja CPU-kortti lähettää pääteohjelmalle PASS-viestin. Jos signaalit eivät muutu 60 sekuntiin, katkaisee CPU-kortti automaattisesti testauksen lähettämällä pääteohjelmalle FAIL-viestin.

4.2.5 Pyöräjän X-liikkeen moottorin ajo

Pyöräjän X-liikkeen moottori liikuttaa pyörijää X-koordinaatiston suuntaisesti. Tätä käytetään normaalin kuvaussekvenssin lisäksi laitteen kalibroinnissa, jotta saataisiin pyörijä oikeaan kohtaan tuoliin nähden.

Testissä testataan R3300-kortin pyöräjän X-moottorin hallinnan toiminta, menevätkö kortin lähettämät hallintasiinaalit oikein askelmoottorille.

Testissä CPU-kortin testausohjelmisto pyytää testattavaa R3300-korttia ajamaan testauslaatikossa olevaa X-moottoria noin neljä sekuntia kumpaankin suuntaan niin kauan, kunnes testauslaatikon optohaarukka havaitsee edestakaisen liikkeen. Liikkeen havaittuaan pääteohjelma lähettää PASS-viestin testauslaatikossa olevalle CPU-kortille, joka lähettää moottorin pysäytyssignaalin R3300-kortille.

Jos testauslaatikon optohaarukka ei havaitse moottorin liikettä 60 sekuntiin, katkaisee R3200-kortti automaattisesti testauksen lähettämällä moottorin pysäytyssignaalin R3300-kortille ja pääteohjelmalle FAIL-viestin.

4.2.6 Säteilyaukon moottorin ajo

Tässä testissä testataan R3300-kortin säteilyaukon moottorin toimintaa. Testi eroaa muista R3300-kortin moottorin ajotesteistä siten, että moottorin ajoa hallitsee CPU-kortti. R3300-kortin tehtävä on vain pitää moottori sähköistettynä. Muista R3300-kortin moottorinajotesteistä poiketen tätä moottoria ajetaan kahdeksan sekuntia, koska moottori pyörii huomattavasti

hitaammin kuin muut. Neljän sekunnin ajo ei vielä riittäisi siihen, että testauslaatikon sensorit havaitisi liikkeen.

Testissä testattava CPU-kortti ajaa testauslaatikossa olevaa säteilyaukon moottoria noin kahdeksan sekuntia kumpaankin suuntaan niin kauan, kunnes testauslaatikon optohaarukka havaitsee edestakaisen liikkeen. Liikkeen havaittuaan pääteohjelma lähdeä PASS-viestin testauslaatikossa olevalle CPU-kortille, joka pysäyttää moottorin liikkeen. Jos testauslaatikon optohaarukka ei havaitse moottorin liikettä 60 sekuntiin, katkaisee R3200-kortti automaattisesti testauksen pysäyttämällä moottorin ja lähettämällä pääteohjelmalle FAIL-viestin.

4.2.7 Potilaankohdistuslasarit

Potilaanasettelulasereita on Scanora®3D-laitteessa seitsemän. Niiden avulla laitteen käyttäjä saa asetettua potilaan oikeaan kohtaan ja asentoon laitteessa. Lasereita käytetään myös laitteen kalibroinnissa, kun asetetaan kalibroitintyökaluja oikeille kohdille.

Tässä testissä testataan R3300-kortin kohdistuslasereiden ohjausta. Kortin tulee käynnistää ja sammuttaa oikea kohdistuslaseri tietyllä signaalilla.

Testaajalla on käytössä valopaneeli, jossa on seitsemän lediä numeroituna 1:stä 7:ään. Ledien tulisi syttyä yksitellen alkaen 1:stä ja päättyen 7:ään CPU-kortin testausohjelmiston tehtävä on käskä R3300-korttia sytyttämään ja sammuttamaan yksitellen jokainen ledi. Ledit ovat päällä ja pois päältä noin sekunnin. Tänä aikana testaajan tuli huomata, että ledi on syttynyt. Jos testaaja havaitsee jokaisen ledin syttyvän ja sammuvan oikeassa järjestyksessä, hän antaa pääteohjelmalle PASS-signaalin painamalla pääteohjelmassa PASS-painiketta. Jos kaikki ledit eivät syty tai syttyvät väärässä järjestyksessä, antaa testaaja FAIL-signaalin pääteohjelmalle. Pääteohjelma välittää signaalin CPU-kortin testausohjelmalle, joka lopettaa testauksen.

Jos CPU-kortti ei saa PASS- tai FAIL-viestiä pääteohjelmalta 60 sekuntiin, lopettaa se testauksen ja lähettää FAIL-viestin pääteohjelmalle.

4.2.8 Säteilyputken esihehku

Esihehkulla lämmitetään säteilijän vastuslankaa. Kun vastuslanka on lämmin, haluttu säteilyarvo saadaan heti säteiden päälle laitettua ulos putkesta. Ilman esihehkua säteilyarvot nousisivat hiljalleen haluttuun tasoon vastuslangan lämmitessä.

Tässä testissä testataan R3300-kortin esihehkun hallintaa. Esihehku voi olla joko päällä tai pois.

Testissä CPU-kortin testausohjelmisto pyytää R3300-korttia laittamaan esihehkun päälle, ja testauslaatikon tulee huomata hehkun olevan päällä. Jos testauslaatikko huomaa hehkun olevan päällä se lähettää PASS-signaalin pääteohjelmalle, joka välittää signaalin CPU-kortin testausohjelmalle. CPU-kortti lopettaa testauksen ja käskää R3300-korttia pysäyttämään hehkutuksen.

Jos CPU-kortti ei saa pääteohjelmalta PASS-viestiä 60 sekunnin sisällä, lopettaa se automaattisesti testauksen ja lähettää FAIL-viestin pääteohjelmalle.

4.2.9 Säteilijän referenssiarvot

Säteilijän viranohjauksella R3300 I/O -kortti määrää säteilyn tehon. Kun käyttäjä valitsee jonkun kuvausmoodin, lähettää CPU-kortti R3300-kortille referenssiarvoina valitun moodin tarvitsemat kilovoltit, milliampeerit sekä esihehkun. R3300-kortti välittää nämä arvot generaattorikortille, joka sitten syöttää kyseiset arvot säteilijälle. R3300-kortti myös lukee arvoja generaattorilta. Edellä mainittujen arvojen lisäksi generaattorilta luetaan säteilyputken lämpötila.

Tässä testissä testataan R3300-kortin generaattorikortille meneviä referenssisignaaleja. Lähetettäviä referenssejä ovat kilovoltit, milliampeerit ja esihehku. Ulostulevat referenssiarvot voivat vaihdella 0V-5V:n välillä.

Testissä CPU-kortin testausohjelmisto pyytää testattavaa R3300-korttia kasvattamaan kaikkia kolmea referenssiarvoa asteittain yhdellä voltilla nolasta voltista viiteen volttiin asti. Kun voltit ovat kasvaneet viiteen volttiin, testausohjelmisto pyytää testattavaa korttia asettamaan referenssit noltaan ja aloittamaan arvojen asteittaisen kasvattamisen uudestaan.

Testauslaatikon tulee testin aikana huomata mittalaitteillaan nämä referenssiarvojen asteittaiset nousut. Jos referenssiarvot eivät nouse tai asteittainen nousu on liian pientä tai isoa, lähettää testauslaatikko pääteohjelmalle FAIL-signaalin. Jos kaikki kolme referenssiarvoa nousee oikein nolasta voltista viiteen volttiin, lähettää testauslaatikko PASS-signaalin testausohjelmalle. Pääteohjelma välittää testauslaatikolta saadun signaalin CPU-kortin testausohjelmistolle, joka lopettaa testauksen.

4.2.10 Säteilijän takaisinkytkentäarvot

Tässä testissä testataan R3300-kortin generaattorikortilta tulevat takaisinkytkentäsignaalit. Generaattorilta tulee takaisinkytkentäarvoina samat kuin sinne menevät referenssiarvot. Arvot voivat vaihdella 0V-5V:n välillä.

Testissä testauslaatikko liittää R3300-kortin referenssiulostulot suoraan R3300-kortin takaisinkytkentä-sisääntuloon. CPU-kortin testausohjelmisto pyytää testattavaa R3300-korttia kasvattamaan kaikkia kolmea referenssiarvoa asteittain nolasta viiteen volttiin. Jokaisen nousun kohdalla CPU-kortin testausohjelmisto tutkii, onko takaisinkytkentäarvot samat kuin sen hetkiset referenssiarvot. Jos kaikki takaisinkytkentäarvot täsmäävät, lähettää CPU-kortti PASS-viestin pääteohjelmalle. Jos takaisinkytkentäarvot eivät täsmää, lähettää CPU-kortti FAIL-viestin.

4.2.11 Hälytyssireeni

Säteilysummerin tarkoitus on varoittaa laitteen käyttäjiä säteilystä. Summeri menee päälle, kun putken esihehku käynnistyy ja sammuu, kun hehku lopetetaan.

Tässä testissä testataan R3300-kortin hälytyssireenin ohjausta. Sireeni voi olla joko päällä tai pois päältä.

Testissä CPU-kortin testausohjelmisto pyytää testattavaa R3300-korttia asettamaan summerin päälle ja pois päältä noin 500 millisekunnin välien. Testaajan tulee kuulla sireenin ääni. Jos sireenin ääni kuuluu, on testi läpi ja testaaja antaa PASS-signaalin pääteohjelmassa. Jos ääntä ei kuulu, voi testaaja antaa FAIL-signaalin pääteohjelmassa tai odottaa 60 sekuntia, jolloin CPU-kortti katkaisee testauksen ja lähettää FAIL-viestin pääteohjelmalle.

4.2.12 Pyöräjän moottorin rajapinta

Pyöräjän moottorin tehtävä on nimensä mukaan pyörittää pyörijää. Pyörijään on kiinnitetty laitteen röntgensäteilijäyksikkö sekä kamerapaneeli ja detektori, joilla röntgenkuva tuotetaan. Kuvantamistilanteessa pyörijää pyöritetään 360 astetta potilaan pään ympärillä, joka mahdollistaa täydellisen 3D-kuvan.

Tässä testissä testataan pyöräjän moottorin rajapinta. Vaikka CPU-kortti ajaa ja hallitsee pyörijää, on R3300-kortille jätetty vastuu moottorin rajapinnan tutkimisesta. Rajapintaan kuuluu yksi mikro, koti- ja panoraamaoptot sekä kaksi enkooderia.

Testissä testauslaatikko lähettää R3300-kortin liittimeen, josta pyöräjän moottorin rajapinnan signaalit luetaan, ykkösestä nollaan vaihtuvaa signaalia. CPU-kortin testausohjelmisto kyselee R3300-kortilta pyöräjän moottorin rajapinnan sisääntulosignaaleita. Jos signaalit muuttuvat testin aikana, on testi mennyt läpi, ja CPU-kortti lähettää pääteohjelmalle PASS-viestin.

Jos signaalit eivät muutu 60 sekuntiin, katkaisee CPU-kortti automaattisesti testauksen lähettämällä pääteohjelmalle FAIL-viestin.

4.2.13 Säteilypainikkeen rajapinta

Valoituspainikkeella käyttäjä pääsee aloittamaan röntgenkuvauksen. Tällöin laitteen täytyy olla kuvausvalmiudessa. Painikkeesta lähtee signaali R3300-kortille, jolta CPU-kortti kyselee sitä koko kuvauksen aikana. Jos valotuspainike päästetään kesken kuvauksen, keskeytyy säteilytys.

Tässä testissä testataan säteilypainikkeen rajapinta. Rajapinta sisältää yhden signaalin, joka kertoo, onko painike painettu pohjaan.

Testissä testauslaatikko lähettää R3300-kortin säteilypainikkeen liittimeen ykkösestä nollaan vaihtuvaa signaalia. CPU-kortin testausohjelmisto kyselee R3300-kortilta säteilypainikkeen rajapinnan sisääntulosignaaleita. Jos signaalit muuttuvat testin aikana, on testi mennyt läpi ja CPU-kortti lähettää pääteohjelmalle PASS-viestin.

Jos signaalit eivät muutu 60 sekuntiin, katkaisee CPU-kortti automaattisesti testauksen lähettämällä pääteohjelmalle FAIL-viestin.

4.3 R3400 I/O -kortin testaus

R3400 I/O-kortti on R3300 tavoin Scanora®3D:n askelmoottoreiden hallintakortti. Tämä kortti ohjaa laitteen tuoliin liittyviä moottoreita.

Ohjattavia moottoreita on kolme: tuolin Y-suuntainen liike, tuolin Z-suuntainen liike sekä leukatuen säätömoottori [5.]

R3400-kortti ajaa itse vain leukatuenmoottoria, ja tuolin Y-moottoria ajaa CPU-kortti. Tuolin Z-moottori on vaihtovirtamoottori, joten sitä ei käytännössä aja mikään kortti, mutta sen sallintasignaaleista vastaa R3400-kortti. [5.]

R3400 I/O-kortin testeillä testataan pääsääntöisesti kortin ohjaamien moottoreiden ajot. Testattavat moottorit ovat tuolin Z-moottori, leukatuen moottori sekä Y-moottori. Moottoriajojen lisäksi testataan Y-moottorin ja kaukosäätimen rajapinnat.

4.3.1 Z-moottorin ajo

Tuolin Z-suuntainen moottori liikuttaa tuolia koordinaatiston Z-suuntaisesti, eli ylös ja alas. Tätä moottoria käytetään pelkästään potilaan asettelussa oikealle korkeudelle.

Tässä testissä testataan R3400-kortin tuolin Z-moottorin toimintaa. Testi eroaa muista R3400-kortin moottorin ajotesteistä siten että, moottoria ei varsinaisesti aja mikään I/O-kortti. Ajo tapahtuu ohjaamalla verkkovirta moottorille. Z-moottori ei siis ole mikään askelmoottori. R3400-kortin tehtävä on vain hallita yhtä Z-moottorin sallintasignaalia. Kaukosäätimen tuolin painikkeet toimivat toisina sallintasignaaleina. Kun kummatkin signaalit ovat aktiivisia, syötetään verkkovirtaa Z-moottorille. Tällä kaksoisvarmistuksella estetään moottorin itsestäänajo virhetilanteissa.

Testissä CPU-kortin testausohjelmisto pyytää testattavaa R3400-korttia asettamaan Z-moottorin ohjelmallisen sallintasignaalin aktiiviseksi. Testauslaatikko syöttää R3400-kortin kaukosäätimen liittimeen Z-moottorin toista sallinta- sekä suuntasignaalia, ja tutkii, tekeekö mittalaitteyksikössä oleva Z-moottori niin kuin sitä ohjataan. Jos Z-moottori toimii kuten pitää, lähettää pääteohjelma PASS-viestin CPU-kortin testausohjelmistolle. Jos

moottori ajaa väärään suuntaan tai ei aja ollenkaan, lähettää pääteohjelma FAIL-viestin.

Jos optohaarukka ei havaitse moottorin liikettä 60 sekuntiin, katkaisee R3200-kortti automaattisesti testauksen käskemällä R3400-korttia asettaa Z-moottorin sallintasiignaali epäaktiiviseksi, ja lähettämällä pääteohjelmalle FAIL-viestin.

4.3.2 *Y-moottorin ajo*

Tuolin Y-suuntainen moottori liikuttaa tuolia koordinaatiston Y-suuntaisesti. Laitteesta katsottuna tuolia liikutetaan eteen ja taaksepäin. Pääsääntöisesti tätä moottoria käytetään laitteen kalibroinnissa, kun tuoli asetetaan kohtisuoraan pyörijään nähden. Hammaslääkäri voi kuitenkin liikuttaa tuolia tällä moottorilla, jos potilas ei asetu laitteeseen normaaleilla asetuksilla. Vaikka Z-suuntaista moottoria liikutettaisiinkin, se ei vaikuta kalibrointeihin. Järjestelmä ajaa moottorit automaattisesti kalibrointiarvoihin aina ennen kuvausta ja laitteen alustuksen yhteydessä.

Tässä testissä testataan R3400-kortin tuolin Y-moottorin toimintaa. Testissä moottorin ajoa hallitsee CPU-kortti, R3300-kortin tehtävä on vain pitää moottori sähköistettynä sekä välittää CPU-kortilta tulevat ajosignaalit moottorille.

Testissä CPU-kortti ajaa testauslaatikossa olevaa tuolin Y-moottoria noin neljä sekuntia kumpaankin suuntaan niin kauan, kunnes testauslaatikon optohaarukka havaitsee edestakaisen liikkeen. Liikkeen havaittuaan pääteohjelma lähettää PASS-viestin testauslaatikossa olevalle CPU-kortille, joka pysäyttää moottorin liikkeen.

Jos testauslaatikon optohaarukka ei havaitse moottorin liikettä 60 sekuntiin, katkaisee R3200-kortti automaattisesti testauksen pysäyttämällä moottorin ja lähettämällä pääteohjelmalle FAIL-viestin.

4.3.3 *Leukatuen moottorin ajo*

Leukatuen säätömoottori hoitaa leukatuen korkeussäädön. Leukatuen korkeussäädöllä pyritään saamaan potilaan pää suoraan pyörijään nähden.

Tässä testissä testataan R3400-kortin leukatuen moottorin toimintaa. Moottorilla säädetään potilaan leuan asento oikeaksi.

Testissä CPU-kortin testausohjelmisto pyytää testattavaa R3400-korttia ajamaan testauslaatikossa olevaa leukatuen moottoria noin neljä sekuntia kumpaankin suuntaan niin kauan, kunnes testauslaatikon optohaarukka havaitsee edestakaisen liikkeen. Liikkeen havaittuaan pääteohjelma lähettää PASS-viestin testauslaatikossa olevalle CPU-kortille, joka pysäyttää moottorin liikkeen.

Jos testauslaatikon optohaarukka ei havaitse moottorin liikettä 60 sekuntiin, katkaisee R3200-kortti automaattisesti testauksen käskemällä R3400-korttia pysäyttämään moottorin ja lähettämällä pääteohjelmalle FAIL-viestin.

4.3.4 *Y-moottorin rajapinta*

Tässä testissä testataan tuolin Y-moottorin rajapinta. Vaikka CPU-kortti ajaa Y-moottoria, on R3400-kortille jätetty vastuu moottorin rajapinnan tutkimisesta. Rajapintaan kuuluu neljä optosignaalia.

Testissä testauslaatikko lähettää ykkösestä nollaan vaihtuvaa signaalia R3400-kortin liitimeen, josta rajapinnan signaalit luetaan. CPU-kortin testausohjelmisto kyselee R3400-kortilta rajapinnan sisääntulosignaaleita. Jos signaalit muuttuvat testin aikana, on testi mennyt läpi, ja CPU-kortti lähettää pääteohjelmalle PASS-viestin.

Jos signaalit eivät muutu 60 sekuntiin, katkaisee CPU-kortti automaattisesti testauksen lähettämällä pääteohjelmalle FAIL-viestin.

4.3.5 *Kaukosäätimen rajapinta*

Laitteeseen kuuluu hallintakaukosäädin, jolla lääkäri voi hallita potilaan paikoitusmoottoreita ja –lasereita sekä pyöräjän palautusta. Tämän kaukosäätimen signaalit menevät R3400-kortille, jolta CPU-kortti niitä kyselee. Kun kaukosäätimen nappia painetaan, CPU-kortti huomaa sen ja pyytää muita I/O-kortteja tekemään halutut toiminnot. Esimerkiksi jos potilaan paikoituslaseripainiketta painetaan, CPU-kortti pyytää R3300-korttia sytyttämään paikoituslaserit.

Tässä testissä testataan kaukosäätimen rajapinta. Rajapinta koostuu 11 signaalista, joilla tutkitaan, mitä painiketta käyttäjä on kaukosäätimestä painanut.

Testissä testauslaatikko lähettää ykkösestä nollaan vaihtuvaa signaalia R3400-kortin liittimeen, josta rajapinnan signaalit luetaan. CPU-kortin testausohjelmisto kyselee R3400-kortilta rajapinnan sisääntulosignaaleita. Jos signaalit muuttuvat testin aikana, on testi mennyt läpi ja CPU-kortti lähettää pääteohjelmalle PASS-viestin.

Jos signaalit eivät muutu 60 sekuntiin, katkaisee CPU-kortti automaattisesti testauksen lähettämällä pääteohjelmalle FAIL-viestin.

4.4 Testien tuloksia

Lähes kaikkien testien toimivuus on testattu valmiilla Scanora®3D-röntgenlaitteella ja toimivilla elektroniikkakorteilla. Testaus on suoritettu generoimalla järjestelmään virheitä joko ohjelmallisesti tai ottamalla jokin tietty johto irti, tai visuaalisesti katsottu, että laitteen toiminta on oikea. Näin on pystytty testaamaan kaikki muut paitsi referenssiarvotestit.

Rajapintatestejä testattaessa on testattavalta kortilta otettu rajapinnan signaalien sisääntulojohto irti, jolloin signaalien tasot eivät ole voineet muuttua. Jos testi ei mene läpi ennen kuin rajapinnan johto on kytketty takaisin kiinni ja signaalin taso muutettu, on testi toiminut oikein. Ohjelmallisesti on testattu esim. DDRAM-muistit kirjoittamalla ensin muistin 1-65535-numerosarjaa. Tämän jälkeen on muutettu jokin DDRAM-muistin osoitteen arvoa. Lopuksi on luettu muisti ja verrattu luettua arvoa kirjoitettuun numerosarjaan. Jos testi on huomannut virheellisen arvon oikeassa muistiosoitteessa ja antanut sen merkiksi FAIL-viestin, on testi toiminut oikein. Moottoritestit on tarkistettu katsomalla, että oikea moottori liikkuu oikean aikaa. Visuaalisesti on tarkistettu myös kameratellit. Niissä on katsottu, että testi tuottaa oikeanlaisen kuvan tietokoneelle.

Referenssiarvojen testausta ei voitu suorittaa valmiilla laitteella, sillä järjestelmä pakottaa arvot oikeiksi. Toisaalta, väärin arvojen asettaminen olisi voinut vahingoittanut laitetta. Referenssitestit pystyttiin testaamaan vasta, kun Testnova Oy oli saanut omat laitteistot ja ohjelmistot siihen kuntoon, että R3300-kortin testit voitiin ajaa läpi.

Testien toimivuuden testausta varten työssä jouduttiin rakentamaan pääteohjelmiasimulaattori simuloimaan pääteohjelman viestejä. Tämä siitä syystä, että Testnova Oy ei ollut vielä aloittanut pääteohjelman tekoa.

Pääteohjelmiasimulaattori lähetti kovakoodattuna esim. testien käynnistyskomentoja sekä arpoi PASS- ja FAIL-viestejä. Ilman pääteohjelmiasimulaattoria CPU-kortin testausohjelmisto ei olisi edes aloittanut testauksia. Tätä simulaattoria käytti Testnova Oy apunaan pääteohjelmaa toteuttaessaan.

Vaikka kaikki testit saatiin toimimaan oikein ei järjestelmästä tullut kuitenkaan vielä täydellinen. Järjestelmä ei ota aivan kaikkia virhemahdollisuuksia huomioon, joten testatuissa korteissa voi kuitenkin olla epätoiminnallisuuksia. Kuitenkin testeissä läpimeno kertoo sen, että kortti ei ainakaan vahingoita laitetta tai tee vakavia virheitä. Mahdolliset jäljelle jäävät virheet huomataan helposti laitteen tuotantovaiheessa, jolloin virheellisesti toimivat kortit voidaan vaihtaa.

Itse järjestelmän käyttö on helppoa, mutta se jättää testaajalle turhaa vastuuta. Joissakin testeissä esim. paikoituslasereiden testauksessa testaajan murheeksi jää päättää, onko testi läpi vai ei. Näissä tapauksissa testaaja voi tehdä virhearvion tai –painalluksen, jolloin testitulokset vääristyy ja muuten toimiva kortti voi joutua romukoppaan.

Valmis testausjärjestelmä lähetettiin piirikorttien alihankkijalle, joka testaa testausjärjestelmällä tuottamansa Scanora®3D:n piirikortit, ennen kuin lähettää ne Palodex Group Oy:lle. Vaikka kortit ovatkin jo testausjärjestelmällä testattu, ne testataan vielä uudestaan valmiilla laitteella ennen kuin ne päästetään tuotantoon. Itse olen ollut testaamassa näitä järjestelmällä jo testattuja kortteja ja niissä erissä ei ole ollut yhtään viallisia kortteja. Näin ollen oma näkemykseni on, että testausjärjestelmä tekee sen, mitä siltä vaaditaan.

5 TESTERIN JATKOKEHITYS

Vaikka testausjärjestelmä onnistuikin hyvin, jäi mielestäni vielä paljon parannettavaa. Nyt testaajan tarvitsee työskennellä kahden eri ohjelman kanssa, s2terminal-huolto-ohjelman ja varsinaisen järjestelmän pääteohjelman kanssa. Testaajan kannalta suotavampaa olisi, jos koko paketin saisi puristettua yhteen pääteohjelmaan.

Toinen hyvä parannuskohde olisi mielestäni rajapintojen tarkistukset. Nyt niissä tarkistetaan vain, että kaikkien tarkistettavien signaalien arvo muuttuu ykkösestä noltaan tai päinvastoin. Testausohjelmisto ei ota kantaa siihen, missä järjestyksessä signaalien arvoja tutkitaan. Tämä aiheuttaa ongelmia tilanteissa, jossa esimerkiksi liittimen pinnit ovat vahingossa juotettu yhteen. Tällöin yhden signaalin arvon muuttaminen näkyy kortilla kahden signaalin arvon muuttumisena. Testausohjelma hyväksyy kortin koska signaalien arvot vaihtuvat, mutta normaalissa toiminnassa kortti ei toimi oikein.

Huolto-ohjelman ja järjestelmän pääteohjelman yhteensulauttaminen tulisi olemaan haastava, mutta ei mahdoton projekti. Koska pääteohjelmaan on saatu integroitua S2-protokolla, puuttuvien ominaisuuksien lisääminen on mahdollista.

Rajapintojen testauksen parannusta varten tulisi tarvitsemaan uusia viestejä pääteohjelman ja testausohjelman välillä, joilla ohjelmat sopisivat, mitä yksittäistä signaalia testataan. Tällöin testausohjelma voisi tarkistaa, muuttuuko vain oikean signaalin arvo.

6 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä suunniteltiin ja toteutettiin lähes automaattinen Scanora®3D-röntgenlaitteen elektroniikkakorttien testausjärjestelmä. Testausjärjestelmä toteutettiin yhteistyössä Testnova Oy:n kanssa, jonka vastuulla oli suunnitella ja toteuttaa testausjärjestelmän laitteisto sekä pääteohjelmisto. Minun vastuulla oli suunnitella ja toteuttaa Scanora3D-röntgenlaitteen I/O-korttien testausohjelmat, jotka käskyttivät kortteja tekemään haluttuja toimintoja testauksen aikana.

Kuten johdannossa mainitsin, ei projekti valmistunut ongelmitta. Samaa mieltä on myös Testnovan edustaja. Hänen mielestään testilaitteprojekti alkoi liian aikaisessa vaiheessa verrattuna Scanora®3D:n suunnittelun valmiusasteeseen. Heille se vaikutti siihen, että jo suunniteltuja kokonaisuuksia jouduttiin muuttamaan Scanora®3D:hen tulleiden muutosten takia. Oikean aloituskohdan määrittäminen testilaitteprojektille on usein hankalaa. Testnovan edustajan mielestä tuoteprojektin alussa tulisi ottaa testilaitteen suunnittelija mukaan projektiin, jolloin voitaisiin karkeasti sopia testaamisesta. Varsinainen työ testilaitteen parissa olisi hyvä aloittaa, kun tuoteprojektin suunnittelu on loppusuoralla eikä mitään suuria muutoksia ole enää tulossa. Usein silloin on vielä aikaa rakentaa testilaitte ennen kuin tuote on valmis tuotantoon. Kuitenkin, nykyään testilaitteiden tarvitsemien materiaalien toimitusajat ovat venyneet jopa neljääntoista viikkoon, joten ihan äkkiä ei monimutkaisia testilaitteita valmistu. [7.]

Tavoitteet kuitenkin saavutettiin ja valmis testausjärjestelmä teki sen mitä siltä vaadittiinkin. Virheellisten elektroniikkakorttien määrä tippui huomattavasti kun elektorniikkakorttien alihankkija sai testausjärjestelmän käyttöönsä. Testausjärjestelmällä testattuja kortteja testattiin valmiillaa ja toimivalla Scanora®3D-röntgenlaitteella. Näistä testatuista eristä ei löytynyt virheellisiä kortteja.

Testausjärjestelmän valmistumisen myötä Scanora®3D-röntgenlaitteen kortteja ei enään tarvinnut testata käsin valmiilla laitteella. Se siirsi vastuun korttien testauksesta korttien alihankkijalle. Tämä nopeutti laitteiden valmistumista kun elektroniikkakorttien testausta ei tarvinnut enään odottaa, vaan kortit ovat heti käytettävissä. Myös korttien testaukseen tarvittu henkilöstö voitiin vapauttaa muihin tuotannollisiin tehtäviin. Näin ollen,

valmistunut testausjärjestelmä vähensi huomattavasti Scanora®3D-röntgenlaitteen tuotannon kustannuksia sekä paransi tuottavuutta.

VIITELUETTELO

- [1] Scanora®3D [verkkodokumentti, viitattu 5.9.2009]. Saatavissa: <http://www.drim-radiologie.com/mag/fr/product-306775.htm>.
- [2] Scanora®3D:n 3D-kuvaus [verkkodokumentti , viitattu 5.9.2009]. Saatavilla: http://www.soredexusa.com/categories.asp?document_id=1193&cat_id=1189.
- [3] Scanora®3D ohjelmistoarkkitehtuurisuunnitelma (tietoturvasuojattu dokumentti), PaloDEx Group Oy.
- [4] R3300 Ohjelmistoyksikön määrittely (tietoturvasuojattu dokumentti), PaloDEx Group Oy.
- [5] R3400 Ohjelmistoyksikön määrittely (tietoturvasuojattu dokumentti), PaloDEx Group Oy.
- [6] Pimeävirtakuva [verkkodokumentti, viitattu 5.9.2009]. Saatavilla: <http://www.ursa.fi/wiki/Kuvausopas/Pime%E4kuva>.
- [7] Testnovan Oy:n sanat projektista [e-mail, lähetetty 25.6.2009].
- [8] Panoraamakuvaus [verkkodokumentti, viitattu 27.9.2009]. Saatavilla: http://www.pikseli.fi/digifaq/3_panor.html.
- [9] Kartiokeilakuvaus [verkkodokumentti, viitattu 27.9.2009]. Saatavilla: <http://personal.inet.fi/tiede/tapiovaara/koli2008.htm>.
- [10] Vokseli [verkkodokumentti, viitattu 27.9.2009]. Saatavilla: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Vokseli>.
- [11] Panoraamakuva [verkkodokumentti, viitattu 27.9.2009]. Saatavilla: http://www.tomodent.fi/index.php?article_id=61&_subm_=1.
- [12] 3D-kartiokeilakuva [verkkodokumentti, viitattu 27.9.2009]. Saatavilla: http://www.soredex.com/Upload/3D/OnDemand_screenshot.jpg.
- [13] 3D-kartiokeilakuva [verkkodokumentti, viitattu 27.9.2009]. Saatavilla: <http://www.soredex.com/products/3d-imaging/scanora-3d/new-optional-xl-field-of-view.aspx>.