



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kim Yli-Panula

MULTITOUCH-PÖYDÄN KOSKETUSNÄYTÖN SUUNNITTELU

Tekniikka ja liikenne
2012

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Vaasan ammattikorkeakoulun tietotekniikan koulutusohjelmassa vuosien 2011 ja 2012 aikana.

Haluan kiittää opinnäytetyön ohjaamisesta lehtori Jukka Matilaa ja opinnäytetyön aiheen antajaa Cadpowerin Rami Nevalaa. Kiitokset menevät myös opiskelija Jukka Välikankaalle yhteistyöstä kosketusnäyttöpöydän suunnittelussa sekä Technobotnian henkilökunnalle, joka antoi neuvoja ja auttoi hankkimaan materiaalia työhön liittyen.

Vaasassa 20.12.2012

Kim Yli-Panula

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Kim Yli-Panula
Opinnäytetyön nimi	Multitouch-pöydän kosketusnäytön suunnittelu
Vuosi	2012
Kieli	suomi
Sivumäärä	126
Ohjaaja	Jukka Matila

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella kosketusnäyttö multitouch-pöytään. Työssä tutkittiin ja kokeiltiin optisia tekniikoita, joilla harrastelijat olivat kosketusnäyttöjä toteuttaneet. Työ tehtiin yhteistyössä kone- ja tuotantotekniikan opiskelija Jukka Välikankaan kanssa, jonka opinnäytetyön aiheena oli pöydän runko. Työn toimeksiantaja oli vaasalainen Cadpower Oy.

Kosketusnäytön toteuttamiseen käytettiin apuna internetistä saatavia tietoja mm. nuigroup.com ja peauproductions.com. Tekniikoihin liittyvän tietotekniikan lisäksi niissä oli paljon opeteltavaa optiikasta. Tiedonhaku käsitti työstä suuren osan, jota vaikeutti aiheesta löytyvän ammattimaisen tiedon vähäisyys. Kosketustekniikoista kokeiltiin lopulta FTIR- ja LLP-tekniikkaa.

Pöydästä saatiin tehtyä protomalli LLP-tekniikalla. Kosketusnäyttö saatiin toimimaan hyvin ja siihen voidaan olla tyytyväisiä. Kosketusnäytön toimintaa rajoittaa kuitenkin ympäristön valo. Pöydässä on myös joitain rakenteellisia puutteita, jotka vaatisivat suunnittelua. Näitä ovat lasermoduulien säätöalustat joilla kosketusnäytön tarkkuutta voisi parantaa, sekä projektorin, peilin ja kameran kiinnitys pöytään.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Tietotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Kim Yli-Panula
Title	Designing Touchscreen for Multitouch-Table
Year	2012
Language	Finnish
Pages	126
Name of Supervisor	Jukka Matila

The thesis goal was to design the touchscreen for the multitouch-table. This included studying and experimenting on optical techniques, by means of which enthusiasts have implemented such touchscreens. The work was completed in cooperation with a student of mechanical automation, Jukka Välikangas, whose thesis target was to design the frame for the multitouch-table. The thesis was made for Vaasa based Cadpower Oy company.

For example, information provided by nuigroup.com and peaproductions.com, was used as a data source during the implementation of the touchscreen. In addition to information technology involved in the touch technologies, plenty of learning in optics occurred. Information retrieval formed a large part of the thesis research and it was made more difficult, because only a small amount of professional and well organised data was available on the subject. Two of the techniques, FTIR and LLP were finally chosen to be tested.

The result of the thesis is the multitouch-table prototype implemented with LLP-technique. The touchscreen worked well and we can be satisfied with it. However, the ambient light conditions limit the operation of the touchscreen. Some structural deficiencies were also identified and would require designing. These include adjustable mounting bases for laser modules by which the accuracy of the touchscreen could be improved, as well the fixing of the projector, mirror and camera to the table.

Keywords

Multitouch, touchscreen, LLP, FTIR

SISÄLLYS

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
2	OPINNÄYTETYÖN MÄÄRITYS	10
	2.1 Cadpower Oy	10
	2.2 Työn aloitus.....	10
3	TEORIATAUSTA.....	12
	3.1 Mikä on kosketusnäyttö ja monikosketus?	12
	3.2 Yleistä kosketusnäytöistä.....	15
	3.3 Kosketusnäytön historia	16
	3.4 Monikosketuksen historia	18
	3.5 Toteutukset.....	21
4	KOSKETUKSEN TUNNISTUSMENETELMÄT	26
	4.1 Kapasitiiviset.....	26
	4.1.1 Pintakapasitiivinen	26
	4.1.2 Projisoidut kapasitiiviset	28
	4.2 Resisttiiviset	37
	4.3 Akustiset.....	41
	4.3.1 Surface Acoustic Wave (SAW)	41
	4.3.2 Dispersive Signal Touch (DST).....	42
	4.3.3 Acoustic Pulse Recognition (APR).....	42
	4.4 Optiset	43
	4.4.1 Yleistä optisista	43
	4.4.2 Infrared Grid Technology / Digital Waveguide Touch (DWT) / Infrared Optical Waveguide.....	44
	4.4.3 Optical imaging.....	45
	4.4.4 Laser Light Plane (LLP).....	46
	4.4.5 Frustrated Total Internal Reflection (FTIR).....	50
	4.4.6 Rear Diffused Illumination (Rear DI)	52
	4.4.7 Diffused Surface Illumination (DSI).....	54

5	HARRASTELIJOIDEN RAKENTAMAT KOSKETUSNÄYTÖT.....	56
5.1	Yleistä harrastelijoiden käyttämistä kamerapohjaisista tekniikoista.....	56
5.2	IR-lähteet.....	60
5.2.1	IR-ledit	61
5.2.2	IR-led-nauhat.....	62
5.2.3	IR-valaisimet	64
5.2.4	IR-lasermoduulit	65
5.3	Kamerat	67
5.3.1	Logitech C160	70
5.3.2	PS Eye	71
5.4	Projektorit ja kuvanmuodostus.....	74
5.4.1	Projektorit.....	74
5.4.2	EPSON EMP – 1825	76
5.4.3	Kosketuspinta.....	77
5.4.4	Hajoitin- / projektointikalvo.....	77
5.5	Kaupallisia optisia monikosketusnäyttöjä.....	79
6	MONIKOSKETUSOHJELMISTOT	84
6.1	Kosketuskohdan jäljitysohjelmat (Tracking softwares).....	84
6.1.1	Community Core Vision (CCV)	84
6.1.2	Muita jäljitysohjelmia	85
6.2	CCV konfigurointi	86
6.3	Kalibrointi CCV:ssä.....	90
6.4	Kosketustietoja välittävät protokollat	92
6.4.1	TUIO UDP	92
6.4.2	Flash XML	92
6.4.3	Binary TCP	92
6.5	Käytetyt sovellukset.....	93
7	TEKNIKOIDEN KOKEILU JA PROTOPÖYDÄN VALMISTUS.....	96
7.1	Protopöydän valmistus	96
7.2	Osien asennuksen vaikutus kosketusnäytön ominaisuuksiin	96
7.2.1	IR-lasermoduulien asennus ja säätö	96
7.2.2	Projektorin ja peilin asettelu ja suuntaus.....	98

7.2.3	Kameran asettelu ja suuntaus	99
7.2.4	Tynnyrivääristymä	100
7.2.5	Konfigurointi ja kalibrointi CCV:ssä.....	102
7.3	LLP:n turvallisuus.....	102
7.4	LLP:n kokeilu protopöydässä	104
7.5	FTIR:n kokeilu protopöydässä.....	109
7.6	LLP:n toinen versio paremmilla osilla.....	111
7.7	Kehittyneemmän pöydän rungon suunnittelu	121
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	122
	LÄHTEET.....	124

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää monikosketus-ominaisuutta (eng. multitouch) tukeva kosketusnäyttöpöytä. Tämän kokoluokan multitouch-kosketusnäyttöjä on viime vuosina tullut markkinoille, ja harrastelijat ovat myös alkaneet kehitellä omia menetelmiä niiden rakentamiseksi. Aiheen ajankohtaisuuden vuoksi tämän työn toimeksiantaja ja alan tuotteita myyvän Cadpower Oy:n toimitusjohtaja Rami Nevala halusi tietää, kuinka hyvin ja millä kustannuksilla tällaisen pystyisi käytännössä rakentamaan. Tarkoituksena oli tuotteistaa pöytä jos siitä tulee tarpeeksi toimiva ja kustannustehokas. Suunnittelu tehtiin yhteistyössä kone- ja tuotantotekniikan opiskelijan Jukka Välikankaan kanssa, jonka opinnäytetyön aiheena oli pöydän runko.

Kosketusnäyttöjä on tähän mennessä valmistettu eri tekniikoilla. Venymäliuskaantureilla toimivia kosketusnäyttöjä on ollut jo 1960-luvulta lähtien. Niissä näyttö on kiinnitetty jousilla alustaan ja anturit tunnistavat kosketuksen kohdan näytön painuessa. Multitouch katsotaan syntyneen vuonna 1982 kun Toronton yliopistossa kehitettiin ensimmäinen monikosketuksen tunnistava syöttölaite. Kehittyneimmissä kosketusnäytöissä käytetään mm. resistiivistä- ja kapasitiivista tekniikkaa, jotka toimivat sähköisesti, akustisia, jotka perustuvat ääneen ja optisia tekniikoita, jotka perustuvat valoon.

Menetelmät joilla harrastelijat ovat toteuttaneet multitouch-kosketusnäyttöjä, kuuluvat optisiin menetelmiin tai tarkemmin ottaen kamerapohjaisiin optisiin menetelmiin. Yleistoimintaperiaate niissä kaikissa on että kosketuspisteet valaistaan infrapunalla, jotka kosketuspintaa kuvaava web-kamera näkee. Tarkoitukseen muokattu web-kamera on liitetty tietokoneeseen, jossa kosketustiedot jäljitetään, jonka jälkeen ne välitetään käytettävälle sovellukselle. Sovellus heijastetaan kosketuspinnalle projektorilla. Kamerapohjaisen kosketusnäytön voi liittää tietokoneeseen, jossa kameran datan käsittelyn osaava kosketuspisteiden jäljitysohjelma.

Tämä opinnäytetyö painottuu näiden menetelmien tutkimiseen ja vertailuun sekä niistä valitun menetelmän rakennusvaiheeseen ja testaamiseen. Työn luonne oli tutkia ja kokeilla mitä mahdollisuuksia on rakentaa multitouch-pöytä. Tähän kuului tiedon etsintä ja opettelu. Rakentamisvaiheeseen kuului kokoonpanon suunnittelu, asetteleminen, optimointi ja säädöt. Työssä kokeiltiin kahta tekniikkaa joista toisella saatiin rakennettua protopöytä, joka toimi hyvin. Rakennetussa protopöydässä käytettiin tietokoneena PC:tä Windows 7 - käyttöjärjestelmällä ja kosketuspisteiden tulkintaan NUI Group Community - yhteisön kehittämää Community Core Vision 1.4 versiota.

Työn sisältö käsittelee enemmän laitteistoa ja sen toteuttamista, eikä siinä kehitetty omia monikosketusohjelmia. Työssä käydään läpi ohjelmistopuolella vain kosketuspisteiden jäljitysohjelma ja sen kommunikointi käyttösovelluksen kanssa. Käyttösovellukset, joita käytettiin pöydän testaamisessa, olivat valmiita Flash- demoja esim. palapeli- ja pianosovellus sekä TUIO-hiirisovellus.

2 OPINNÄYTETYÖN MÄÄRITYS

2.1 Cadpower Oy

Cadpower Oy on vuonna 2006 perustettu suunnittelu- ja konsultointialan yritys. Päätoimialana on cad-ohjelmien koulutus ja konsultointi mm. Autodeskin tuotteista. Sivutoimialana on räätälöityjen sovellusten rakentaminen, joita tehdään yhteistyöverkoston kanssa sekä uusien innovatiivisten tuotteiden myynti, kuten 3D-näytöt, piirto-näytöt ja -alustat sekä kosketusnäyttökälvot. Yrityksen toimitilat sijaitsevat Vaasassa ja yrittäjänä toimii Rami Nevala.

2.2 Työn aloitus

Alunperin opinnäytetyön aiheena oli työnantajan maahantuoman Displax kapasitiivisen kosketusnäyttökälvon räätälöinti yrityskäyttöön. Kosketusnäyttökälvolla oli tarkoitus toteuttaa esimerkiksi interaktiivinen ikkuna yrityksen tiloihin (ikkunoihin tai muuhun sisätiloissa olevaan läpinäkyvään pintaan) parantaen yrityksen markkinointia. Tehtävinä olisi ollut asiakkaan hankinta, projektin määrittely, laitteistojen ja ohjelmien valinta ja niiden käyttöönotto, palautteen hankkiminen, kehittymismahdollisuuksien kartoittaminen ja lopuksi raportointi.

Ensimmäisessä tapaamisessa, jonka tarkoituksena oli kertoa opettajalle tarkemmin suunnitellusta työn sisällöstä, suunnitelmat muuttuivat. Opettajan ehdotuksesta aloin tutkimaan mahdollisuutta rakentaa optisilla menetelmillä toimivaa kosketusnäyttöä, joilla harrastelijatkin olivat niitä tehneet. Kun työnantaja ehdotti että kosketusnäytön voisi tehdä pöydälle, aiheeksi muodostui tutkia mitä mahdollisuuksia on rakentaa edullinen multitouch-pöytä kamerapohjaisella optisella tekniikalla. Eli pöytä joka on varustettu kosketusnäytöllä ja pystyy tunnistamaan monta samanaikaista kosketuspistettä.

Tehtävä oli tutkia eri tekniikoita ja sen jälkeen analysoida niitä. Tietoa löytyi alaan liittyvästä laajasta <http://www.nuigroup.com> sivustosta, joka on harrastelijoiden ylläpitämä, sekä yksittäisten harrastelijoiden rakennusohje-sivuilta. Näistä löytyi perustiedot aiheesta, mutta tarkempi tieto oli hajallaan, mikä

vaikeutti etsintää. Myöhemmin löytyi <http://www.peauproductions.com>-verkkokaupan, joka myi menetelmiin tarvittavia osia. Sieltä löytyi ammattimaisempaa ja paremmin järjestettyä tietoa, mikä helpotti menetelmien ja niiden osien opettelua. Tästä kaupasta tilattiin rakennettavaan kosketusnäyttöpöytään osia.

3 TEORIATAUSTA

3.1 Mikä on kosketusnäyttö ja monikosketus?

Kosketusnäyttö

Kosketusnäyttö on laite, jonka ruudulla näytetään tietokonesovellus ja sen käyttö tapahtuu ruudun kosteuspintaa koskettamalla. Se tunnistaa kosketuksen ja sen sijainnin sekä liikkeen kosketuspinnalla. Kosketusnäytöt on usein tarkoitettu sormella käytettäväksi, mutta myös apuvälineitä käytetään, esim. tarkoitukseen sopivaa osoitinkynää. Perinteiset kosketusnäytöt tunnistavat vain yhden kosketuspisteen kerrallaan.



Kuva 1. Tavallisia yksikosketusliikkeitä. /5/

Monikosketus

Monikosketusnäyttö eli multitouch-näyttö tarjoaa yhden kosketuspisteen sovellusten käytön lisäksi monikosketussovelluksien käytön. Uudemmissa kosketusnäytöissä on saatavilla tämä ominaisuus, joka mahdollistaa usean kosketuspisteen (sormenpään) samanaikaisen tunnistamisen, sitä hyödyntävissä sovelluksissa. Myös tässä työssä rakennettu kosketusnäyttö tukee tätä. Tämä mahdollistaa myös sen, että pöytää voi käyttää samanaikaisesti useampi henkilö sovelluksissa, jotka on tarkoitettu käytettäväksi useammalle samanaikaiselle käyttäjälle. Tämä mahdollistaa mielenkiintoiset ja käytettävyydeltään monipuoliset sovellukset. Käyttö tapahtuu useammalla sormella liikuttaen niitä kosketuspinnalla ja tehden erilaisia multitouch-liikkeitä (gestures).

Monikosketusliikkeet (gestures)

Monikosketusliikkeet ovat standardoituja liikkeitä, joita käytetään monikosketuslaitteissa (**Kuva 2.**). Nämä liikkeet ovat tiiviisti integroitu esimerkiksi Applen tuotteisiin sekä kannettavissa että pöytäkoneissa. Ne ovat myös osa moderneja älypuhelimia ja tabletteja. /13/

two-finger zoom in



two-finger zoom out



two-finger rotate



two-finger tap



two-finger double tap



Kuva 2. Yleisiä monikosketusliikkeitä. /5/

Standardiliikkeiden (direct gestures) jatkoksi on joillakin ohjelmilla mahdollista luoda omia liikkeitä (symbolic gestures). Nämä pitää opettaa tälle tunnistusohjelmistolle ja liikkeet voi ottaa käyttöön käyttösovelluksen koodissa. Tällainen ohjelmoitava liike voi olla esim. "S", jota voi käyttää esim. save-toimintona. Toinen voi olla "O", jota voi käyttösovelluksen koodissa käyttää esim. open-toimintona. /23/

3.2 Yleistä kosketusnäyttöistä

Kosketusnäyttöjä on erilaisissa laitteissa kuten pelikonsoleissa, all-in-one tietokoneissa, tablet-tietokoneissa ja älypuhelimissa.

Kosketusnäytössä on kaksi pääominaisuutta. Ensinnäkin on mahdollista ohjata suoraan mitä näytöllä tapahtuu, toisin kuin kursorin ohjaaminen hiirellä tai kosketuslevyllä (touchpad). Toiseksi se mahdollistaa käytön ilman kädessä pidettävää apuvälinettä (muuta kuin osoitinkynää, joka on valinnainen useimmissa moderneissa kosketusnäytöissä). Kosketusnäytöt voidaan liittää tietokoneeseen tai verkkoon käyttöpäätteeksi. Ne ovat merkittävässä roolissa myös kannettavissa digitaalisissa laitteissa, kuten kämmentietokoneissa, satelliittinavigointilaitteissa, matkapuhelimissa ja videopeleissä.

Älypuhelimien, tablet-tietokoneiden ja muiden informaatiolaitteiden suosio ohjaa kosketusnäyttöjen kysyntää ja hyväksyntää kannettavaan elektroniikkaan. Kosketusnäytöt ovat suosittuja mm. hoitoalalla, raskaassa teollisuudessa ja yleisissä informaatiopisteissä, missä näppäimistön ja hiiren yhdistelmä ei tarjoa käyttäjälle sopivaa vaistonvaraista, nopeaa tai tarkkaa vuorovaikutusta näytön sisällön kanssa.

Multitouch tunnistus ja prosessointi tapahtuu ASIC-sensorin kautta joka on liitetty kosketuspintaan. Yleensä eri yritykset valmistavat ASICin ja näytön jotka yhdistyvät kosketusnäytöksi. Päinvastoin trackpadin pinnan ja ASICin valmistavat yleensä sama yritys. Monet isot yritykset ovat viime vuosina laajentaneet kasvavaan multitouch-alaan, järjestelmillä jotka on suunniteltu yksittäisistä käyttäjistä monikansallisiin organisaatioihin.

Muutamit yritykset ovat keskittyneet suuriin kosketusjärjestelmiin mieluummin kuin henkilökohtaiseen elektroniikkaan, joko suuriin multitouch-pöytiin tai seinäpintoihin. Näitä järjestelmiä käyttävät yleisesti hallitusorganisaatiot, museot ja yritykset informaatio tai näyttelynäyttöinä. /13; 15/

3.3 Kosketusnäytön historia

- E.A. Johnson kuvaili työnsä kapasitiivisesta kosketusnäytöstä lyhyessä artikkelissa 1965, ja kattavampana artikkelina kuvien ja kuvaajien kanssa 1967.
- Kuvaus kosketusteknologian soveltuvuudesta lentoliikenteen ohjaamiseen esitettiin artikkelissa vuonna 1968.
- Frank Beckin avustuksella Bent Stumpe, molemmat CERNin insinöörejä, kehittivät läpinäkyvän kosketusnäytön 1970-luvun alussa, jonka valmisti CERN ja se otettiin käyttöön 1973.
- Resistiivisen kosketusnäytön kehitti amerikkalainen G Samuel Hurst ja ensimmäinen versio tuotettiin 1982.
- Vuosina 1979 - 1985, Fairlight CMI (ja Fairlight CMI IIx) olivat johtavia musiikkinäyte- ja synteesityöasemia jotka hyödynsivät valokynä-tekniologiaa. Käyttäjä pystyi kohdentamaan ja manipuloimaan näyte- ja synteesidataa, ja myös liikkumaan käyttöjärjestelmän valikoissa, koskettamalla näyttöä valokynällä.
- HP-150 vuodelta 1983, oli yksi maailman ensimmäisistä kaupallisista kosketusnäyttötietokoneista. Samoin kuin PLATO IV - järjestelmässä, kosketustekniikkana käytettiin infrapunalähtimiä ja -vastaanottimia jotka ympäröivät 9” Sony - kuvaputken etupaneelin. Ne tunnistivat minkä tahansa ei, läpinäkyvän objektin kosketuksen.
- Ensimmäinen graafinen myyntipisteohjelmisto ViewTouch, esiteltiin Atari - 520ST väritietokoneelle vuonna 1986. Tärkeä osa sitä oli kosketusnäyttölaitteella ohjattava värillinen käyttöliittymä. Ohjelmiston esitteli sen kehittäjä Gene Mosher.

- Aikainen yritys tuoda käsipelikonsoleihin kosketusnäyttö oli Segan aiottu seuraaja Game Gear 1990-luvun alussa. Laite kuitenkin hyllytettiin eikä koskaan julkaistu kosketusnäytön kalliiden kustannusten takia. Kosketusnäytöt eivät saaneet suosiota kannettavissa pelikonsoleissa ennen Nintendo DS:n julkaisua 2004.
- Vielä muutamia vuosia sitten, useimmat kuluttajille tarkoitetut kosketusnäytöt eivät pystyneet tunnistamaan kuin yhden kosketuspisteen kerralla, ja harvalla oli kyky tunnistaa kosketuksen paine. Tämä on muuttunut multiotuch-tekniikan kaupallistumisen myötä. /15/

3.4 Monikosketuksen historia

Kosketusnäyttötekniikan käyttö elektronisten laitteiden ohjauksessa edeltää multitouch - teknologiaa ja henkilökohtaisia tietokoneita (PC). Varhaiset syntesisaattori- ja elektroniikkainstrumenttivalmistajat, kuten Hugh Caine ja Bob Moog, kokeilivat kosketusherkkiä kapasitiivisia tunnistimia ohjaamaan ääniä joita heidän instrumenttinsa tuottivat. IBM aloitti ensimmäisten kosketusnäyttöjen rakentamisen. Control Data julkaisi vuonna 1972 PLATO IV - tietokoneen, päätteen jota käytettiin koulutustarkoitukseen, joka käytti yksikosketuspisteitä 16 x 16 matriisissa käyttöliittymään.

Yksi aikaisimmista mutual capacitance kosketusnäyttöteknologiatoteutuksista kehitettiin CERNissä 1977, perustuen heidän kapasitiiviseen kosketusnäyttöön, jonka kehitti tanskalainen elektroniikkainsinööri Bent Stumpe 1972. Tätä teknologiaa käytettiin kehittämään uuden tyyppinen käyttöliittymä Super Proton Synchrotron hiukkaskiihdyttimen ohjaushuoneeseen.

Käsikirjoitetussa tiedotuksessa 11 maaliskuuta 1972, Stumpe esitti hänen ratkaisun - kapasitiivinen kosketusnäyttö kiinteällä määrällä ohjelmoitavia nappeja näytöllä. Näyttö koostui sarjasta kondensaattoreita syövytettyinä kuparifilmille lasilevyn päällä. Jokaisen kondensaattorin muodostuen niin, että lähellä oleva tasainen johdin, kuten sormenpää, kasvattaisi kapasitanssia merkittävästi. Kondensaattorit muodostuivat ohuista viivoista syövytettyinä kupariin lasilevyn päällä, tarpeeksi ohuita (80 um) ja riittävän etäällä toisistaan (80 um) ollakseen näkymättömiä. Lopullisessa laitteessa oli yksinkertainen lakkapinnoite estämässä sormia varsinaisesti koskettamasta kondensaattoreita.

Multitouch - teknologia alkoi 1982, kun Toronton yliopiston tutkimusryhmä kehitti ensimmäisen multitouch-järjestelmän. Järjestelmä käytti huurrelasi-paneelia, jonka alle on sijoitettu kamera. Kun yksi tai useampi sormi koskettaa lasia, kamera havaitsee toiminnan yhtenä tai useampana mustana pisteinä muuten valkoisessa taustassa, mahdollistaen sen rekisteröinnin syötteenä. Koska pisteen koko oli riippuvainen paineesta (kuinka kovaa henkilö painoi lasia), järjestelmä oli jokseenkin paineen tunnistava.

Vuonna 1983 Bell Labs julkaisi kattavan artikkelin kosketusnäyttöliittymistä. Vuonna 1984 organisaatio suunnitteli kosketusnäytön, jossa pystyi vaihtamaan kuvia useammalla kuin yhdellä kädellä. 1985 Toronton yliopistoryhmä ml. Bill Buxton kehitti multitouch-tabletin, joka käytti kapasitanssia tilaa vievän kamerapohjaisen optisen tunnistusjärjestelmän sijasta.

Läpimurto tapahtui 1991, kun Pierre Wellner julkaisi dokumentin hänen multitouchista ”Digital Desk”, mikä tuki myös ”pinching” liikkeitä.

Useat yritykset kehittivät näitä keksintöjä 2000-luvun alussa. Yritys nimeltä Fingerworks kehitti useita teknologioita 1999 - 2005 sisältäen Touchstream keyboard ja iGesture Pad. Professori Alan Hedge julkaisi useita tutkimuksia tästä tekniikasta 2000-luvun alussa Cornellin yliopistossa. Apple osti Fingerworksin ja sen multitouch - teknologian 2005. Valtavirralla multitouch tuli tutummaksi iPhoneen saadessa suosiota, Applen ilmoittaessa samalla, että se keksi multitouchin. Kuitenkin molemmat multitouchin toiminta ja termi edelsivät Applen ilmoitusta tai patenttihakemuksia, lukuunottamatta sellaisen alueen hakemusta kuin kapasitiivisen puhelimen näytöt, mitä ei ollut olemassa ennen Fingerworks/Applen teknologiaa (Apple haki patenttia 2005 - 2007 ja sai sen 2009 - 2010).

Jefferson Y. Hanin pitämä julkaisu ja esitys käyttäen termiä Multi-touch vuonna 2005 edeltää näitä, mutta Apple sai multitouchille laajemman huomion sen uuden tuotteen markkinoinnin avulla ja oli ensimmäisenä esittelemässä multitouchia puhelimissa.

Microsoftin pöydän päällä oleva kosketusalusta Microsoft PixelSense, minkä kehitys aloitettiin 2001, tunnistaa käyttäjän kosketuksen sekä elektroniset laitteet. Samana vuonna Mitsubisi Electric Research Laboratories (MERL) aloitti monikäyttäjäjärjestelmän nimeltä DiamonTouch kehityksen, perustuen kapasitanssiin joka pystyi erottamaan monia samanaikaisia käyttäjiä (tai tuoleja joissa käyttäjä istuu tai lattiapad jossa käyttäjä seisoo). DiamonTouchista tuli kaupallinen tuote 2008.

Pienet kosketuslaitteet ovat yleistyneet voimakkaasti, kun kosketusnäytöllä varustettujen puhelimien myynti vuonna 2006 oli 20 000 kpl, myynnin odotetaan vuonna 2012 olevan 21 miljoonaa kpl. /13/

3.5 Toteutukset

Kosketusnäyttöjä on toteutettu monella eri tavalla, riippuen näytön koosta ja tyypistä. Viime vuosien aikana useat yritykset ovat julkaisseet multitouch - tuotteita. Suosituimmat muodot ovat kannettavat laitteet, tabletit, kosketusnäyttöpöydät ja seinät. Yrityksenä saada teknologia helpommin saatavaksi, harrastajat ovat myös julkaisseet metodeja, joilla rakentaa tee se itse-kosketusnäyttöjä. Näitä ovat LLP, FTIR, Rear DI ja DSI.

Markkinoilta saa myös erillisiä kosketuspintoja esim. kapasitiivisia kalvoja ja optisia kosketuskehysjä joilla pystyy lisäämään kuvapintaan (esim. lcd-näyttö tai projektoitu akryyli) kosketuksen tunnistuksen. Niissä ei ole kuitenkaan muuta työtä kuin kiinnittäminen kuvapinnalle, ohjelmiston asennus ja kalibrointi, joten sitä ei voi laskea varsinaisesti kosketusnäytön rakentamiseksi.

Kosketustekniikoista lyhyesti. Niiden tarkempi kuvaus löytyy kappaleesta 4.

- **Kapasitiiviset**

Kapasitiivinen kosketusteknologia hyödyntää ihmiskehon kapasitanssia. Kosketuspisteen sijainti tunnistetaan sensoreilla, jotka tunnistavat muutokset näytön sähkökentässä (kapasitanssissa) sitä kosketettaessa.

- Pintakapasitiivinen

Kosketusnäytön pintaan muodostetaan yhtenäinen tasainen sähkökenttä. Kosketus tunnistetaan nurkissa sijaitsevilla sensoreilla kapasitanssin muutoksena.

- Projisoitu kapasitiivinen

Sähköä johtava kerros on kuvioitu elektrodeiksi joista heijastuu sähkökenttä kosketuspinnalle. Kosketus tunnistetaan yksittäisten elektrodien kapasitanssin muutoksena. Projisoituja kapasitiivisia on kahta tyyppiä:

- Self-capacitance

Kapasitanssin muutos mitataan yksittäisistä elektrodeista maata vasten.

- Mutual capacitance

Kapasitanssin muutos mitataan risteävien elektrodien välillä.

- **Resistiiviset**

Resistiivinen kosketusnäyttö koostuu kahdesta levystä, jotka on pinnoitettu sisäpuolelta resistiivisellä materiaalilla. Kosketuksen tapahtuessa levyt koskettavat toisiinsa, josta kosketuskohta tunnistetaan. Kun levyjen resistiiviset kerrokset on muotoiltu ruudukoksi, kosketusnäyttö on digitaalinen, kun taas yhtenäiseksi se on analoginen.

- **Akustiset**

Akustisissa menetelmissä kosketuksen tunnistus perustuu ääneen ja sen tunnistamiseen.

- Surface Acoustic Wave(SAW)

SAW – tekniikka käyttää ultraääniaaltoja (yli 20kHz), jotka kulkevat kosketusnäytön pinnan yläpuolella. Tunnistus tapahtuu kun tietyt ääniaallot eivät pääse kosketuksen takia lähettimiltä vastaanottimille.

- Bending Wave Touch (BWT)

Tunnistaa värähdykset joita syntyy kosketuspintaa kosketettaessa. Tunnistus tapahtuu vain kosketushetkellä.

- Dispersive Signal Touch (DST)

DST käyttää sensoreita tunnistamaan piezosähköisyyttä lasissa, joka tapahtuu kosketuksesta. Tästä tunnistetaan kosketuksen sijainti.

- Acoustic Pulse recognition(APR)

Kosketuspinnan lasissa jokaisessa kosketuskohdassa syntyy uniikki ääni. Kosketus tunnistetaan kun ohjain vertaa sitä esinauhoitettuihin äänin, jotka on mitattu eri kosketuskohdissa.

- **Optiset tekniikat**

Optisissa menetelmissä kosketuksen tunnistus perustuu valoon tai oikeammin sähkömagneettiseen säteilyyn (infrapunavaloon) ja sen tunnistamiseen.

- Infrared Grid Technology (optomax-matrix) / Digital Waveguide Touch (DWT) / Infrared Optical Waveguide

Näissä kaikissa luodaan IR-valoverkko näytölle, joissa kosketus tunnistetaan kun verkko katkeaa. Infrared Gridin verkko muodostetaan kehyksellä, jossa kahdella sivulla IR-ledi-rivi sekä vastakkaisilla sivuilla fototransistori-rivi.

- **Kamerapohjaiset optiset tekniikat**

- Optical imaging

Kaksi tai useampi reunoilla (usein kulmissa) olevaa IR-lähetin/vastaanotin-yksikköä heijastavat tason lähelle kosketuspintaa. Tason säteet palaavat vastakkaisten reunojen heijastuspinoilta takaisin vastaanottimille. Kosketus tunnistetaan kun se estää (osaa) valonsäteistä palaamasta niille.

- LLP

LLP - tekniikassa muodostetaan IR-lasermoduuleilla ohut taso lähelle kosketuspintaa. Kosketuspintaan kosketettaessa sormi osuu samalla lasertasoon hajottaen säteen alaspäin, jonka alapuolinen kamera tunnistaa valoisana kosketuspisteenä.

- FTIR

FTIR-tekniikassa infrapunavalo johdetaan akryylilevyn sisään sen sivuista. Tämä tehdään IR-ledeillä, jotka ympäröivät akryylilevyä. IR-valo jää sisäisen kokonaisheijastuksen (TIR) takia heijastumaan edestakaisin akryylin sisälle. Kun akryylilevyä kosketetaan ($F = \text{frustrate}$) valo hajoaa alaspäin, jonka alapuolinen kamera havaitsee valoisana kosketuspisteenä.

- Rear DI

Rear DI-tekniikassa hajoitinkalvolla (diffuser) varustettu kosketuspinta valaistaan alhaaltapäin, suljettuun koteloon asennetuilla IR-valaisimilla. Kun kosketuspintaa kosketetaan, alla oleva kamera havaitsee tästä kohdasta heijastuvan enemmän valoa kuin hajottimesta tai taustalla olevista esineistä.

- DSI

DSI:ssä on ominaisuuksia FTIR- sekä Rear DI -tekniikasta. Siinä IR-valo johdetaan akryyliin samalla tavalla kuin FTIR-tekniikassa. Tavallisen akryylin sijaan DSI:ssä käytetään erikoisakryyliä, joka hajoittaa valoa Rear DI:n hajoitinkalvon tapaan. Hajoitin (projektointi) kalvoa tarvitaan DSI:ssä ainoastaan kuvan heijastamiseksi. Kosketettaessa akryylissä hajonnut valo heijastuu alaspäin voimakkaimmin kosketuskohdasta, jonka alapuolinen kamera tunnistaa.

4 KOSKETUKSEN TUNNISTUSMENETELMÄT

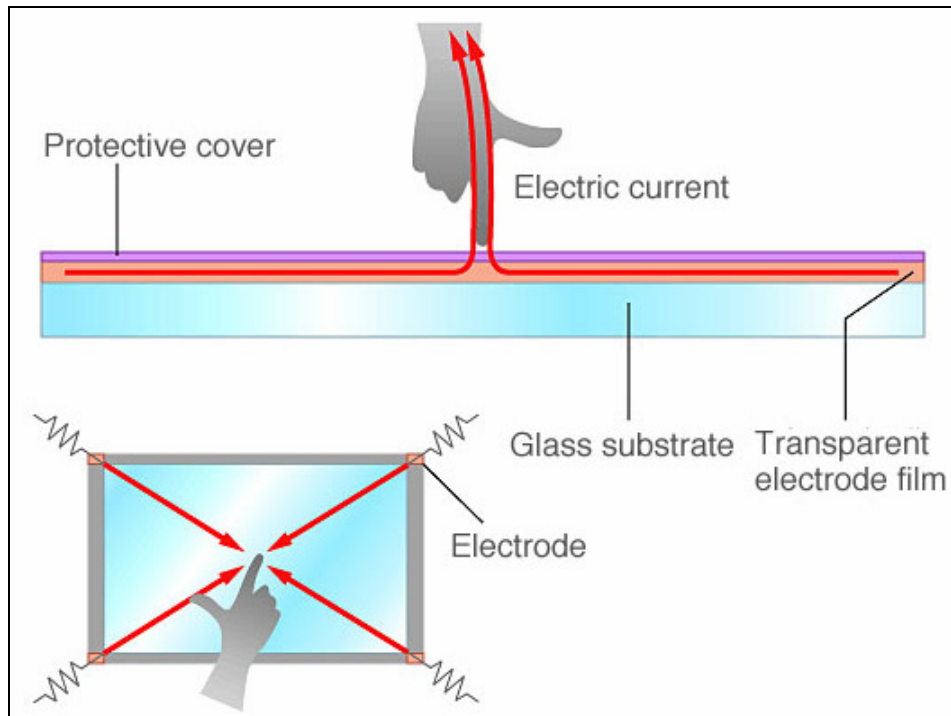
4.1 Kapasitiiviset

Kapasitiivinen kosketusteknologia hyödyntää ihmiskehon kapasitanssia. Kosketuspisteen sijainti tunnistetaan sensoreilla, jotka tunnistavat muutokset näytön sähkökentässä (kapasitanssissa) sitä kosketettaessa. Kapasitiiviset kosketuspaneelit edustavat toiseksi käytetyintä tunnistusmetodia resistiivisen kosketuspaneelin jälkeen. Niistä on kaksi merkittävää tyyppiä: surface capacitive (pintakapasitiivinen) ja projected capacitive (projisoitu kapasitiivinen). Sisäinen rakenne on niissä erilainen.

4.1.1 Pintakapasitiivinen

Pintakapasitiivisiä kosketuspaneeleja käytetään usein suhteellisen suurissa näytöissä (**Kuva 3.**). Paneelin rakenteessa ylimmäisenä on kosketuspintana toimiva ohut eriste, kuten lasi. Alimmaisena kerroksena on paksumpi lasi, joka toimii tukena. Näiden välissä on läpinäkyvä, sähköä johtava materiaalikerros.

Johtavaan kerrokseen syötetään pieni jännite, joka muodostaa tasaisen sähkökentän kosketuspintaan. Johtavan kerroksen jokaisessa kulmassa on sensori joka mittaa sähkövirtaa. Kun sormi tai jokin muu sähköä johtava esine koskettaa kosketuspintaa, muodostuu tähän kohtaan dynaamisesti kondensaattori. Sähkökenttä (kapasitanssi) muuttuu tällöin kosketuskohdassa. Sensorit tunnistavat tämän ja lähettävät tiedon ohjaimelle, joka määrittää kosketuskohdan. /8; 15/



Kuva 3. Pintakapasitiivisen kosketuspaneelin rakenne ja toimintaperiaate. Sensorit sijaitsevat joka kulmassa. /10/

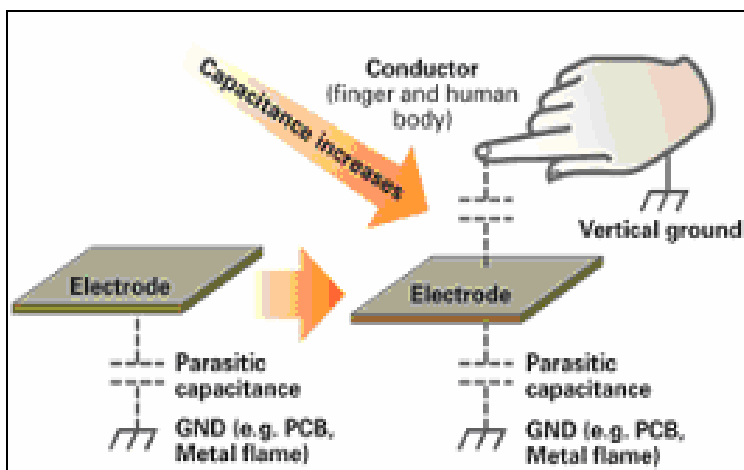
4.1.2 Projisoidut kapasitiiviset

Projisoituja menetelmiä ovat self-capacitance ja mutual capacitance (**Vrt. Taulukko 1.**). Ne soveltuvat hyvin pienemmille näytöille (<10 tuumaa). Projisoitu kosketusnäyttö eroaa pintakapasitiivisesta siten, että sähköä johtava kerros on kuvioitu elektrodeiksi eikä yhtenäinen. Niissä sähkökenttä heijastuu voimakkaammin kosketuspinnan yläpuolelle. Projisoiduissa näytöissä käytetään interpolaatiota, jossa monien vierekkäisten elektrodien mittaustulos otetaan huomioon. Näin saadaan tarkka kosketussijainti. Sähköä johtavana kerroksena käytetään yleisesti indium–tina-oksidia, joka on läpinäkyvää. Resoluutio on yleensä erittäin tarkka molemmilla projisoiduilla menetelmillä, vähintään 1024 x 1024. /17/

Taulukko 1. Projisoitujen menetelmien ominaisuuksien vertailu. /17/

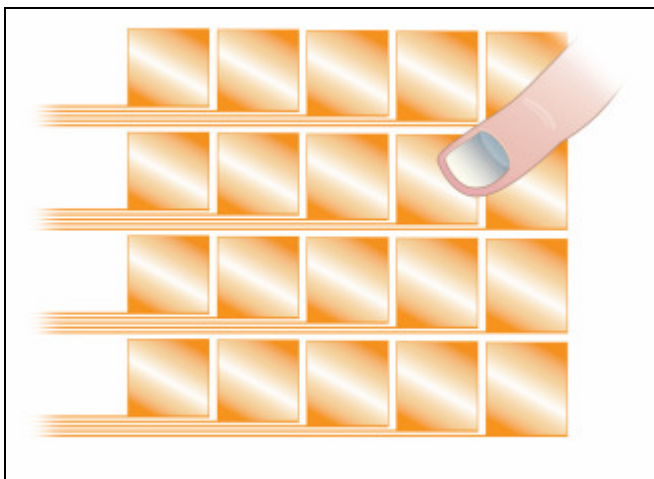
Ominaisuus	Self-Capacitance	Mutual Capacitance
Elektrodi-tyypit	Vain tunnistus	Virransyöttö ja tunnistus
Kerrosten lukumäärä	1 tai 2	2
Sensori sommittelu	Monikenno tai vaaka- & pystyrivi	Mikä tahansa sommittelu, jossa yksilölliset elektrodi-risteykset; yleensä vaaka- & pystyrivi
Skannaus metodi	Jokainen elektrodi yksilöllisesti	Jokainen elektrodi-risteys
Mittaus	Elektrodin kapasitanssi maata vasten	Elektrodien välinen kapasitanssi
Haamupisteet	Monikenno: Ei Vaaka- & pystyrivi: Kyllä	Ei

Self-capacitance perustuu yksittäisen elektrodin kapasitanssin mittaukseen maata vasten (**Kuva 4.**). Kun sormi on lähellä elektrodia, ihmisen kapasitanssi muuttaa elektrodin kapasitanssia. Kuvioidut toisistaan erillään olevat elektrodit ovat joko yhdessä tai kahdessa kerroksessa.



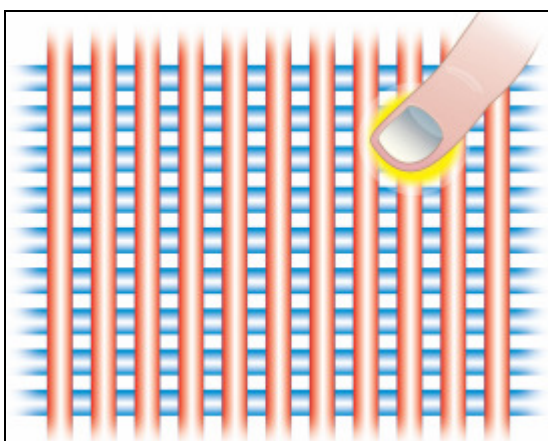
Kuva 4. Self-capacitancen toimintaperiaate. /30/

Yksikerroksisessa self-capacitancessa jokainen elektrodi (kenno) edustaa tiettyä koordinaattiparia (**Kuva 5.**). Kun jokainen elektrodi on erikseen liitetty ohjaimiin, se mahdollistaa multitouch-tuen. Elektrodit skannataan vuorollaan nopealla ja tiheällä syklillä.

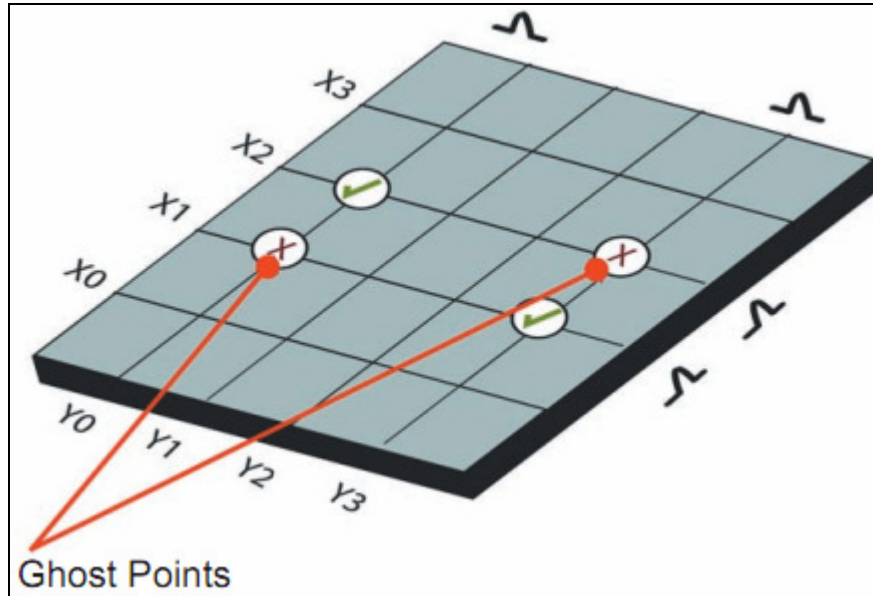


Kuva 5. Yksikerroksisen self-capacitancen elektrodit muodostuvat yksittäisistä kennoista, joista kapasitanssi mitataan. /32/

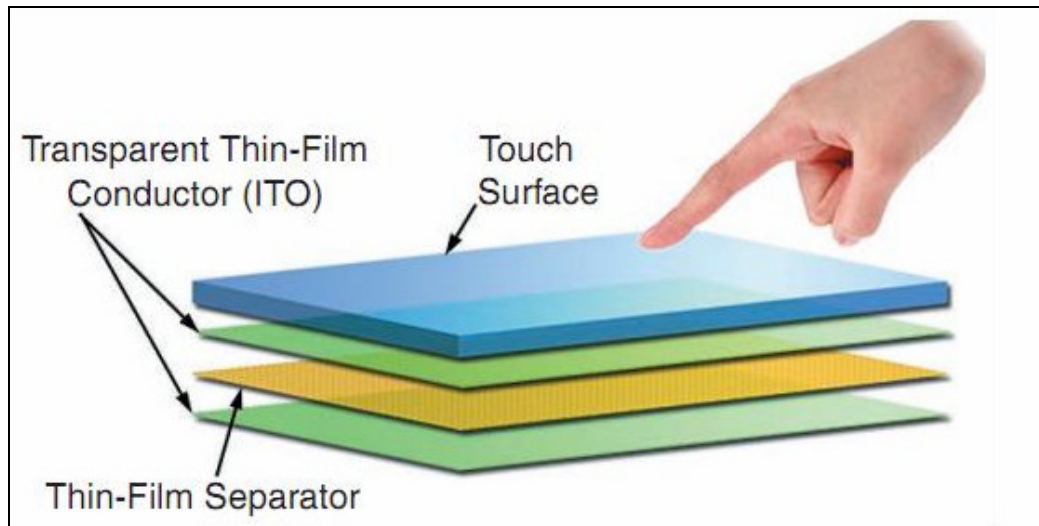
Kaksikerroksisessa self capacitansessa elektrodit on yleensä järjestetty vaaka- ja pystyriveiksi kahteen toisistaan eristettyyn kerrokseen (**Kuva 6.**). Jokainen risteys edustaa tällöin koordinaattiparia. Self-capasitancen ohjaimet eivät kuitenkaan mittaa jokaista risteystä, vaan jokaisen vaaka- ja pystyrivin erikseen yksittäisenä elektrodina. Tämä toimii hyvin kun vain yksi sormi koskettaa näyttöä. Mittaamalla vain yksittäisiä elektrodeja risteysten sijasta, on kaksikerroksisen self-capasitancen haitta. Monikosketus tunnistetaan tästä syystä epämääräisesti ja haamupisteitä voi tällöin tulla (**Kuva 7.**). Kaksikosketus on kuitenkin mahdollista toteuttaa ohjelmallisesti niin kauan kuin kosketuspisteet liikkuvat toisiaan kohden tai poispäin, esim. zoom-liike. /17/



Kuva 6. Kaksikerroksisen self–capasitancen elektrodit muodostuvat vaaka- ja pystyriveistä. Kapasitanssi mitataan yksittäisistä riveistä. /32/

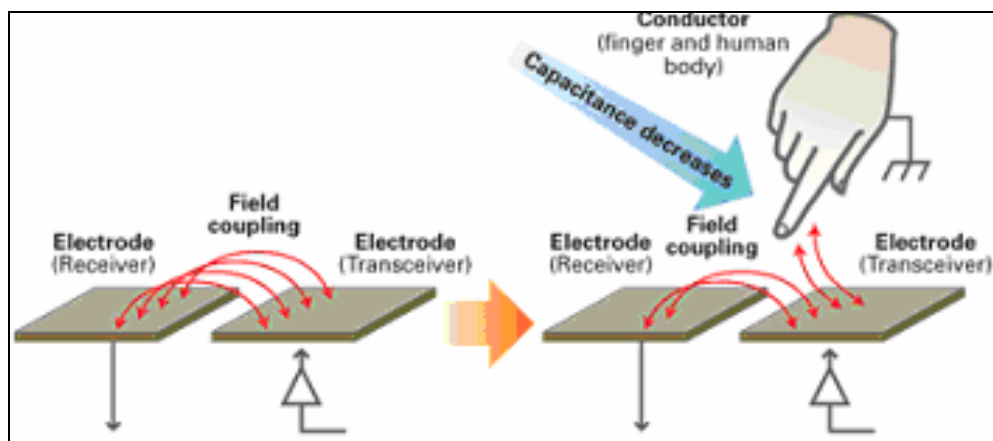


Kuva 7. Haamupisteiden muodostuminen. Jokainen X- ja Y-elektrodilinja mitataan yksilöllisesti. Tässä esimerkkitapaus jossa kaksi diagonaalisesti eroavaa kosketuspistettä tunnistetaan neljänä kosketuspisteenä. /17/

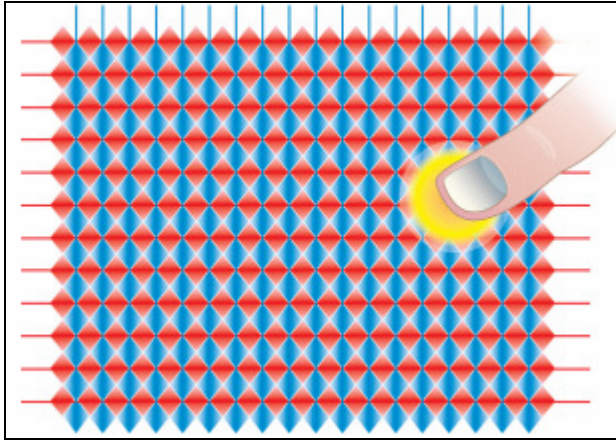


Kuva 8. Yleisin projisoidun kapasitiivisen kosketusnäytön rakenne (kaksikerroksinen self- tai mutual capacitance). Siinä on kaksi läpinäkyvää johtavaa kerrosta (vihreät), jotka on erotettu eristekerroksella (keltainen). Huomaa, että johtavat kerrokset näkyvät kuvassa yhtenäisenä levynä, kun todellisuudessa ne on kuvioitu. Jossain tapauksissa kuvioimaton johtava kerros (ITO), on lisätty pinon alimmaiseksi vähentämään LCD-näytön tuottamaa häiriötä. /17/

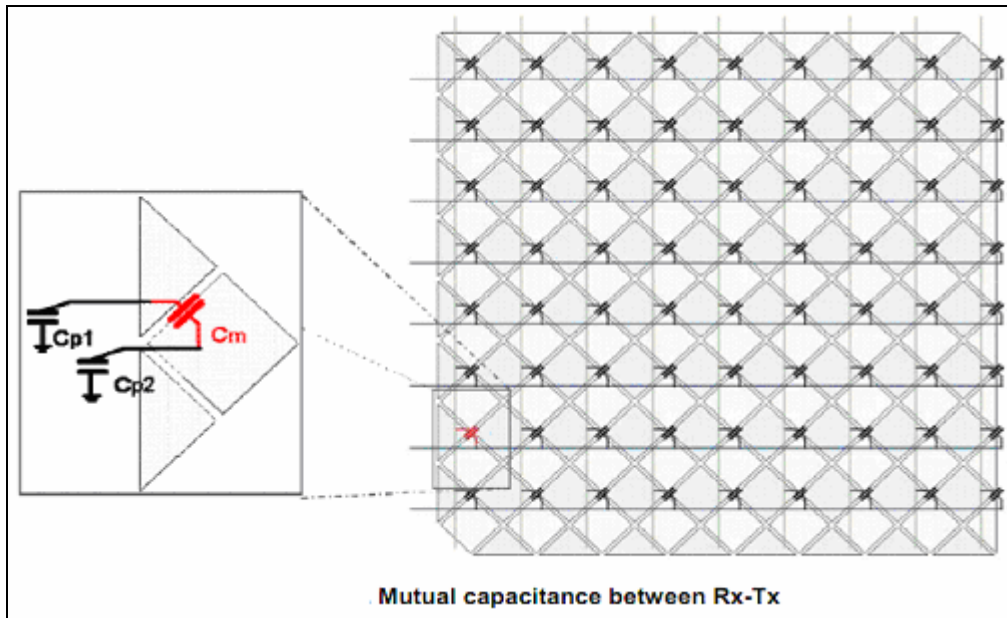
Mutual capacitance on nykyään yleisempi projisoitu tyyppi. Sen rakenne on samanlainen kuin kaksikerroksisessa self-capasitanssissa (**Kuva 8**). Vain kosketuksen tunnistusmittaus eroaa toisistaan. Mutual capacitance tukee faktaa jonka mukaan useimmat johtavat objektit pystyvät pitämään latausta, jos ne ovat todella lähellä toisiaan. Kun jokin johtava objekti, kuten sormi tulee lähelle kahta johtavaa elektrodia, latauskenttä (kapasitanssi) kahden elektrodin välillä muuttuu, koska ihmiskehon kapasitanssi "varastaa" osan latauksesta (**Kuva 9**). Mutual capacitanssissa elektrodit on aina järjestetty kahteen toisistaan erotettuun kerrokseen, usein riveihin ja sarakkeisiin (**Kuva 10**). Koska jokaisen rivin ja sarakkeen risteys tuottaa koordinaatin, ohjain mittaa jokaisen risteuksen yksittäisesti (**Kuva 11**). Tämä tekniikka mahdollistaa todellisen ja rajoittamattoman multitouch-tuen. /17/



Kuva 9. Mutual-capasitanssen toimintaperiaate. /30/



Kuva 10. Mutual capacitancen elektrodit muodostuvat vaaka- ja pystyriveistä. Kapasitanssi mitataan niiden risteyksistä. /32/



Kuva 11. Kun jokaisella risteyksellä on oma keskinäinen kapasitanssi ja se voidaan itsenäisesti jäljittää, tämä metodi tarjoaa merkittävän edun tunnistaa monta kosketuspistettä. C_m on keskinäinen kapasitanssi C_{p1} kapasitanssi pystyrivistä ihmiskehoon, C_{p2} vaakarivistä ihmiskehoon. /9/

Pintakapasitiivinen

Plussat /8/

- Korkea tarkkuus (resoluutio).
- Nopeus.
- Tunnistaa kevyen kosketuksen.
- Kestävä, ei liikkuvia osia.
- Hyvä läpinäkyvyys.
- Kosteus, pöly tai rasva ei haittaa toimintaa.
- Teknologia sopii hyvin suuremmille näytöille.

Miinukset /8/

- Yleensä tunnistaa vain sormen, eikä tunnista hansikkaan läpi. Jotkut pintakapasitiiviset kosketusnäytöt tunnistavat ohuen hansikkaan läpi, mutta silloin ne eivät tunnista ilman hansikkaita.
- Herkkä sähköisille häiriösignaaleille. Tosin viime aikoina on kehitetty menetelmiä joilla sietokykyä on saatu parannettua.
- Ei tue monikosketusta.

Projisoitu kapasitiivinen

Plussat /8/

- Korkea tarkkuus
- Nopeus.
- Tunnistaa kevyen kosketuksen.
- Kestävä, ei liikkuvia osia.
- Erinomainen läpinäkyvyys
- Sensorin herkkyys säädettävissä. Voidaan tehdä kosketusherkäksi hansikkaille tai käyttää paksumpaa kosketuspintaa (lasi) suojana kuin pintakapasitiivisessa.
- Todellinen monikosketus-tuki (mutual capacitance)

Miinukset /8/

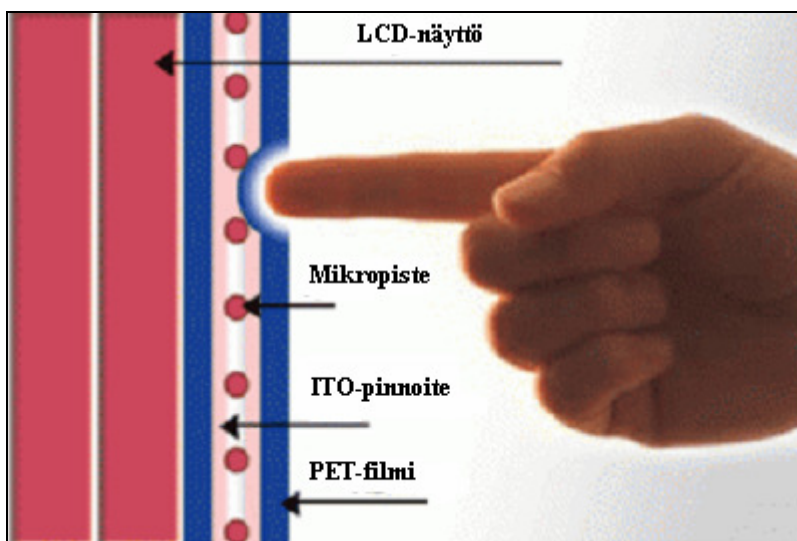
- hinta.
- herkkä sähköisille häiriösignaaleille. Tosin viime aikoina on kehitetty menetelmiä joilla sietokykyä on saatu parannettua.

4.2 Resistiiviset

Resistiivinen kosketusnäyttö koostuu kahdesta levystä, jotka on pinnoitettu sisäpuolelta resistiivisellä materiaalilla, usein indium-tina-oksidilla (**Kuva 12.**). Levyt on erotettu toisistaan ohuella ilmavälillä ja mikropisteillä, jotka estävät kerroksia koskettamasta toisiaan ilman kosketusta. Mikropisteet ohjaavat myös levyjen kontaktin kohtaa kosketusnäyttöön koskettaessa.

Levyjen materiaalina käytetään yleensä PET-filmiä ylälevyssä ja lasia alalevyssä (filmi/lasi-rakenne). Myös lasi/lasi-rakennetta käytetään esim. autojen navigaattoreissa sekä filmi/filmi rakennetta kannettavissa laitteissa esim. puhelimissa keveyden ja iskunkestävyyden saavuttamiseksi

Kun näyttöä kosketetaan, ylemmän levyn kosketuskohta painuu ja koskettaa alemmaa levyä, jolloin sähkövirta alkaa kulkea levyjen välillä kosketuskohdasta. Kosketusnäyttöä ohjaava ohjain tulkitsee tämän ja päättelee kosketuskohdan. /8/

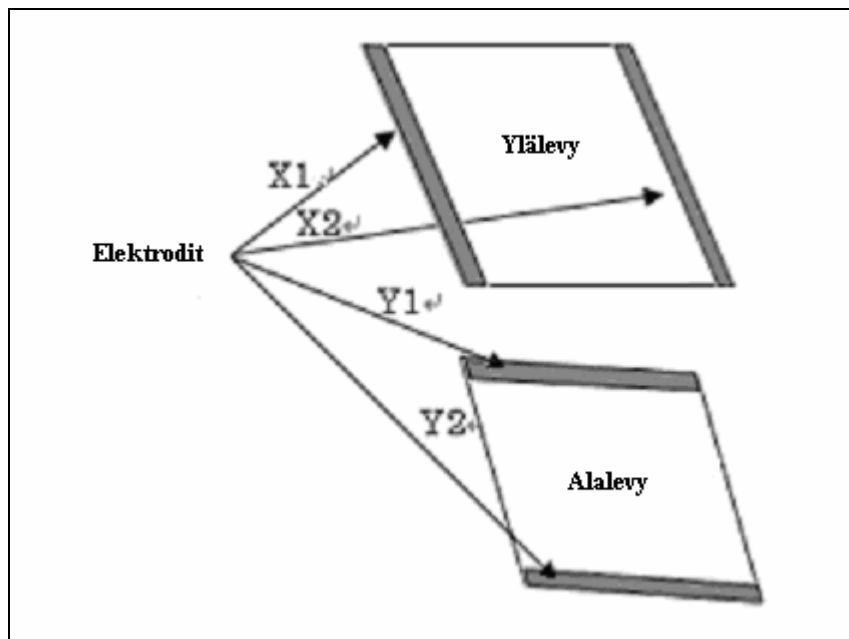


Kuva 12. Resistiivisen kosketusnäytön toimintaperiaate. /19/

Analogiset resistiiviset ovat nykyään yleisempiä kuin digitaaliset resistiiviset. Kunlevyjen resistiiviset kerrokset ovat yhtenäisiä, kosketusnäyttö on analoginen. Analogisia perustunnistusmetodeja ovat 4-wire, 5-wire, 8-wire, joista ensiksi mainitun toimintaperiaate on seuraava (**Kuva 13.**) /8/

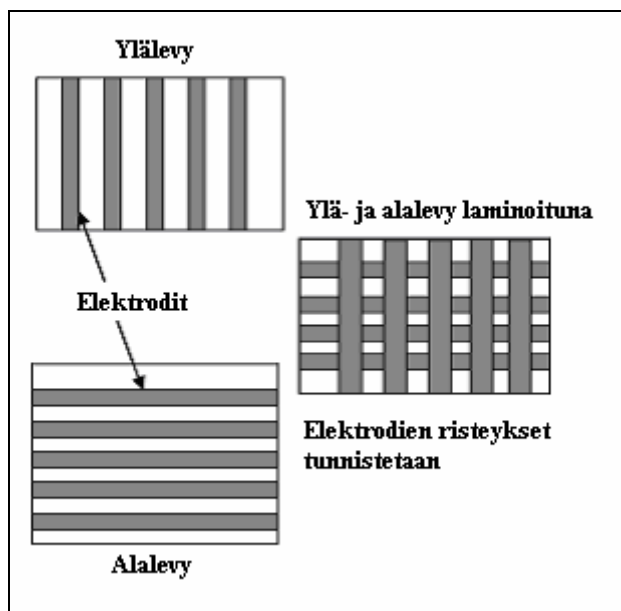
- 1) Ylälevyssä X1 ja X2 välillä vaikuttaa jännite. Siten ylälevyn ITO-pintaan muodostuu potentiaaliero, joka muuttuu rinnakkain tasaisesti X1:n ja X2:n välillä.
- 2) Olettaen että $X1 = 0V$ (maa) ja $X2 = 5V$. Jos keskikohtaa oikean ja vasemman elektrodin välillä kosketaan, 2.5V mitataan alalevyssä. Jos taas pistettä, joka on 1/5-osan päässä X1:stä (4/5-osan päässä X2:sta) kosketaan, 1V mitataan alalevyssä. Tällä tavalla kosketuksen X-koordinaattipiste tunnistetaan.
- 3) Kosketuspisteen X-koordinaatin tunnistamisen jälkeen yhtä suuri jännite vaikuttaa Y1:n ja Y2:n välillä alalevyllä. Kosketuspisteen Y-koordinaatti mitataan Y1:n ja Y2:n välillä ylälevyn toimesta.

Vaiheita 1-3 toistetaan että kosketuksen tunnistus pysyy toiminnassa



Kuva 13. Elektrodit 4-wire tunnituksessa. /8/

Digital Matrix on resistiivisistä kosketusnäytöistä vanhempaa tekniikkaa kuin analogiset. Kun levyjen resistiiviset kerrokset on muotoiltu ruudukoksi, kosketusnäyttö on digitaalinen (**Kuva 14.**). Huonon resoluution johdosta tätä ei pystytä käyttämään tarkoissa sovelluksissa. /8/



Kuva 14. Digital matrixin elektrodit. /8/

Plussat /8/

- Halpa.
- Tunnistaa kosketuksen millä tahansa esineellä.
- Analogisessa on korkea resoluutio eli tarkkuus.
- Kuluttaa vähän sähköä.
- Jotkut uusimmat resistiiviset teknologiat tukevat monikosketusta, kuten MARS-tekniikalla toteutettu kosketusnäyttö, joka koostuu useista pienistä resistiivisistä näytöistä. /33/
- On sanottu, että resistiiviset teknologiat eivät ole kestävyydeltään yhtä hyviä kuin muut teknologiat. Nykyään kulumiselle altista ITO-kerrosta on kuitenkin saatu kestävämmäksi.
- Varmatoiminen, toimii eri ilmankosteuksissa, sietää pölyä ja muita epäpuhtauksia.
- Ei ole niin herkkä naarmuille kuin kapasitiivinen.

Miinukset /8/

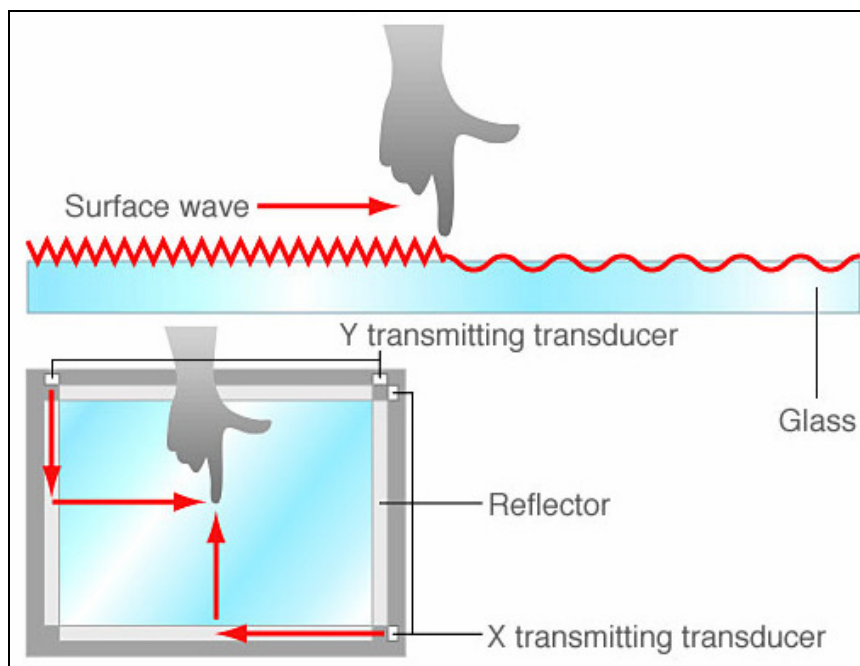
- Yli 28 - tuumaisia vaikea rakentaa, koska suurempaa ITO-pintaa on vaikea valmistaa yhtenäiseksi.
- Ei tue yleensä monikosketusta.
- Vaatii kunnan kosketuksen, ei toimi hipaisulla.
- Tarjoaa heikomman optisen läpinäkyvyyden mikä tarkoittaa, että näytön selkeys on kapasitiivista huonompi.

4.3 Akustiset

Akustisissa menetelmissä kosketuksen tunnistus perustuu ääneen ja sen tunnistamiseen. Monikosketusta tukevia akustisia ei löytynyt kuin SAWssa, joka tukee kahta samanaikaista kosketusta /11/.

4.3.1 Surface Acoustic Wave (SAW)

Surface Acoustic Wave – tekniikka käyttää ultraääniäaltoja (yli 20 kHz), jotka kulkevat kosketusnäytön pinnan yläpuolella. Kosketusnäyttö koostuu lasilevystä, lähetinmuuntimista, vastaanottomuuntimista ja heijastimista. Lähetinmuuntajat lähettävät ultraääniäaltoja, jotka kulkevat kosketuspinnan yläpuolella. Aallot osuvat kosketusnäyttöä reunustaviin heijastimiin, joista aallot kulkevat vastaanottomuuntimiin. Jokaisella aallolla on oma reittinsä ja kulkumatkan pituus vastaanottomuuntajille. Kun pintaa kosketetaan tarpeeksi pehmeällä objektilla, tässä kohdassa ultraääniäalto absorboituu, eikä saavuta vastaanottomuuntajaa **(Kuva 15.)**. Muutos ultraääniäalloissa rekisteröidään kosketuskohdaksi kun ohjain käsittelee vastaanottomuuntajan välittämät tiedot.. Epäpuhtaudet kosketuspinnalla voivat häiritä toimintaa. /8/



Kuva 15. Surface Acoustic Wave – toimintaperiaate. /10/

4.3.2 Dispersive Signal Touch (DST)

3M esitteli Dispersive Signal Touchin 2002. Se käyttää sensoreita tunnistamaan pietsosähköisyyttä lasissa joka tapahtuu kosketuksesta. Tästä tulkitaan kosketuskohdan paikka. Teknologian toimintaan ei vaikuta pöly eikä muut ulkopuoliset tekijät, naarmut mukaan lukien. Näytössä ei ole lisäkerroksia, joten se tarjoaa myös erinomaisen optisen selkeyden. Koska mekaanisia värähtelyitä käytetään tunnistamaan kosketuksia, mikä tahansa objekti voi luoda kosketuksia, mm. kynä tai sormi. Huono puoli on, että kosketus tunnistetaan vain sen tapahtuessa, eikä liikkumatonta objektiä tunnisteta kosketuksena. /15/

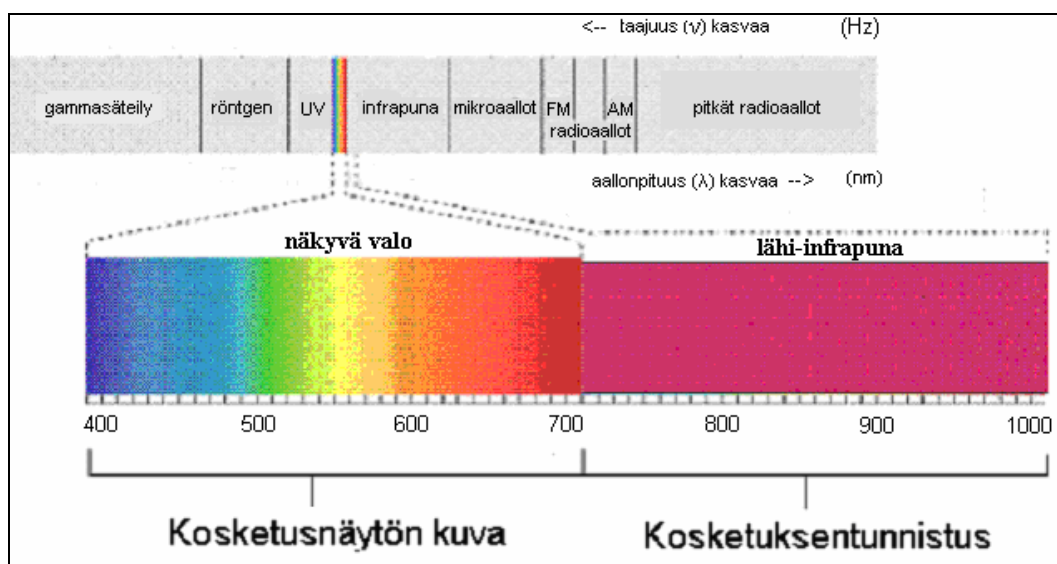
4.3.3 Acoustic Pulse Recognition (APR)

Tycon kansainvälinen Elo divisioona esitteli Acoustic Pulse Recognition – kosketustekniikan 2006. Kosketuspinnan lasissa jokaisessa kosketuskohdassa syntyy uniikki ääni. Neljä pientä muunninta, jotka on kiinnitetty kosketuspintana olevan lasin reunoille, tunnistavat äänen. Tämän jälkeen ohjain digitalisoi äänen ja vertaa sitä esinauhoitettuihin ääniin, jotka on mitattu eri kosketuskohdissa. APR on suunniteltu jättämään huomiotta asiaankuulumattomia ja ympäristön ääniä, koska ne eivät vastaa varastoitua ääniprofiilia. APR eroaa muista kosketusnäytöistä, joissa tunnistetaan kosketus muuntimilla tai mikrofoneilla siten, että se käyttää yksinkertaista tekniikkaa ennemmin kuin kalliita signaaliprosessointilaitteita kosketuskohdan laskuun ilman mitään vertausarvoja. Kosketusnäyttö on tehty tavallisesta lasista antaen sille hyvän kestävyuden ja optisen läpinäkyvyyden. Se toimii usein tarkasti, vaikka kosketuspinnassa olisi naarmuja tai pölyä. Sitä pystytään myös käyttämään suuremmissa näytöissä. Samoin kun DST-tekniikassa, kosketuspiste tunnistetaan siinä vaiheessa kun kosketus tapahtuu, eikä liikkumatonta sormeä tunnisteta. Tästä syystä mikään kosketuspinnalla lojuva objekti ei häiritse kosketuksen tunnistusta. /15/

4.4 Optiset

4.4.1 Yleistä optisista

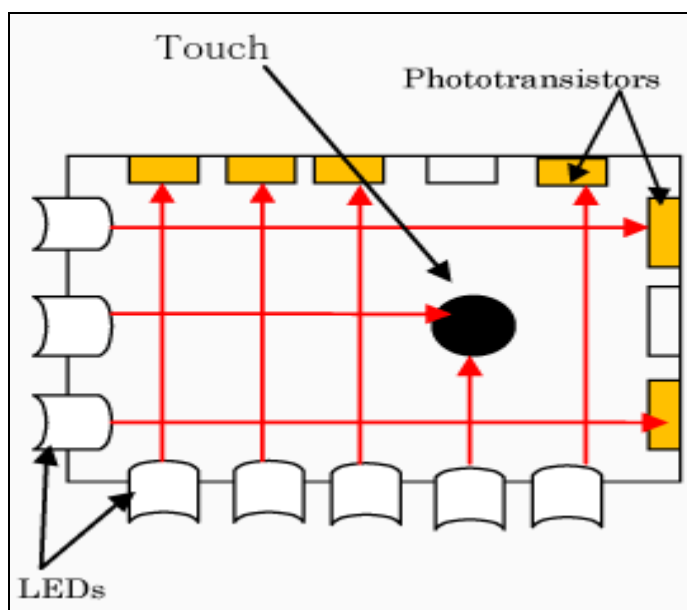
Optisissa menetelmissä kosketuksen tunnistus perustuu valoon tai oikeammin sähkömagneettisen säteilyyn ja sen tunnistamiseen. Optisten kosketusnäyttöjen kosketuksen tunnistus toimii infrapunalla, joka on ihmissilmälle näkymätöntä. Tarkemmin ottaen tunnistus toimii lähi-infrapunalla (700 – 1000 nm), joka on infrapuna-alueen alkupäätä. Koska kosketusnäytön kuva toimii näkyvällä valolla (400 – 700 nm), se ei häiritse kosketuksen tunnistusta (**Kuva 16.**).



Kuva 16. Sähkömagneettisen säteilyn spektri.

4.4.2 Infrared Grid Technology / Digital Waveguide Touch (DWT) / Infrared Optical Waveguide

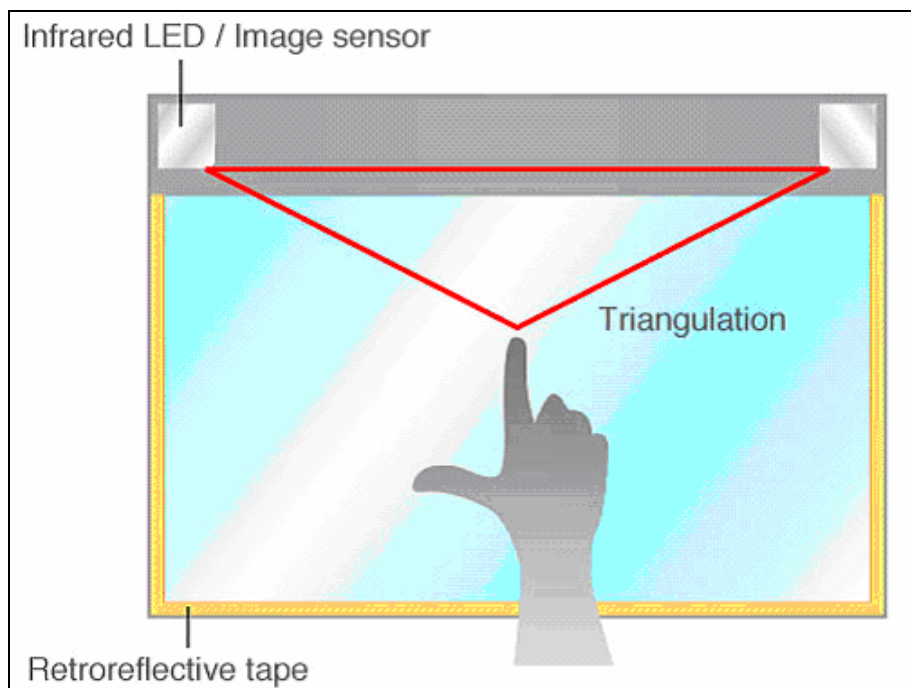
Näissä kaikissa käytetään optomatrix-tekniikkaa, jossa luodaan IR-valoverkko kosketuspinnan yläpuolelle. Infrared Grid Technologyssä näyttöä kiertää IR-LEDejä ja sensoreita, kosketuksen tunnistus tapahtuu kun ledin valo katkeaa sensorilta (**Kuva 17.**). /22/



Kuva 17. Infrared Grid Technology -toimintaperiaate. /8/

4.4.3 Optical imaging

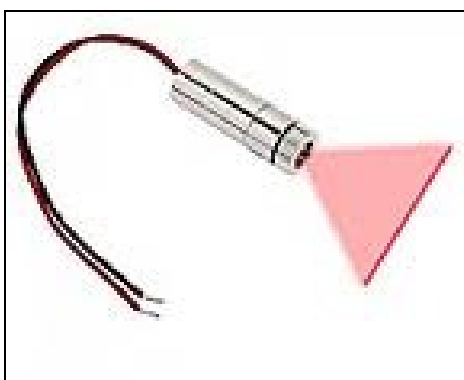
Optical imaging – menetelmässä kaksi IR-lähetintä/vastaanotinta sijaitsee kosketuspinnan reunoilla. Nämä toimivat samalla IR-lähteinä ja kuvasensoreina. IR-valo säteilee lähettimistä tasana kosketuspinnan yli reunoilla sijaitseville heijastaville pinnoille, joista se heijastuu samassa kulmassa takaisin vastaanottimille. Kosketus tunnistetaan kun se estää (osaa) valonsäteitä palaamasta vastaanottimille. Kosketuspisteen sijainnin laskemisessa käytetään kolmiomittausta (triangulation) (Kuva 18.). /8/



Kuva 18. Optical imagingin toimintaperiaate kahdella IR-lähetin/vastaanottimella. /10/

4.4.4 Laser Light Plane (LLP)

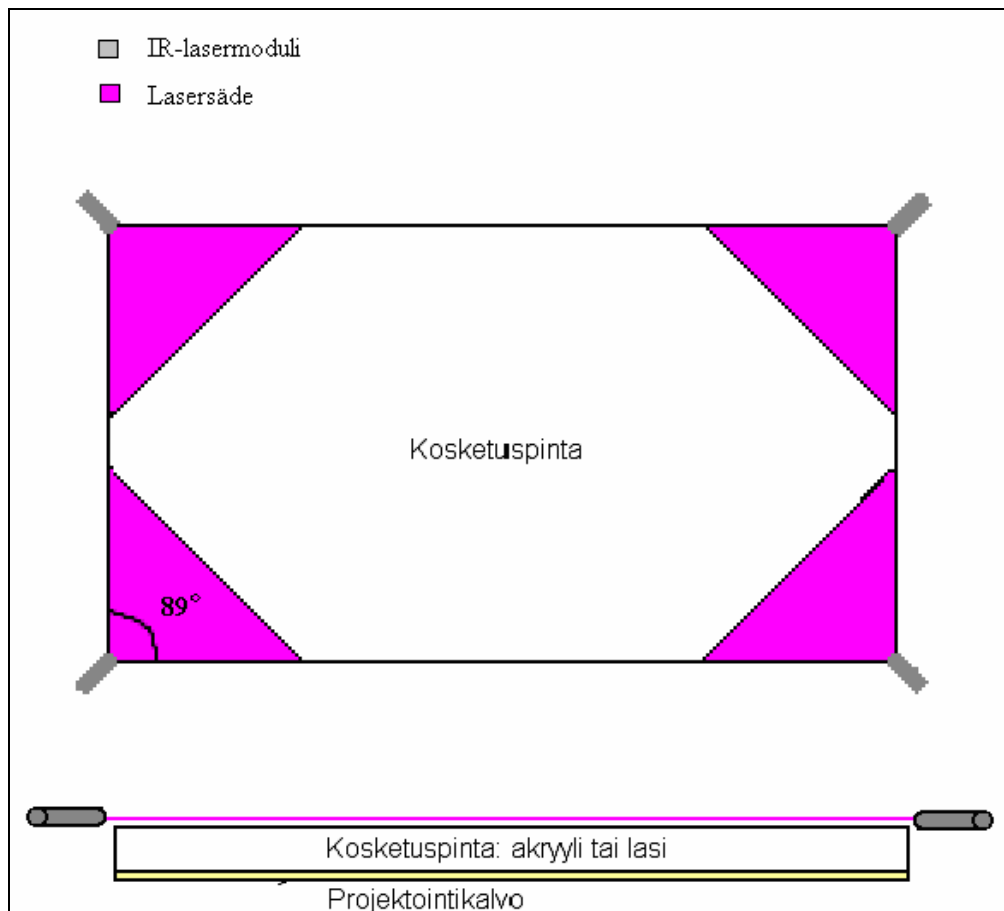
Laser Light Plane - tekniikassa muodostetaan ohut lasertaso aivan kosketuspinnan yläpuolelle (noin millimetri). Lasertaso muodostetaan infrapunalaser-moduuleilla, joihin on kiinnitetty viivan muodostuslinssi (**Kuva 19.**). Linssi hajottaa moduulista tulevan pisteen muotoisen säteen, osuessaan johonkin pintaan se näkyy ohuena viivana. Kosketusnäyttöissä sädettä ei huomaa, koska IR-lasereiden säde on ihmissilmälle näkymätöntä. Mutta linssin tekemä säde on mahdollista nähdä näkyvän valon lasereilla (**Kuva 20.**).



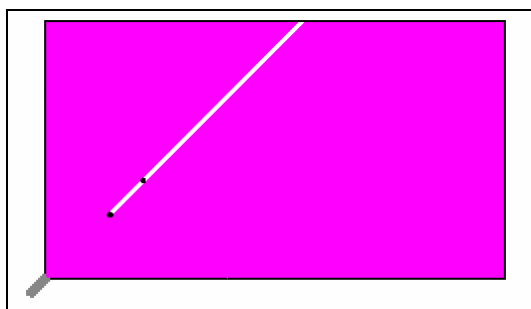
Kuva 19. Lasermoduli, jossa viivanmuodostuslinssi muodostaa säteen. Eriasteisia kulmia heijastavia linsejä on saatavilla.



Kuva 20. Viivanmuodostuslinssillä varustetun näkyvän valon lasermoduulin säde.

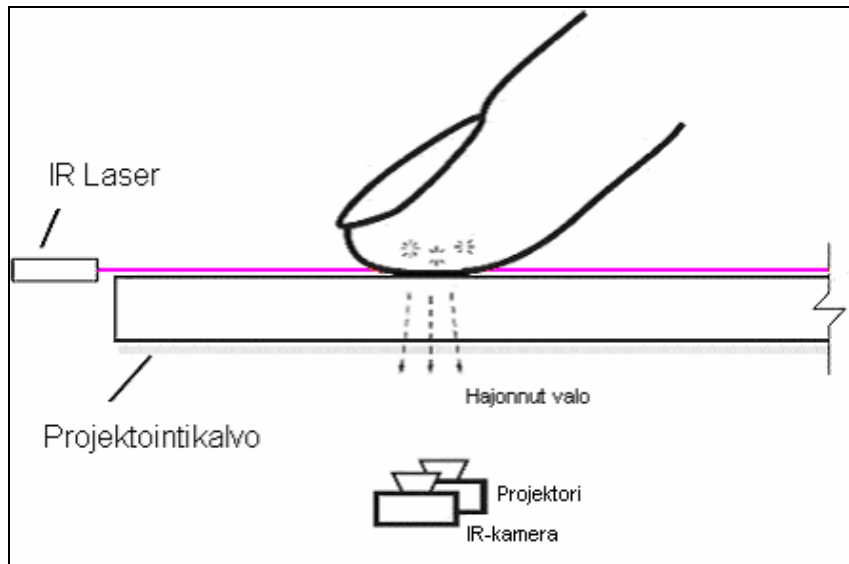


Kuva 21. Lasertason muodostuminen kosketuspinnalle ylhäältäpäin kuvattuna. Laserien säteet jatkuvat peittäen koko pinnan, kuvassa näkyy kuinka viuhka lähtee muodostumaan (89° kulmassa). Alespana kuvassa kosketuspinta sivulta nähtynä. Useimpiin kokoonpanoihin riittää neljä moduulia, yksi joka kulmaan. Suurempiin näyttöihin voi laittaa lisäksi pitkien sivujen keskikohtaan moduulit.



Kuva 22. Jopa yhdellä moduulilla kosketusnäyttö toimii, mutta silloin monikosketuksen pisteitä voi jäädä peittoon ja tunnistamatta.

Kosketuspintaa kosketettaessa sormi osuu samalla lasertasoon ja säde hajoaa alaspäin (**Kuva 23**). Tämä näkyy alhaalta kuvaavalle IR-kameralle valoisana kosketuspisteenä. Kosketuspintana käy lasi tai akryyli, jonka alapinnassa on projektointikalvo kuvan muodostusta varten.



Kuva 23. Lasertaso hajoaa alaspäin kosketettaessa. /27/

Plussat /27/

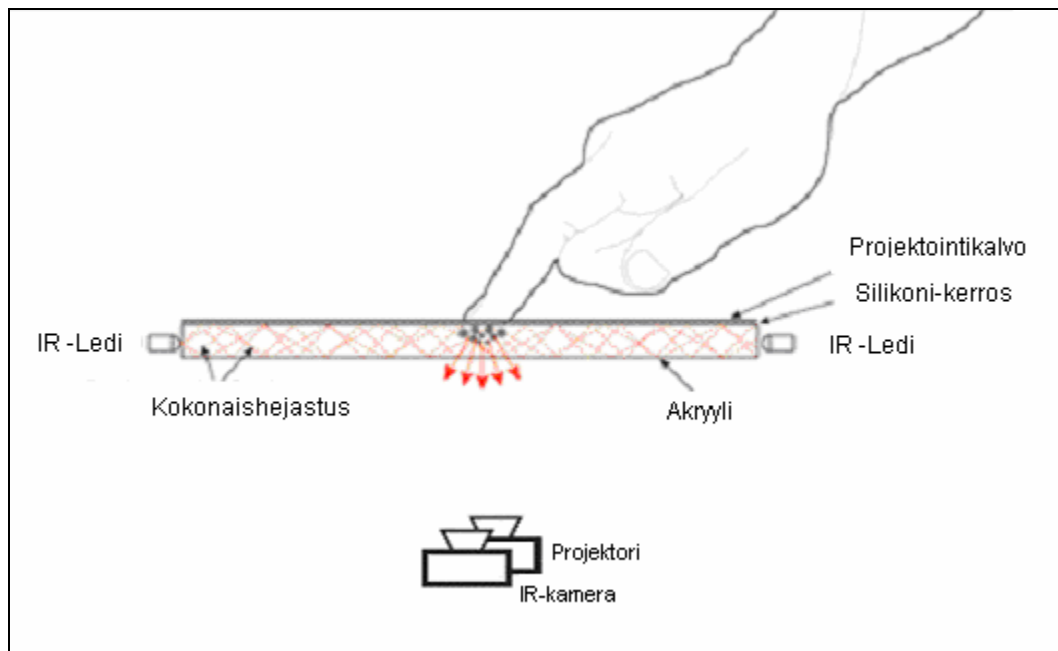
- Ei tarvitse compliant surface-kerrosta (silikoni).
- Kosketuskohdan valossa on vahva kontrasti.
- Kosketuspintana voidaan käyttää mitä tahansa läpinäkyvää materiaalia, kuten lasia tai akryyliä.
- Ei tarvita kosketusnäytön kiertävää led-kehystä.
- Yksinkertainen rakenne.
- Ei vaadi suljettua koteloa.
- Voi olla hieman halvempi kuin muut tekniikat.
- Tukee monikosketusta.

Miinukset /27/

- IR-laserin säde on haitallinen osuessaan silmään.
- Ei pysty jäljittämään esineitä.
- Ei paineen tunnistusta, koska valon intensiteetti ei vaihdu paineesta.
- Monikosketuksessa voi kosketuspisteitä jäädä toisten peittoon, mikäli käytetään vain esim. yhtä tai kahta lasermoduulia.

4.4.5 Frustrated Total Internal Reflection (FTIR)

Frustrated Total Internal Reflection - tekniikassa infrapunavalo johdetaan akryylilevyn sisään sen sivuista. Tämä tehdään akryylilevyä ympäröivillä IR-LED:illä, joiden suositeltu väli on maks. 25 mm. IR-valo jää sisäisen kokonaisheijastuksen (TIR) takia heijastumaan edestakaisin akryylin sisälle. Kun akryylilevyä kosketetaan (F = frustrate) valo hajoaa alaspäin, jonka kamera havaitsee valoisana kosketuspisteenä. Akryylin päälle lisätään usein compliant surface-kerros (silikonia), joka parantaa FTIR-efektiä ja samalla kosketuksen tunnistusta. Päälimmäisenä on projektointikalvo kuvan muodostusta varten (**Kuva 24.**).



Kuva 24. IR-ledien valo jää heijastumaan akryylin sisälle. Kosketuksen tapahtuessa valo hajoaa alaspäin jonka IR-kamera näkee valoisana kosketuspisteenä. /27/

Plussat /27/

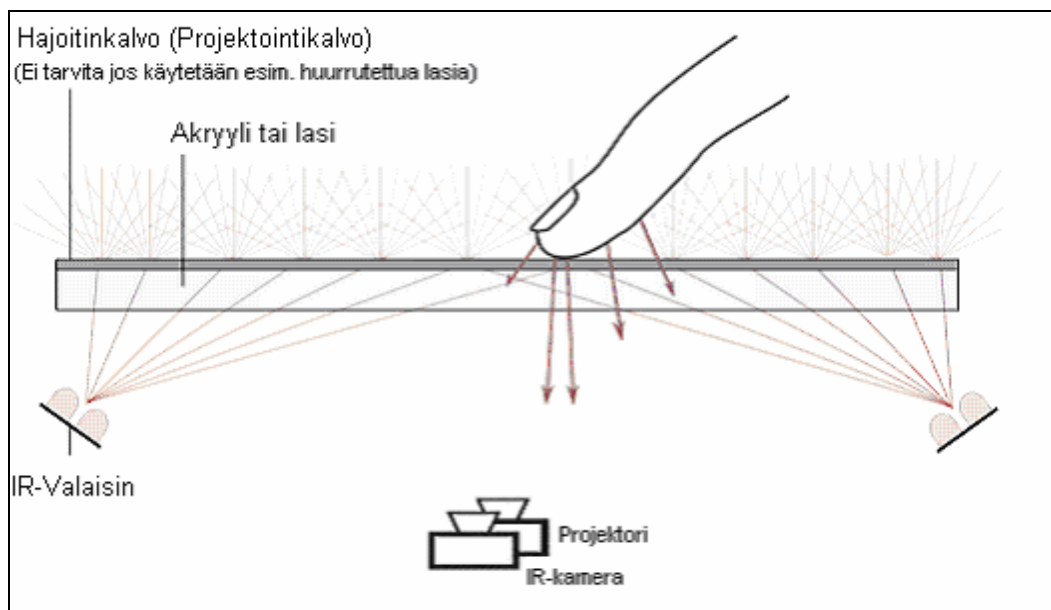
- Ei vaadi suljettua koteloa.
- Kosketuskohdan valossa vahva kontrasti.
- Mahdollistaa kosketuksen paineen tunnistamisen.
- Compliant surfacen kanssa voidaan käyttää niin pienellä esineellä kuin kynän kärjellä.
- Ledien IR-valo ei ole vaarallista silmille.
- Tukee monikosketusta.

Miinukset /27/

- Vaatii kosketusnäytön kiertävän led-kehyksen.
- Ei pysty tunnistamaan esineitä.
- Ei voida käyttää lasia kosketuspintana.
- Vaatii kunnollisen kosketuksen.

4.4.6 Rear Diffused Illumination (Rear DI)

Rear Diffused Illumination -tekniikassa kosketuspinta valaistaan alhaaltapäin, suljettuun koteloon asennetuilla IR-valaisimilla. Kosketuspinnan päällä tai alla on hajoitinkalvo (diffuser), joka helpottaa kosketuksen tunnistamista. Hajoitinkalvona voidaan käyttää erilaisia projektointikalvoja. Kun kosketuspintaa kosketetaan, alla oleva kamera havaitsee tästä kohdasta heijastuvan enemmän valoa kuin hajottimesta tai taustalla olevista esineistä (**Kuva 25.**). Hajottimesta riippuen, tätä tekniikkaa voidaan käyttää myös esineiden tunnistamisessa.



Kuva 25. Kosketettaessa alhaalta tuleva valo heijastuu takaisin voimakkaimmin kosketuskohdasta, jonka IR-kamera tunnistaa. /31/

Plussat /27/

- Ei tarvita compliant surface-kerrosta.
- Kosketuspintana voidaan käyttää mitä tahansa läpinäkyvää materiaalia, kuten lasia tai akryyliä.
- Ei tarvita kosketusnäytön kiertävää led-kehystä.
- Yksinkertainen rakenne.
- Voidaan tunnistaa esineitä.
- Valaisimien IR-valo ei ole vaarallista silmille.
- Tukee monikosketusta.

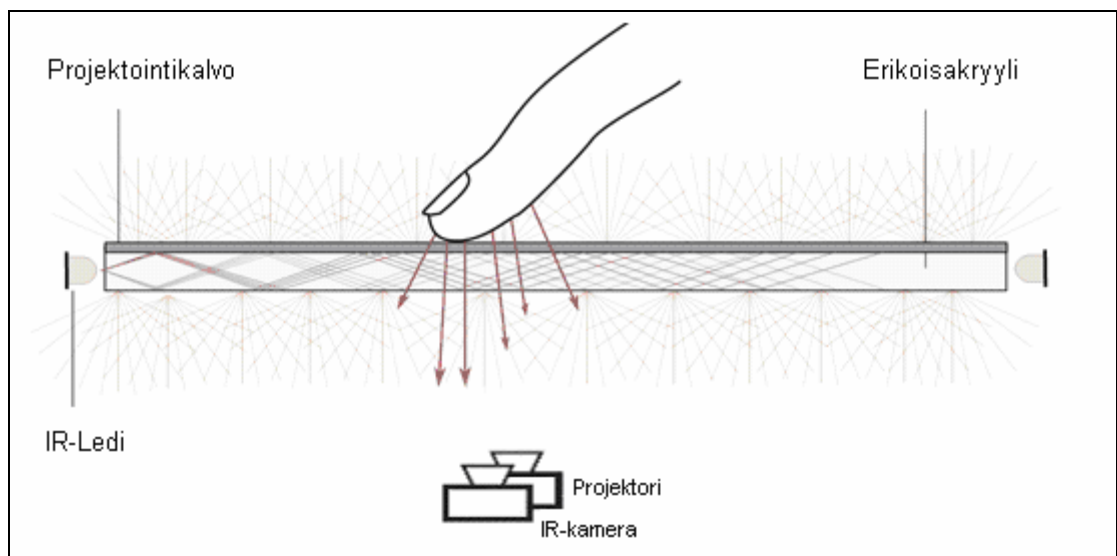
Miinukset /27/

- Vaikea saada tasaista valaistusta kosketuspinnalle.
- Kosketuskohdan valolla alhaisempi kontrasti.
- Suurempi mahdollisuus tunnistaa ”haamukosketuksia”, jotka eivät tule käyttäjältä.
- Vaatii suljetun kotelon.

On olemassa myös Front DI – tekniikka, jossa infrapunalähteet valaisevat kosketuspintaa pöydän yläpuolelta. Tässä kosketuspisteet tunnistetaan varjoina. Tämä tekniikka ei ole niin luotettava, koska ympäristön valaistusolosuhteet vaikuttavat suuresti. Tämän takia se on vähemmän käytetty.

4.4.7 Diffused Surface Illumination (DSI)

Diffused Surface Illumination -tekniikassa on ominaisuuksia FTIR- ja Rear DI-tekniikoista. Siinä on samanlainen IR-ledkehys, joka kiertää kosketuspintaa kuten FTIR:ssä. Tavallisen akryylin sijaan DSI:ssä käytetään erikoisakryyliä, jossa on tuhansia pienen peilin tapaisia hiukkasia. Erikoisakryyliin sivusta suunnattu IR-ledien valo uudelleenohjautuu ja hajoaa tasaisesti sen pintaan (**Kuva 26.**). Tämä on sama ilmiö kuin Rear DI:ssä, mutta tasaisemmalla valaistuksella. Kontrasti on Rear DI:n tapaan huonompi.



Kuva 26. Kosketettaessa akryylissä, hajonnut valo heijastuu alaspäin voimakkaimmin kosketuskohdasta, jonka IR-kamera tunnistaa. /31/

Plussat /27/

- Ei tarvitse compliant surface- kerrosta (silikonia).
- Voidaan helposti muuttaa DSI- ja FTIR-tekniikan välillä.
- Voidaan jäljittää esineitä.
- Tunnistaa paineen.
- Tasainen kosketuskohdan valo kaikkialla kosketusalueella.
- Ledien IR-valo ei ole vaarallista silmille.
- Ei vaadi suljettua koteloa.
- Tukee monikosketusta.

Miinukset /27/

- Erikoisakryyli (Endlighten acrylic) on kalliimpi kuin tavallinen akryyli.
- Kosketuskohdan valolla matalampi kontrasti kuin FTIR- ja LLP-tekniikoissa (Jäljitysohjelman on vaikeampi jäljittää kosketus).

5 HARRASTELIJOIDEN RAKENTAMAT KOSKETUSNÄYTÖT

5.1 Yleistä harrastelijoiden käyttämistä kamerapohjaisista tekniikoista

Menetelmät joihin perehdyttiin tarkemmin ovat kamerapohjaisia optisia menetelmiä: LLP, FTIR, Rear DI ja DSI (**Kpl 4**). Näillä harrastelijat olivat rakentaneet kosketusnäyttöjä, joten ne valittiin vaihtoehdoiksi toteuttaa multitouch-pöytä tässä työssä. Peruseriaate on niissä sama, ja ne kaikki koostuvat seuraavista kokonaisuuksista:

- Kosketuspintana käytetään läpinäkyvää materiaalia, yleensä lasi- tai akryylilevyä.
- IR-lähde (Toteutus riippuu käytettävästä tekniikasta).
- Web-kamera, joka on muokattu IR-kameraksi.
- Tietokone, jossa kosketuspisteiden jäljitysohjelma (Tracking software) ja käytettävä sovellus.
- Kosketusnäytön kuva muodostetaan joko projektorilla heijastamalla (kosketuspinnassa projektointikalvo johon kuva heijastuu) tai LCD-näytöllä.

Kosketuspinta valaistetaan menetelmissä IR-lähteellä, joina käytetään tekniikasta riippuen ledejä, valaisimia (illuminators) tai lasermoduuleita.

IR-kamera kuvaa kosketuspintaa alapuolelta. Kosketuspintaa kosketettaessa IR-valo hajooa kosketuskohdasta jonka kamera tunnistaa

IR-kamera on liitetty tietokoneeseen, jossa kameran videokuva välittyy kosketuspisteiden jäljitysohjelmalle. Tämä ohjelma jäljittää videokuvasta infrapunalla valaistut kosketuspisteet tunnistuen erilaiset liikkeet. Kosketustiedot välitetään tämän jälkeen käyttösovellukselle, sen tarvitsemalla protokollalla.

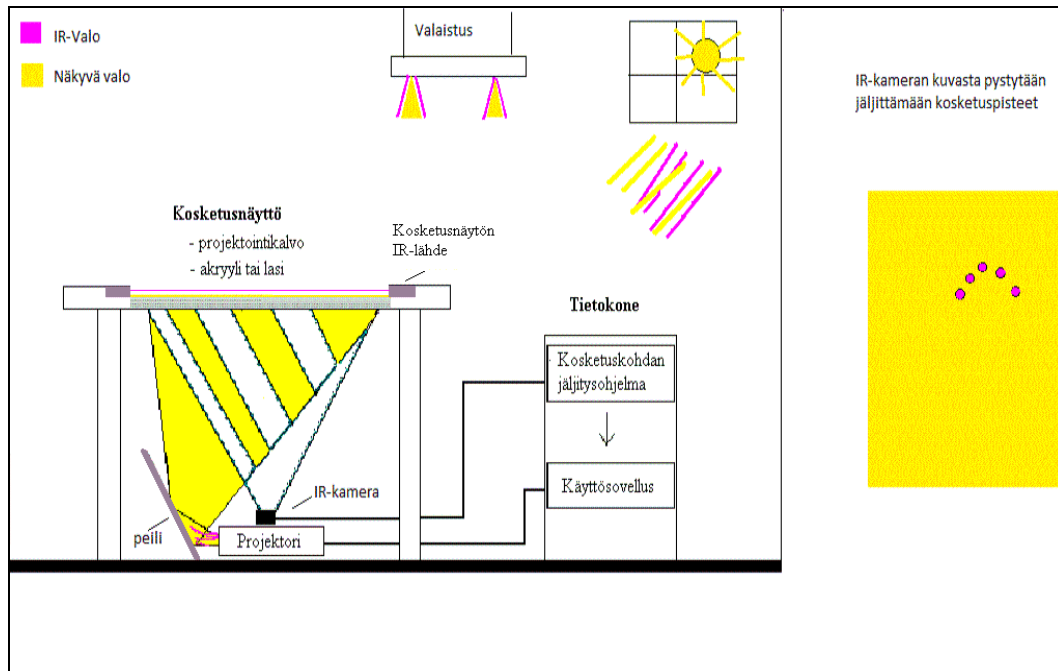
Tietokoneen kuva käyttösovelluksineen heijastetaan projektorilla alapuolelta kosketuspinnalle johon on lisätty projektointikalvo. Tavallinen projektori ei pysty muodostamaan tarpeeksi suurta kuvaa suoraan lyhyellä etäisyydellä kosketuspinnasta. Tämän takia projektointi joudutaan usein suuremman kuvan aikaansaamiseksi taittamaan peilin kautta. Kalliimmat lähiheijastusprojektorit pystyvät sen sijaan tekemään isomman kuvan lyhyemmältä etäisyydeltä, jolloin

peiliä ei välttämättä tarvita. Kuvan pystyy myös muodostamaan LCD-näytöstä irroitettulla matriisilla, jolloin projektori ei tarvita.

Lyhyt yhteenveto kosketusnäytön toimintaperiaatteesta. Toimintojen välissä ei ole käytännössä viivettä.

1. IR-lähde valaisee kosketuspinnan.
2. IR-kamera kuvaa alapuolelta kosketuspintaa.
3. Kosketuspisteiden jäljitysohjelma käsittelee kameran videokuvaa ja jäljittää siitä kosketuspisteet.
4. Jäljitetyt kosketustiedot välitetään käyttösovellukselle sen vaatimalla protokollalla.
5. Käytettävä sovellus reagoi kosketustietoihin ja kuva näytetään päivittyneenä kosketusnäytössä.

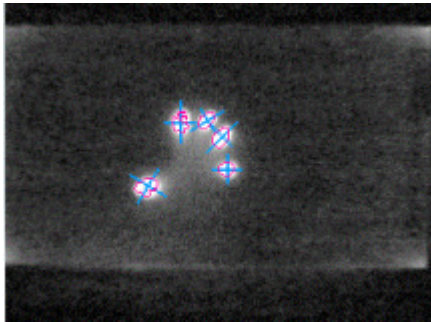
Kosketuksen tunnistus toimii lähi-infrapunalla. Kosketusnäytön kuva taas toimii näkyvän valon alueella, joten ne eivät häiritse toisiaan (**Kpl 4.4.1**). Käytännössä ympäristön valo (valaistus, päivänvalo, projektori) tuottavat näkyvän valon lisäksi vaihtelevin määrin kosketuksen tunnistuksen aallonpituudella olevaa infrapunavaloa. Tämä ympäristön tuottama infrapuna voi häiritä kosketuksen tunnistusta. Tällöin kameran videokuvasta ei pystytä erottamaan IR-lähteen valaisemia kosketuspisteitä ympäristön tuottamasta infrapunasta. Ongelmaa pyritään vähentämään IR-lähteen aallonpituuden ja kameran suodattimen oikealla valinnalla.



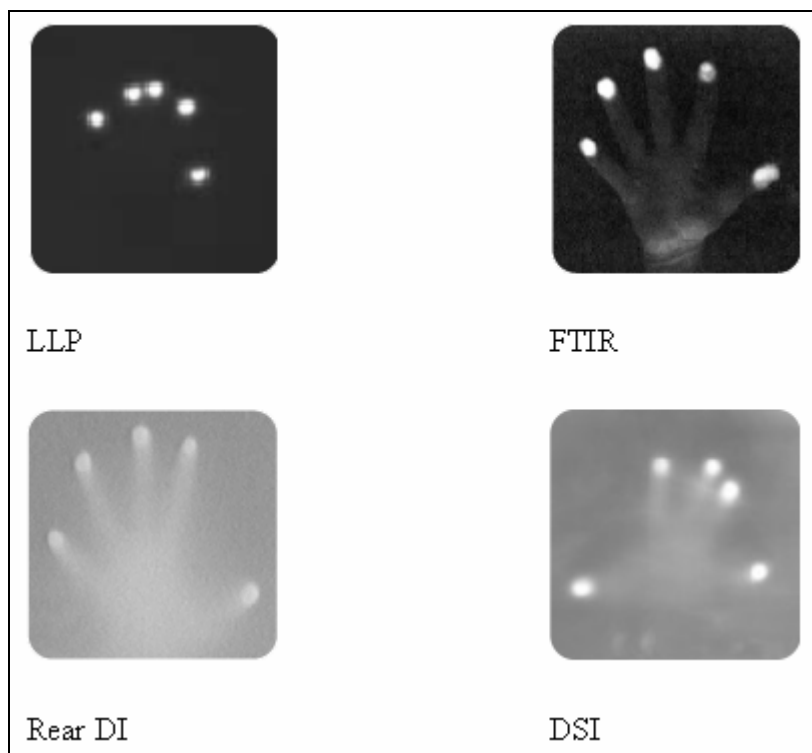
Kuva 27. Kamerapohjaisen kosketusnäytön toimintaperiaate toteutettuna LLP-tekniikalla. Kuvassa myös esimerkkejä toimintaa häiritsevistä IR-lähteistä.

Oikealla on kosketusnäytön kameran kuvaa, jossa sillä hetkellä näyttöä kosketetaan viidellä sormella. Siinä kuva on ideaali, eikä sen hetkinen ympäristön IR-valo häiritse ollenkaan. Tästä kosketuskohdan jäljitysohjelman on helppo jäljittää kosketuspisteet (**Kuva 27.**). Todellisessa IR-kameran videokuvassa IR-valaistut kosketuspisteet ja mahdollinen häiritsevä IR-valo näkyvät kameran kuvassa valkoisena. Kuvan tausta on enemmän harmaata ja mustaa riippuen ympäristön IR-valaistuksesta.

Esimerkkejä IR-kameran kuvaamista kosketuspisteistä eri tekniikoilla.



Kuva 28. LLP (Tämän työn protopöytä, ohjelma lisännyt kosketuspisteisiin ääriiviivat).



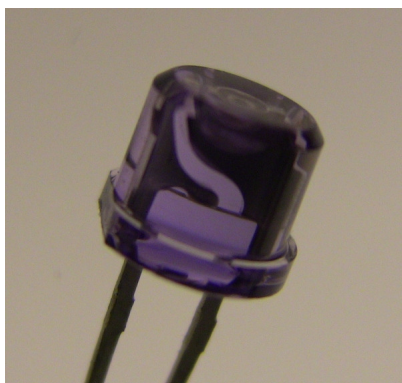
Kuva 29. Kosketuspisteiden kirkkaus ja kontrasti vaihtelevat eri tekniikoilla. /31/

5.2 IR-lähteet

Optisissa kosketusnäytöissä on IR-lähde, joka on toteutettu tekniikasta riippuen joko IR-LED:illä, IR-valaisimilla tai IR-lasereilla. IR-lähteitä on saatavana eri taajuuksilla, sen mukaan mitä infrapunaa aallonpituutta ne tuottavat. Lähteen antaman aallonpituuden ja tehon valinnassa vaikuttaa mm. se kuinka hyvin ympäristön tuottaman infrapunaa (valaistus) häiritsevyys halutaan eliminoida. Teho pitää riittää myös kosketusnäytön kokoon. Seuraavassa tietoja eri IR-lähteistä, joita saa mm. peuaproductions.com verkkokaupasta /28/.

5.2.1 IR-ledit

Irtonaiset ledit on halpa tapa tehdä LED-kehys kun rakentaa FTIR- tai DSI-kokoonpanon. Ne vaativat kuitenkin kehyksen rakentamista, juottamista ja hieman elektroniikan tuntemusta Tässä tietoja ledistä joita käytettiin tämän työn FTIR – kokeilussa. Se on yleisimmin käytetty led-tyyppi kosketusnäytön rakentamisessa. (Kuva 30.).

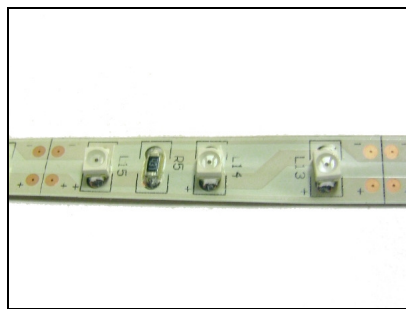


Kuva 30. OSRAM SFH485P. /28/

Halkaisija:	5 mm
Aallonpituus:	880 nm
Säteilykulma:	$\pm 40^\circ$
Säteilyn intensiteetti:	3,15 mw/sr
Maksimi virta:	100 mA
Maksimi tehohäviö:	20 mW
Käyttöjännite:	1,5 V DC

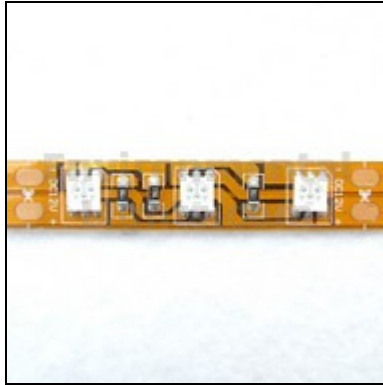
5.2.2 IR-led-nauhat

Led-nauha on vaivattomampi tapa tehdä led-kehys FTIR:lle tai DSI:lle kuin yksittäisillä ledeillä. Niissä on valmiiksi juotetut pintaliitosledit nauhassa. Nauhaa vain liimataan kehykseen ja asetetaan sen jälkeen akryylin sivuille. Nauha liitetään lopuksi sähköadapteriin ja se on käyttövalmis. Nauhaa voi myös leikata ja jatkaa liittimillä. Led-nauhaa on saatavana esim. seuraavia lajeja 5 metrin keloissa (**Kuva 31. & Kuva 32.**).



Kuva 31. IR-led-nauha 8 mm 850 nm. /28/

Teho	32 W
Aallonpituus	850 nm
Ledien määrä	78 / metri
Säteilykulma	120°
Ledien väli	13 mm
Pituus x leveys x paksuus	5000 x 8 x 2 mm
Keskimääräinen käyttöikä	50 000 tuntia
Käyttöjännite	12 V DC



Kuva 32. IR-led-nauha 10 mm 850 nm. /28/

Teho	80 W
Aallonpituus	850 nm
Ledien määrä	60 / metri
Säteilykulma	120°
Ledien väli	17 mm
Pituus x leveys x paksuus	5000 x 10 x 2 mm
Keskimääräinen käyttöikä	50 000 tuntia
Käyttöjännite	12 V DC

5.2.3 IR-valaisimet

Kun tehdään Rear DI – kokoonpano tarvitaan IR-valaisimia. Niillä toteutus on paljon helpompi kuin juottamalla lukuisia irtoluedejä yhteen. Useimpiin kokoonpanoihin riittää kahden tai neljän valaisinyksikön kitti, riippuen kosketuspöydän koosta ja tarvittavasta kirkkaudesta (**Kuva 33.**).



Kuva 33. IR-valaisin-yksikkö 850 nm. /28/

Teho	3 W
Kirkkaus	600 mW
Aallonpituus	850 nm
Ledien (emitterien) määrä	12
Säteilykulma	110°
Ledien väli	25 mm
Pituus x leveys x korkeus	300 x 20 x 12 mm
Keskimääräinen käyttöikä	40 000 tuntia
Käyttöjännite	12 V DC

5.2.4 IR-lasermoduulit

IR-lasermoduuleilla voi tehdä kosketusnäytön, joka käyttää LLP-tekniikkaa. Moduuleitten antama teho (mW) on verrannollinen säteen kirkkauteen, joten mitä tehokkaammat moduulit, sitä kirkkaampi lasertaso. Yleisiä käytettyjä aallonpituuksia ovat 780 nm ja 850 nm. Lasertason muodostusta varten moduuleihin tarvitaan viivanmuodostuslinssi, joita on saatavana eri kulmissa. Yleisiä ovat 120° ja 89°.

Turvallisuus on tärkeää, kun käytetään minkä tahansa tehoisia IR-lasereita. Niiden käytössä tulee olla varovainen sillä säde ei saa osua silmään, sen takia täytyy olla tietoinen mihin lasersäde kulkee. Suojalaseja on saatavilla IR-lasermoduuleita myyvistä liikkeistä.



Kuva 34. IR-lasermodulin linssit irroitettuna. Alempana on pisteen muodostava linssi ja ylempänä viivanmuodostuslinssi sekä säätörengas. /25/

Seuraavaksi tietoja tässä työssä testatuista lasermoduuleista /28/. Moduulit ovat ulkoisesti samannäköisiä (**Kuva 34.**).

IR-lasermoduuli 25 mW 780 nm

Aallonpituus:	780 nm
Teho/Intensiteetti:	25 mW
Käyttöjännite:	3.2 V DC
Maksimi virta:	3 mA
Mitat:	ø 12 x 30 mm lasermoduuli

IR-lasermoduuli 10 mW 850 nm

Aallonpituus:	850 nm
Teho/Intensiteetti:	6,5 – 7,5 mW
Käyttöjännite:	3.2 V DC
Maksimi virta:	30 mA
Mitat:	ø12 x 30 mm lasermoduuli

5.3 Kamerat

Tavalliset web-kamerat toimivat hyvin multiotouch-kokoonpanoissa, mutta ne täytyy ensin muokata IR-kameraksi. Tavalliset web-kamerat ja videokamerat suodattavat infrapunavalon ja päästävät näkyvän valon läpi. Kosketusnäyttöjä varten tämä täytyy olla päinvastoin. Siihen täytyy valita web-kameramalli, josta pystyy poistamaan IR-suodattimen tai johon saa linssin ilman IR-suodatinta.

Kosketusnäytön toimintakyky riippuu siinä olevista komponenteista. Sen takia on tärkeää valita komponentit huolella. Web-kameran valinnassa tulee ottaa seuraavat ominaisuudet huomioon:

1. Resoluutio (Resolution)

Mitä korkeampi resoluutio, sitä enemmän on pikseleitä kameran kuvassa, kosketuksen tai esineen tunnistamiseen. Resoluutio vaikuttaa kameran ja tässä tapauksessa kosketuksen tunnistuksen tarkkuuteen. Pienemmissä näytöissä matalamman resoluution web-kamera, 320 x 240 pikseliä, voi riittää. Suuremmat näytöt tarvitsevat kameran jonka resoluutio on 640 x 480 pikseliä tai enemmän tarkkuuden säilyttämiseksi.

2. Kuvataajuus (Frame rate)

Kuvataajuus tarkoittaa sitä kuinka monta kuvaa kamera pystyy ottamaan sekunnissa. Mitä useammasta kuvasta videokuva muodostuu, sitä enemmän on käytettävissä dataa siitä mitä tapahtui tietyssä ajassa. Kamera, jossa kuvataajuus on vähintään 30 fps (frame per second) on suositeltava, nopeiden liikkeiden tunnistamiseksi ja kosketusnäytön vasteajan parantamiseksi. Korkeammat kuvataajuudet tarjoavat sulavamman ja pienemmän vasteajan kosketusnäytön toimintaan.

3. Liitäntä

Yleisesti web-kameran liittämiseksi tietokoneeseen käytetään kahta eri liitäntätyyppiä. Halvemmissa kameroissa käytetään USB-liitäntää ja kalliimmissa FireWire-liitäntää. Jälkimmäinen on suositeltava, koska siinä on matalampi viive kuvan siirrossa kamerasta tietokoneelle. Matalampi viive parantaa myös kosketusnäytön vasteaikaa ja kuvataajuutta.

4. Linssityyppi

Normaalin kameran kuvassa infrapunaa ei haluta nähdä. Siksi useimmat web-kamerat sisältävät IR-suodattimen, muuten kuva voi olla ylivalottunut. Koska kosketusnäytön kameran täytyy nähdä infrapunaa, suodatin pitää poistaa. Tämä suodatin sijaitsee eräissä kameramalleissa linssin takana, josta sen saa helposti irti. Joistain malleista sitä on mahdotonta poistaa rikkomatta linssiä, mutta osaan tällaisista malleista saa ostettua vaihtolinssin, missä ei ole IR-suodatinta.

Linssin valinta kameraan voi olla vaikea tehtävä. Onneksi monet valmistajat tarjoavat linssilaskurin jolla tarvittavan linssin voi määritellä. Laskuri laskee tarvittavan linssin polttovälin, perustuen kahteen annettavaan parametriin: 1. etäisyys linssin ja kosketuspinnan välillä, 2. kosketuspinnan leveys tai korkeus. Mitä pienempi polttoväli (mm) linssissä on, sitä laajempi näkökenttä. Matalan polttovälin linsejä haittaavat kuvan vääristymät (tynnyrivääristymä / kalansilmä), mikä voi vaikeuttaa kosketuspisteiden jäljitysohjelmassa suoritettavaa kalibrointia. Kalleimmissa linseissä nämä vääristymät on korjattu optisesti.

5. Sensori ja optiset suodattimet

Että web-kameraa pystyy käyttämään kosketusnäytöissä, täytyy kameran sensorin pystyä tunnistamaan infrapunaa. Kameran ohjekirjassa mainitaan yleensä sensorin nimi, jonka perusteella internetistä voi hakea sensorin datalehtistä. Siellä on kuvaaja josta näkee mitä aallonpituuksia sensori tunnistaa.

Kun IR-suodatin on poistettu ja sensori pystyy tunnistamaan infrapunaa, IR-valo näkyy kameran kuvassa. Jotta kamera olisi IR-kamera, täytyy sensoria vielä estää näkemästä näkyvää valoa (aallonpituudet 400 - 700nm). Tämä suodatetaan pois lisäämällä sensorin ja linssin väliin näkyvän valon suodatin (esim. valotettua filmiä). Kosketusnäytöissä parhaaseen tulokseen päästään käyttämällä kaistanpäästö (bandpass) -suodatinta, joka päästää vain määrättyä infrapunaa aallonpituutta läpi. Kaistanpäästösuoatinta valitaan sen mukaan, mitä aallonpituutta kosketusnäytön IR-lähde säteilee. /28/

5.3.1 Logitech C160



Kuva 35. Logitech C160 web-kamera. /20/

Tätä kameraa käytettiin tekniikoiden kokeilussa kappaleissa 7.4 ja 7.5. Se muokattiin IR-kameraksi poistamalla IR-suodatin ja lisäämällä valotettua filmiä joka toimi näkyvän valon suodattimena.

Tekniset tiedot. /20/

Sensori	CMOS
Optinen resoluutio	640 x 480
Videokuvaus (4:3 SD)	320 x 180, 360 P
Videokuvaus (16:9 W)	320 x 180, 360 P
Kuvaustaajuus	15 fps 640 x 480
Liitäntä	USB
Polttoväli	40 cm
Näkökenttä	50°
Kohdistus	Manuaalinen

5.3.2 PS Eye



Kuva 36. PS Eye – kamera muokkaamattomana. /16/

PS Eey on Playstation 3 – pelikonsoliin tarkoitettu web-kamera (**Kuva 36.**). Harrastajat ovat tehneet ajurin Windowsille (CL Eye Platform driver), joten se toimii myös tietokoneessa. Kamera on suosittu kosketusnäytön rakentamisessa, koska siinä on hyvät ominaisuudet ja se on helppo muokata IR-kameraksi. Siihen on saatavissa peaproductions.comista erilaisia muokkausosia, kuten linsejä, linssien alustoja ja suodattimia. Tässä työssä rakennetun protopöydän (**Kpl 7.6**) kamera koostui seuraavista osista (**Kuva 37.**).

- PS Eye-kamera, josta on poistettu alkuperäinen linssi alustoineen ja IR-suodattimineen
- m12-alusta.
- m12 kaistanpäästösuodatin (hankimme 780nm ja 850nm suodattimet).
- m12 zoom-linssi 2.6-6 mm manuaalisella kohdistimella.



Kuva 37. Alkuperäinen PS Eye-kamera muokattuna m12-kameraksi. Kuvassa vasemmalta ylhäältä myötäpäivään: Kameran piirilevy ilman koteloaa m12 alustalla kaistanpäästösuodatin irroitettuna; Kamera koteloineen; m12 zoom-linssi 2.6-6 mm manuaalisella kohdistimella. /28/

Tekniset tiedot

PS Eye – kamera /24/

Videokuvaus	60 fps @640 x 480 (CI Eye Driver 75 fps) 120 fps @320 x 240 (CI Eye Driver 125 fps)
Sensori	CMOS
Liitäntä	USB

m12 zoom-linssi. /28/

Polttoväli	2.6 – 6 mm
Näkökenttä	95° - 54° (horisontaalinen)
Kohdistus	Manuaalinen

5.4 Projektorit ja kuvanmuodostus

Kosketusnäytön kuvanmuodostukseen tarvitaan projektoria tai sen voi myös tehdä LCD-näytöllä.

5.4.1 Projektorit

Projektorit mahdollistavat kuvan muodostuksen melkein minkä kokoisena tahansa, yleisimmin 20” - 300”. Projektorin mallin valinnassa tulee ottaa huomioon seuraavia asioita.

Kirkkaus (Luumen = lm)

Tämä arvo kertoo kuinka kirkas projektorin kuva on. Useimmat projektorit ovat välillä 1000 – 3000 lm. Mitä suurempi arvo sitä kirkkaampi kuva. Tarvittava lm-arvo on tärkeä tietää, suunnitellessa missä ympäristössä kosketusnäytön tulee toimia. Kuvan tulee olla kirkkaampi kuin ympäristön valaistus näkyäkseen hyvin.

Etäisyysuhde

Tämä arvo kertoo minkä kokoisena projektorin sisällä oleva optiikka heijastaa kuvan tietyltä heijastusetäisyydeltä. Käyttökelpoisia työkaluja ovat projektointilaskurit, ja kuva-peili työkalut jotka laskevat lopullisen kuvan koon kun projektorin kuva heijastetaan peilin kautta. Monesti projektorin kuva joudutaan taittamaan peilin kautta, muuten projektorin heijastusetäisyys jää liian pieneksi ja kuvasta tulee liian pieni. On olemassa lähiheijastus(short range)projektoreita jotka kykenevät luomaan isomman kuvan lyhyemmältä etäisyydeltä verrattuna tavallisiin projektoreihin.

Resoluutio

Projektorin resoluutio on aivan sama asia kuin televisioissa ja tietokoneen näytöissä. Resoluutio tarkoittaa tässä kuvan tarkkuutta. Se ilmaistaa kuvantoistolaitteissa kuvan muodostukseen käytettävien pikseleiden määränä vaakasuunnassa ja pystysuunnassa (leveys x korkeus).

Standard definition (SD) on matalin resoluutio. Esimerkki SD-resoluutiosta on 800 x 600.

High Definition (HD) on korkeampi resoluutio, jolla saadaan terävämpi kuva. Esimerkkejä tällaisista resoluutioista ovat: 1280x720, 1280x768, 1024x720, näistä voidaan käyttää lyhennystä 720p. Resoluutiot 1920 x 1080, 1900 x 1200 lyhennetään 1080p tai 1080i.

Yleisiä kuvasuhdekokoja ovat 4:3 ja 16:9.

Projektorin valinnassa natiivi resoluutio on tärkeä. Se tarkoittaa montako pikseliä projektori tuottaa fyysisesti. Tätä resoluutiota käytettäessä kuvanlaatu on paras. Projektorit on ohjelmoitu ottamaan vastaan muitakin resoluutioita, jotka se muuntaa ohjelmallisesti natiiviksi. Maksimi resoluutio tarkoittaa suurinta resoluutiota, jota projektori pystyy muuntamaan. Tällöin kuva voi muuttua sameaksi.

Muita valintaan vaikuttavia asioita ovat mm. äänentaso (paljonko melua projektori tuottaa) ja kokonaiskuvanlaatu. /28/

5.4.2 EPSON EMP – 1825



Kuva 38. Prototyössä käyttämämme projektori. /29/

Kirkkaus	3500 luumenia
Kontrasti	500:1
Äänentaso	37 db
Paino	3,1 kg
Linssi	kohdistus: manuaalinen zoom: manuaalinen, 1.60:1
Heijastusetäisyys	0.8 – 9.1 m (zoom: laaja) 1.4 - 14.7 m (zoom: tele)
Etäisyysuhde	1.50 - 2.42
Kuvan koko	30 - 300 ”
Kuvan resoluutio	natiivi: 1024 x 768 maksimi: 1600 x 1200
Liitännät	RS 232 USB langallinen verkko langaton verkko
Käyttöikä	lamppu 2500 tuntia

5.4.3 Kosketuspinta


Kosketuspinta on kirkasta ja läpinäkyvää materiaalia. Yleisimmin käytetään paksuudeltaan 4-12 mm akryyli-, erikoisakryyli- tai lasilevyä, tekniikasta riippuen.

5.4.4 Hajoitin- / projektointikalvo

Kosketuspintaan kiinnitetään (yleensä alapintaan) kalvo, jonka tehtävänä on hajottaa valoa. Siihen heijastetaan kuva (projektointi) ja Rear DI:ssä siitä on apua myös kosketuksen tunnistuksessa infrapunavalon hajottimena. Esimerkkejä projektointikalvojen tuotenimistä ovat mm. Rosco Gray, 3M Vikutiti, Pro light films (**Taulukko 2.**). Eri projektointikalvoilla on erilaisia ominaisuuksia, esim. kontrasti, kirkkaus, värien toistokyky, valon läpäisykyky, kalvon paksuus, katselukulma ja pinnan kovuus (kestävyys ja naarmuuntumisherkkyys). /28/

Kosketuspintoja joissa on valmiina projektointikerros on myös saatavilla.

Taulukko 2. Prolight films – projektointikalvojen ominaisuuksia. /28/

 Projection Film Product Line Specs					
Film / Specs	Pro-Clear	Pro-Dark Grey	Pro-Light Grey	Pro-White	Pro-White 2x
Gain (Vahvistus)	6	3	4	5	6
Contrast (Kontrasti)	200-1	400-1	300-1	200-1	200-1
Transmittance (Läpäisykyky)	87% +/- 2	54% +/- 2	80% +/- 2	92% +/- 2	70% +/- 2
Haze	33% +/- 2	94% +/- 2	93% +/- 2	93% +/- 2	98% +/- 2
View Angle (Katselukulma)	150*	120*	120*	150*	180*
Adhesive (Liimapinta)	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Scratch Resistant Hard Coat (Naarmusuoja Kova pinta)	Yes	No	No	No	No
Film Thickness (Kalvon paksuus)	0.1 mm	0.1mm	0.1mm	0.1mm	0.1mm
Mohs Hardness (Mohsin kovuus)	3	2	2	2	2
Dual Pane Safe	Yes	No	No	No	N/A
<p>* All View angle specs may change due to the amount of ambient light on either side of the screen. Make sure to pretest film for your location and use light meter measurement tools. Using a light meter will make pre-testing of a location easy.</p> <p>* Kaikki katselukulmat saattavat muuttua ympäristön valaistuksesta riippuen.</p>					

5.5 Kaupallisia optisia monikosketusnäyttöjä

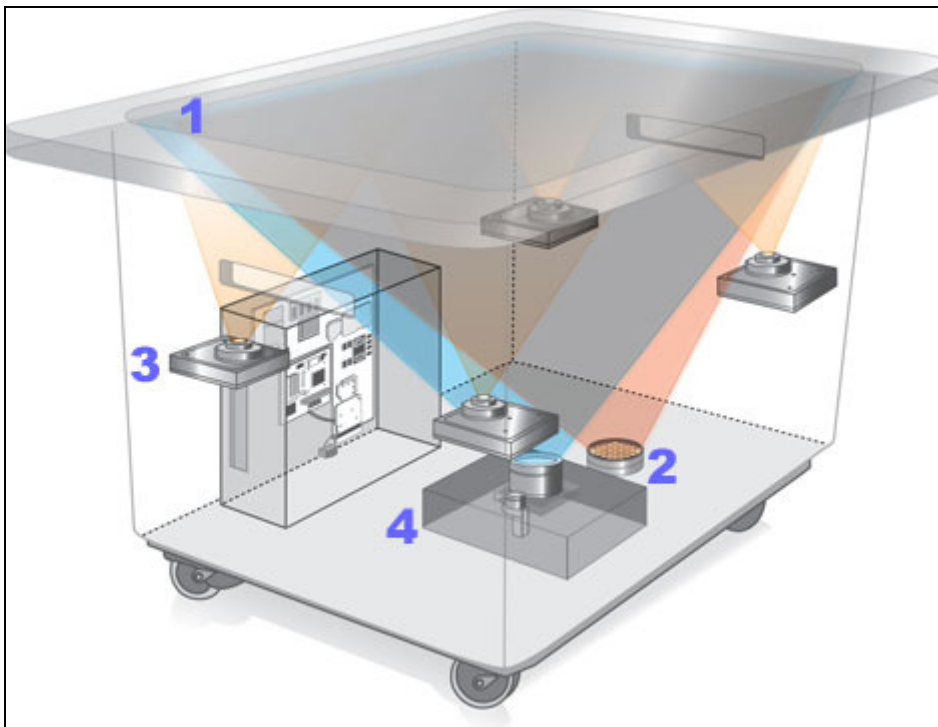
Tässä kappaleessa on Microsoftin kosketusnäyttöpöytien esittely, joissa on samankaltaisia piirteitä ja osia kuin harrastajien rakentamissa kosketusnäytöissä. Pöydät tunnettiin aiemmin nimellä Surface. Tuotteen nimi muutettiin uudemman pöydän käyttämän tekniikan mukaan PixelSenseksi kun Microsoft julkaisi Surface nimeä käyttävän tablet-tietokoneen. /14/

Microsoft Pixelsense (ent. Microsoft Surface)

Microsoft Surface - kosketusnäyttöpöytä julkistettiin 17.4.2008. Samaa nimeä käytti myös ohjelmistoalusta laitteelle. Laitteen valmistus ja myynti on lopetettu. Pöydän korkeasta hinnasta (\$10 000 USD) johtuen, sitä myytiin vain lähinnä yrityksille kuten hotellien julkisiin tiloihin. /14/



Kuva 39. Microsoft Surface.



Kuva 40. Microsoft Surfacen kosketustekniikka on toteutettu Rear DI:llä. /18/

1. **Näyttö:** Hajoitin/projektointikalvo muuttaa Surfacen pöydänpäällä olevan akryylin suureksi vaakasuoraksi "multitouch" - kosketusnäytöksi. Se pystyy käsittelemään monta yhtäaikaista syötettä monelta käyttäjältä. Surface osaa myös tunnistaa esineet niiden muodoista tai lukemalla koodattuja "domino"- tageja.
2. **Keskusyksikkö:** Surface käyttää monia samoja komponentteja joita löytyy tavallisista pöytäkoneista – Core 2 Duo - prosessori, 2GB RAM ja 256MB – näytönohjain. Langaton kommunikointi pinnalla olevien laitteiden kanssa hoidetaan WIFI- ja Bluetooth-antenneilla. Käyttöjärjestelmä on muokattu versio Microsoft Vistasta.
3. **Infrapuna:** Surfacen "koneäkö" toimii 850 nm lähi-infrapuna Led-lähteellä, joka on suunnattu näyttöä kohti. Kun objekti koskee näyttöä, valo heijastuu takaisin ja vastaanotetaan monilla IR-kameroilla joiden verkkoresoluutio on 1280 x 960
4. **Projektor:** Microsoftin Surface käyttää samaa DLP-tekniikkaa kuin monissa takaheijastus HDTV:ssä. Näkyvän valon näytön pinta-ala 1024 x 768 resoluutiolla, on todellisuudessa pienempi kuin näkymätön lomitettu infrapuna- projektiio, mahdollistaen paremman tunnistuksen näytön reunoilla.

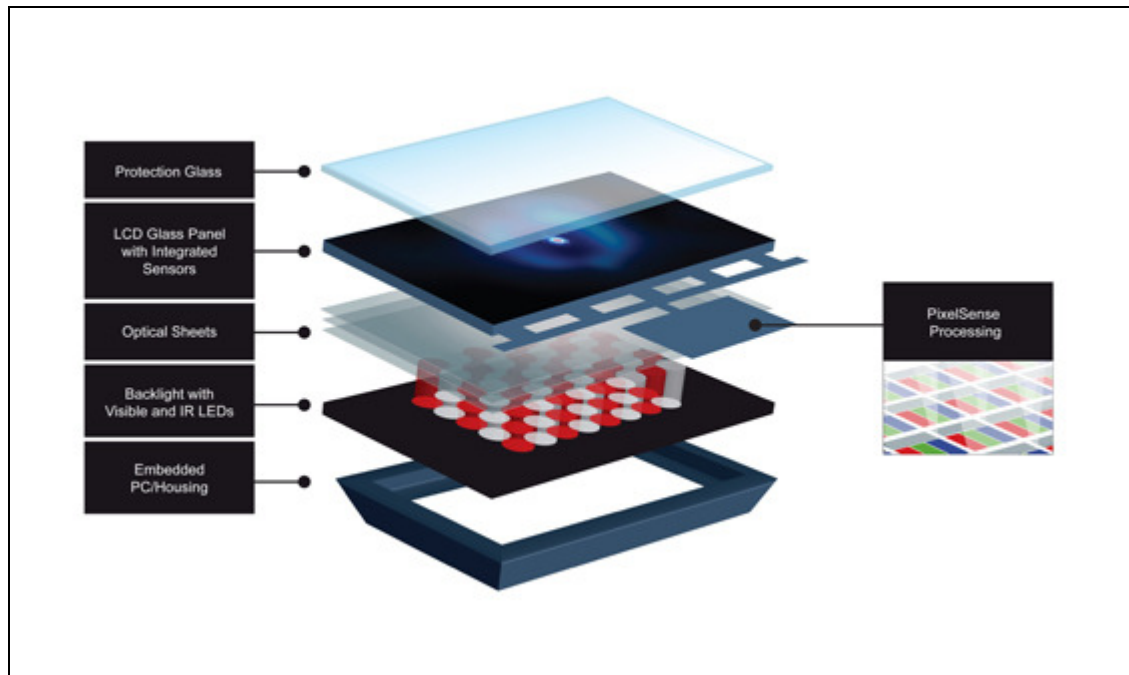
Samsung SUR40 with Microsoft PixelSense (ent. Samsung SUR40 for Surface)

Tämä on uudempi versio kosketusnäyttöpöydästä ja sen ohjelmistosta. Se on tehty yhteistyössä Samsungin kanssa, joka on valmistanut tuotteen pöydän, joka kantaa nimeä SUR40. Se julkaistiin vuoden 2012 alussa. Kosketusnäytössä käytetään PixelSense-teknologiaa, jossa jokaisessa pikselissä on oma sensori (**Kuva 42.**). Laite tukee monikosketusta. /14/



Kuva 41. Samsung SUR40 with Microsoft PixelSense. /14/

Kosketusnäyttöpöytä tunnistaa sormet, kädet ja esineet, jotka on asetettu näytölle, mahdollistaen näköperusteisen vuorovaikutuksen ilman kameroiden käyttöä. Näytön yksittäiset pikselit näkevät mikä koskettaa näyttöä ja tämä tieto prosessoidaan ja tulkitaan välittömästi. /21/



Kuva 42. PixelSense-teknologia. /21/

PixelSense toimii seuraavasti.

1. Kosketus (sormi, tagi, esine) tapahtuu näytöllä.
2. IR-takavaloyksikkö antaa valon (optisten levyjen, LCD-näytön ja suojalasin läpi) joka osuu kosketuskohtaan.
3. Integroidut sensorit näkevät valon joka heijastuu takaisin kosketuskohdasta.
4. Sensorit muuntavat valosignaalin sähköiseksi signaaliksi/arvoksi.
5. Kaikkien sensoreiden arvoja käytetään luomaan kuva mitä on näytöllä.
6. Tämä kuva analysoidaan käyttäen kuvanprosessointi- tekniikoita.
7. Tulos lähetetään PC:lle.

Microsoftin kosketusnäyttöpöytien vertailu. /14/

Microsoft Surface 1.0

- Ohjelmistoalusta: Microsoft Surface 1.0
- Mahdolliset asennuspaikat: Pöydät ja palvelutiskit
- Näyttö + näkö syöte teknologia: Takaheijastus DLP w/kamerat
- Hinta: Alkaen \$10,000 USD
- Paino: 90 kg
- Fyysiset mitat (P × L × K): 108 × 68.6 × 53.3 cm
- CPU: Intel Core 2 Duo 2.13 GHz prosessori
- Näytönohjain (GPU): ATI Radeon X1650 - 256 MB
- Keskusmuisti: 2 GB DDR2
- Kiintolevy: 160 GB HDD
- Näytön koko: 30" (76.2 cm)
- Näytön resoluutio: 1024 x 768 – 4:3 kuvasuhde
- Liitännät: XGA (DE-15) video ulos, RGB analog component video out, RCA analog component audio out, 4 USB porttia
- Verkko: Wi-Fi 802.11g, Bluetooth ja Ethernet 10/100
- Käyttöjärjestelmä: Windows Vista (32-bit)

Samsung SUR40 with Microsoft Pixelsense

- Ohjelmistoalusta: Microsoft Surface 2.0
- Mahdolliset asennuspaikat: Pöydät, palvelutiskit ja seinät
- Näyttö + näkö syöte teknologia: Ohut LCD w/PixelSense teknologia
- Hinta: Alkaen \$8,400 USD
- Paino: 36 kg
- Fyysiset mitat (P × L × K): 108.5 × 69.9 × 10.2 cm
- CPU: AMD Athlon II X2 2.9 GHz tuplaydin prosessori
- Näytönohjain (GPU): AMD Radeon HD 6570M – 1 GB GDDR5
- Keskusmuisti: 4 GB DDR3
- Kiintolevy: 320 GB HDD
- Näytön koko: 40" (101.6 cm)
- Näytön resoluutio: 1920 × 1080 – 16:9 kuvasuhde
- Liitännät: HDMI input & output, S/PDIF 5.1 digital audio surround sound out, RCA analog component audio out, 3.5 mm TRS (stereo mini-jack) audio out, 4 USB porttia
- Verkko: Wi-Fi 802.11n, Bluetooth, ja Ethernet 10/100/1000
- Käyttöjärjestelmä: Windows 7 Professional for Embedded Systems (64-bit)

6 MONIKOSKETUSOHJELMISTOT

6.1 Kosketuskohdan jäljitysohjelmat (Tracking softwares)

Kosketuskohdan jäljitysohjelman tehtävä on jäljittää IR-kameran kuvasta kosketuskohdat sekä tapahtumat ja välittää ne valitun protokollan mukaan käyttösovellukselle.

6.1.1 Community Core Vision (CCV)

CCV:n alustavaatimukset /31/

Tietokone

Pentium 4+ (Suositellaan Core 2 Duo+)

512MB+ RAM (1024MB+)

Web-kamera kosketusnäyttöineen

Ohjelmistot:

Windows:

Quicktime

Microsoft Visual C++ 2008 Redistributable Package (x86)

Mac

Quicktime

Linux

libpoco

Tässä työssä oli käytössä CCV 1.4 Win - versio. CCV on avoimen lähdekoodin kosketuskohdan jäljitysohjelma kosketusnäytöille /4/. Ohjelma pystyy tulkitsemaan kosketustiedot web-kamera-pohjaisilta optisilta kosketusnäytöiltä, eli kaikilta kappaleessa 5. mainituilta tekniikoilta (LLP, FTIR, Rear DI, DSI). Ohjelma tukee monia erilaisia web-kameroita (muokattu IR-kameraksi), jotka liitetään USB- tai Firewire-liitännällä tietokoneeseen. Ohjelmalle välittyy kosketuspintaa kuvaavan IR-kameran videokuvaa, josta se jäljittää kosketustiedot. Näitä tietoja ovat mm. kosketuspisteiden koot ja koordinaatit sekä tapahtumat, kuten sormen kosketus, vapautus ja liike.

Ohjelman antamaa jäljitystulosta pystyy konfiguroimaan erilaisilla säädöillä siten, että jäljitetyt kosketuspisteet ovat halutunlaisia. Tarkoituksena on saada jäljitetyssä kuvassa näkymään IR-kameran kuvassa näkyvät kosketuskohdat (sormenpäät) oikean kokoisina ja muotoisina. Jäljityskuvassa ei saa myöskään näkyä ylimääräisiä ympäristön tuottamia valopisteitä/-kohtia. Ohjelmassa on helppo käyttöliittymä, josta konfiguroinnit pystyy tekemään liukusäätimillä ja painikkeilla.

Konfiguroinnin jälkeen kosketusnäytön kuva ja kameran kuva kalibroidaan.

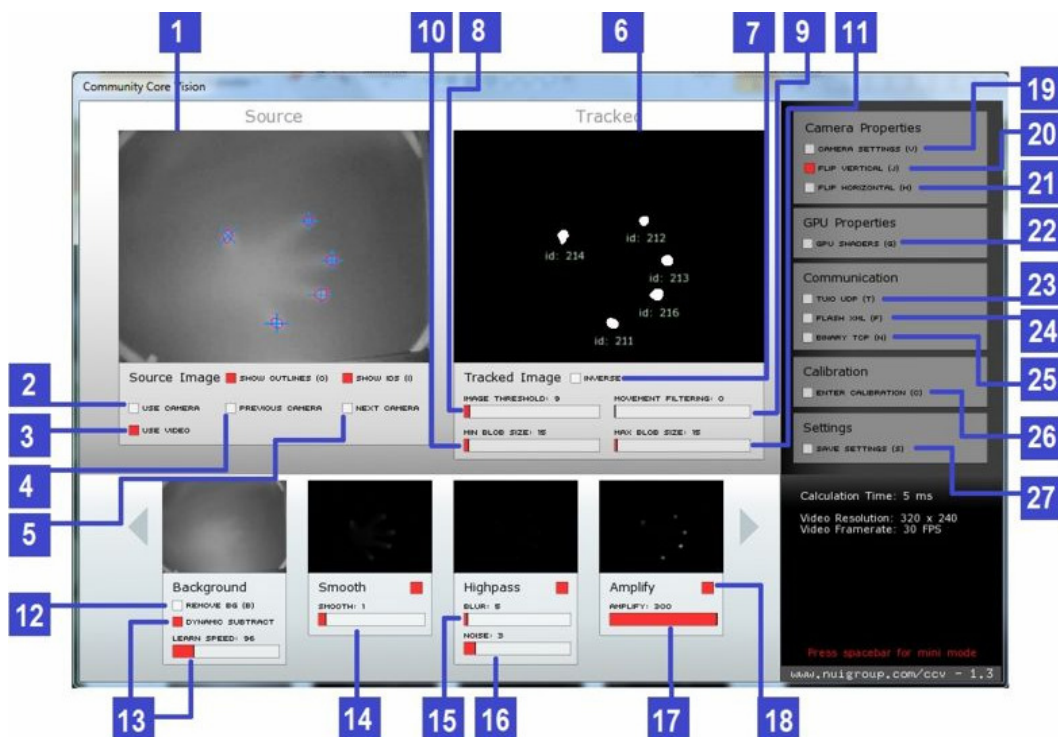
Kun konfigurointi ja kalibrointi on suoritettu, kosketustiedot voi asettaa lähtemään TUIO-protokollalla, Flash-protokollalla tai Binary-datana käyttösovellukselle, sen vaatimalla protokollalla.

6.1.2 Muita jäljitysohjelmia

Muita kosketuskohdan jäljitysohjelmia ovat mm. Touchlib, BBTouch, Touche sekä Reactivision. Touchlib-ohjelmaa tutkittiin aluksi, mutta se oli käyttöliittymältään monimutkainen. Tästä syystä päädyttiin käyttämään CCV:tä, jota suositeltiin eniten ja oli yleisimmin käytetty. Se on paranneltu versio Touchlibistä, jossa on selkeä graafinen käyttöliittymä.

6.2 CCV konfigurointi

CCV pitää konfiguroida käytettävälle kosketusnäytölle ja valo-olosuhteille. Konfigurointi tehdään manuaalisesti siten, että kameran antamasta videokuvasta jäljitetään kosketuspisteet viereiseen videokuvaan. Kosketuspintaa kosketaan usealla sormella ja samalla säädetään erilaisia liukusäätimiä ja nappeja. Jäljitetyssä kehyksessä kuva muuttuu säätöjen mukaan ja sormenpäät alkavat vähitellen hahmottua. Tarkoituksena on saada kosketuspisteet näkyviin ja erottumaan jäljityskuvassa niin selvästi kuin mahdollista. Konfiguroinnissa sormia pitää myös liikuttaa koko kosketusalueella. Tällä tarkastetaan että tunnistus toimii joka puolella kosketusnäyttöä (**Kuva 43.**).



Kuva 43. CCV:n konfigurointi-ikkuna (versio 1.3). /31/

1. **Source image** – Näyttää lähdevideokuvaa joko kamerasta tai videotiedostosta.
2. **Use camera** – Käytä kameraa
3. **Use video** – Käytä videotiedostoa
4. **Previous camera** – Edellinen kamera
5. **Next camera** – Seuraava kamera
6. **Tracking image** - Jäljitetty videokuva
7. **Inverse** - Jäljittää varjopisteet valkoisten sijasta (Front DI- tekniikka).
8. **Threshold Slider** – Säättää hyväksyttävien jäljitettyjen pikseleiden tasoa. Mitä isommalla, sitä isompia valopisteiden pitää olla jotta ne jäljitetään.
9. **Movement filtering** - Säättää etäisyyden tasoa (pikseleinä), ennen kuin valopisteen liikkuminen tunnistetaan. Mitä suuremmalla, sitä enemmän pitää sormen liikkua että CCV rekisteröi valopisteen liikkeen.
10. **Min Blob Size** – Säättää minimin sallitun valopisteen koon. Mitä isommalla, sitä isompi valopisteen pitää olla että se saa ID:n.
11. **Max Blob Size** - Säättää maksimin sallitun valopisteen koon. Mitä isommalla, sitä isompi valopiste voi olla ennen kuin se menettää ID:n.
12. **Remove Background Button** - Ottaa kuvan nykyisestä sen hetkisestä lähdevideokuvasta ja käyttää sitä staattisena taustakuvana, joka vähennetään tästä lähtien aktiivisesta lähdevideokuvasta. Paina tätä nappia ottaaksesi uuden staattisen taustakuvan.
13. **Dynamic Subtract Toggle** – Ottaa dynaamisesti taustakuvaa. Valitse tämä päälle jos ympäristön valo vaihtuu useasti tai virheellisiä valopisteitä esiintyy ympäristön muutoksista. Liukusäädin määrittää kuinka usein tausta kuvataan/opitaan.

14. Smooth Slider – Pehmentää kuvaa ja suodattaa siitä pois kohinaa (satunnaisia pisteitä)

15. Highpass Blur Slider – Poistaa kuvan sumeat kohdat ja jättää terävämmät kirkkaat kohdat.

16. Highpass Noise – Suodattaa kohinaa pois kuvasta sen jälkeen kun Highpass Blur on käytössä ja säädetty.

17. Amplify Slider – Kirkastaa heikkoja pikseleitä. Jos valopisteet ovat heikkoja, tätä voidaan käyttää niiden vahvistamiseen.

18. On/Off Toggle – Jokaisen suodattimen kohdalla on tällainen. Tätä käytetään kun laitetaan ko. suodatin päälle ja pois.

19. Camera Settings Button – Avaa kameran asetukset-ikkunan. Tämä avaa tarkemmat kamerakohtaiset säädöt kulloinkin käytössä olevalle kameralle.

20. Flip Vertical Toggle – Kääntää lähdevideokuvan vertikaalisesti.

21. Flip Horizontal Toggle - Kääntää lähdevideokuvan horisontaalisesti.

22. GPU Mode Toggle – Laittaa päälle laitteistokiihdytyksen ja käyttää GPU:ta. Tämä toimii parhaiten uusien näytönohjainten kanssa. GPU -tila on vielä aikaisessa kehitysvaiheessa ja ei saata toimia kaikissa koneissa.

23. Send UDP Toggle – Kytkee päälle TUIO-protokollan lähetyksen

24. Flash XML - Kytkee päälle Flash XML-protokollan lähetyksen.

25. Binary TCP - Kytkee päälle raakadatalähetyksen (x ja y koordinaatit).

26. Enter Calibration – Avaa kalibrointi-ikkunan.

27. Save Settings – Tallentaa nykyiset asetukset ja säädöt.

Konfigurointiohje ja tärkeimmät säädöt

1. Käynnistä **CCV-sovellus** ja kamera- tai videokuva pitäisi näkyä **Source Image** - kehyksessä.

2. Jos väärän kameran kuvaa näytetään, paina **Next Camera** vaihtaaksesi seuraavaan liitettyyn kameraan. Paina **Previous Camera** palataksesi edelliseen.

3. Kun kosketusnäyttöä ei kosketeta, paina **Remove Background** - nappia tai "b" kaapataksesi taustan. Jos ollaan ympäristössä missä valaistus muuttuu usein, laita **Dynamic Subtract** päälle.

4a. (Ainoastaan FTIR ja LLP käyttäjät)

- Laita **highpass** ja **amplify** - suodattimet pois päältä.
- Laita **smooth** - suodatin päälle.
- Säädä **smooth** - suodatinta poistaaksesi kohinan.
- Jos valopisteet ovat heikkoja, Laita **amplify** - suodatin päälle kirkastaaksesi niitä.

4b. (Ainoastaan DI ja DSI käyttäjät)

- Laita **smooth** ja **amplify** - suodattimet pois päältä.
- Laita **highpass** - suodatin päälle.
- Säädä **highpass blur** ja **noise** - liikusäätimiä kunnes sormet ovat selvät/kirkkaat ja erottuvat hyvin.
- Jos valopisteet ovat heikkoja, Laita **amplify** - suodatin päälle kirkastaaksesi niitä.

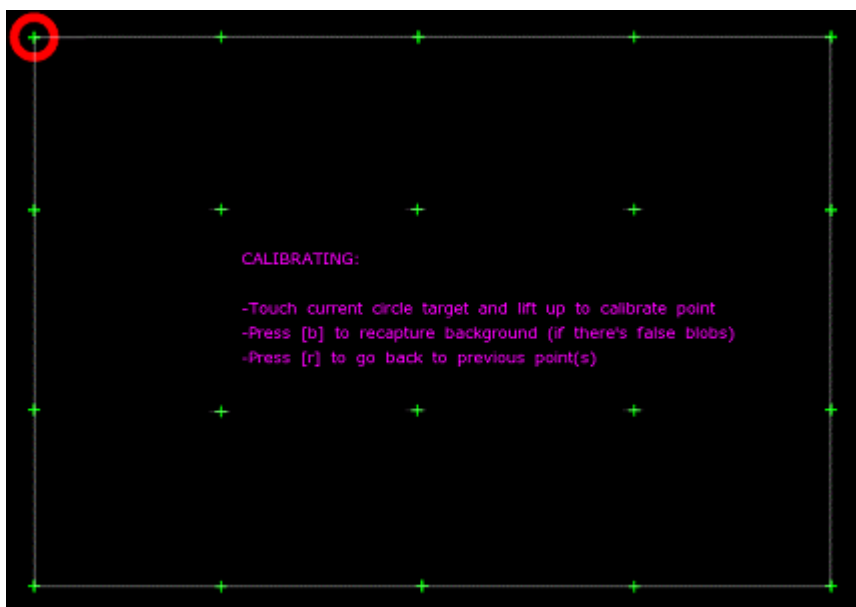
5. Viimeiseksi, säädä **Threshold** - säädintä **Tracked Imagessa** kunnes vain sormet jäljitetään ja muut valopisteet häviävät.

6. Paina **Save Settings** tallentaaksesi nykyiset säädöt. **Huom** säädöt tallentuvat myös automaattisesti ohjelmasta poistuessa.

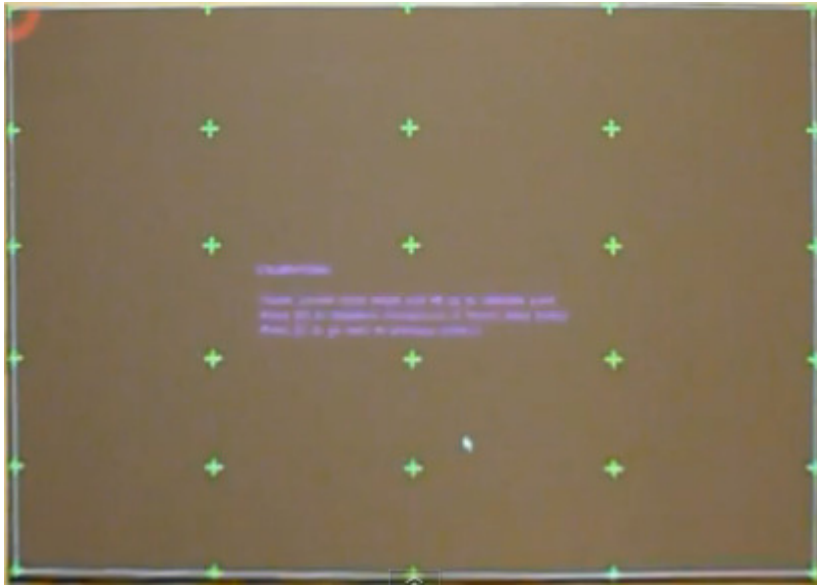
7. Kun konfigurointi on tehty oikein, siirry kalibrointiin. /31/

6.3 Kalibrointi CCV:ssä

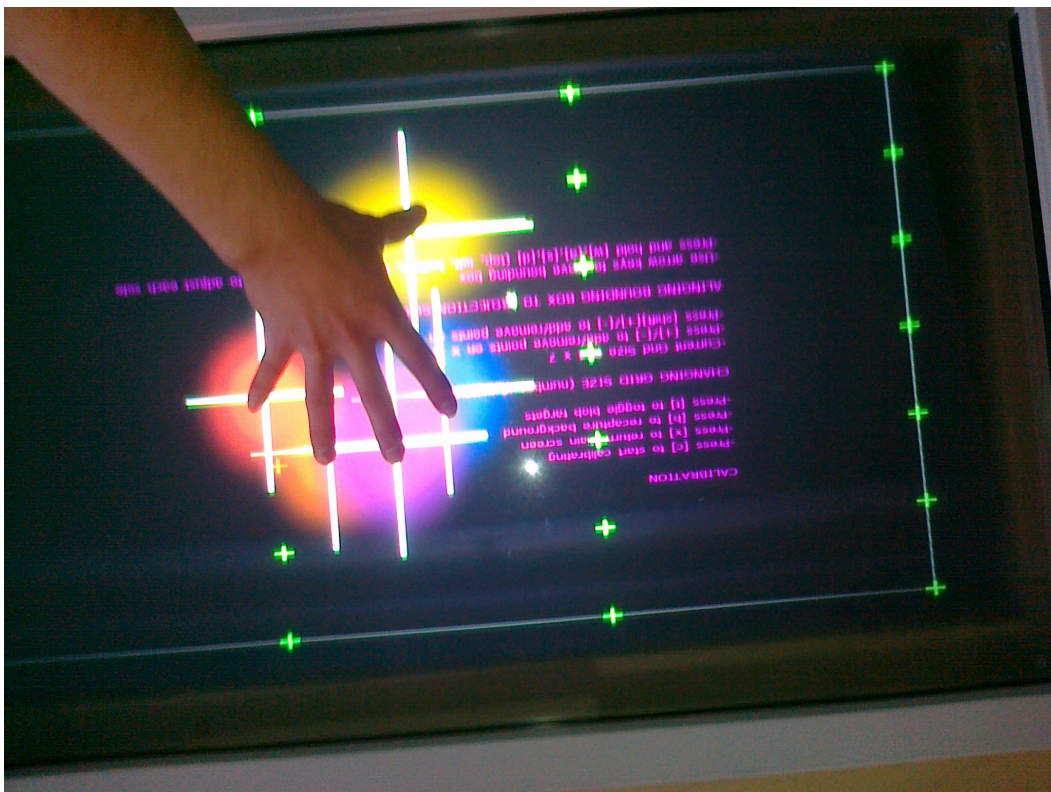
Kun CCV:n konfigurointi on tehty, kosketusnäytön kuva ja kosketuspintaa kuvaava kamera täytyy kalibroida keskenään CCV:ssä. Toimenpiteen tarkoituksena on määrittää mitkä kohdat kameran kuvassa vastaavat näytön kohtia. CCV heijastaa kosketusnäytön kuvaruudulle kalibrointi-ikkunan kalibroitipisteinen (**Kuva 44.**). Kalibroitipisteitä voi tarvittaessa lisätä isoja näyttöjä varten ja vähentää niitä pieniä näyttöjä varten. Nämä pisteet käydään läpi koskettamalla aina vuorossa olevaa pistettä. Kun kaikki pisteet on käyty läpi, kalibrointi on suoritettu. Tämän jälkeen kosketusnäytön kuva ja kamera, joka kuvaa sitä, eivät saa liikahtaa toisiinsa nähden, muuten CCV tulkitsee kosketuksen väärässä paikassa näyttöä ja sovelluksen käyttö ei toimi oikein. Tällöin kalibrointi pitää tehdä uudestaan.



Kuva 44. CCV:n kalibrointi-ikkuna. Vuorossa on vasemmassa yläkulmassa oleva kalibroitipiste jota pitää koskettaa. Jos valkoinen reunakehys ei ole projektoidun kuvan reunoilla, se on venytettävä näppäimistöä ennen kalibroinnin aloittamista. (**Vrt. Kuva 45.**). /31/



Kuva 45. Tässä valkoinen reunakehys on oikein kun se mahdollisimman lähellä heijastetun kuvan reunoja. /31/



Kuva 46. CCV:n kalibrointi-ikkuna kalibroinnin jälkeen protopöydässä. Ruudulla pystyy testaamaan kuinka kalibrointi on onnistunut.

6.4 Kosketustietoja välittävät protokollat

CCV pystyy lähettämään jäljitetyt kosketustiedot käyttösovellukselle kolmella eri protokollalla.

6.4.1 TUIO UDP

TUIO-protokolla (Tangible user interface object) tarjoaa kommunikoinnin kosketuspisteiden jäljitysohjelman ja käyttösovelluksen välillä. Se on yleiskäyttöinen protokolla TUIO-sovelluksille, ja mahdollistaa myös 3D-käyttöliittymän. TUIO on toteutettu OSC-protokollan pohjalta. Kuljetuskerroksena toimii UDP.

6.4.2 Flash XML

Tässä TUIO-viesti muutetaan xml-muotoon Flash-sovelluksia varten. Flashin sisällä on Actionscript tuomassa toiminnallisuutta. Sovellukset ovat SWF-tiedostoja. Kuljetuskerroksena toimii TCP.

6.4.3 Binary TCP

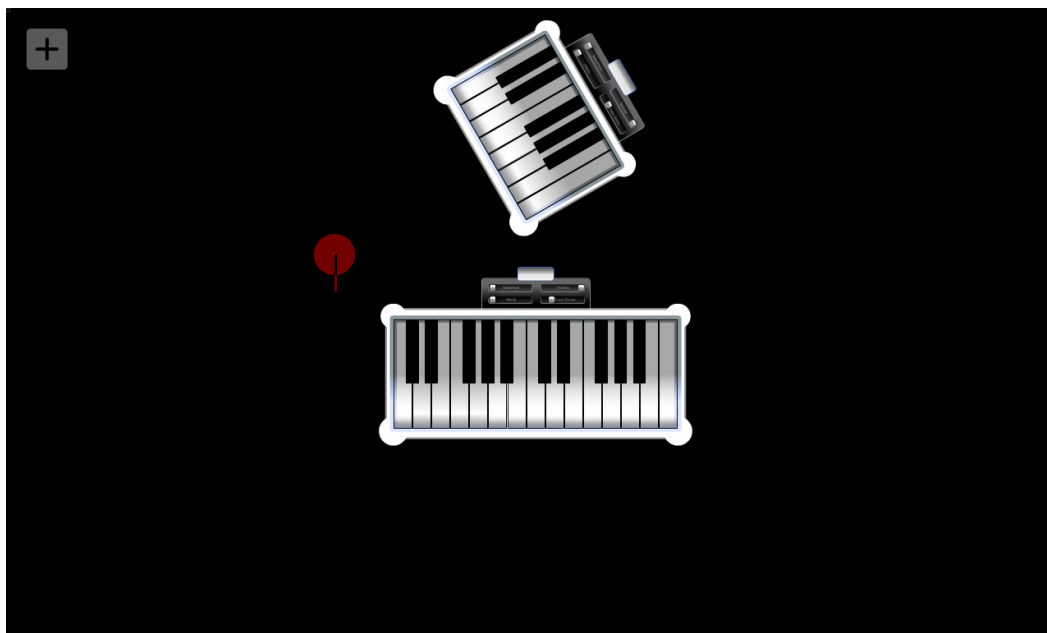
Kosketustietojen lähetys raakadatana. Kuljetuskerroksena toimii TCP.

6.5 Käytetyt sovellukset

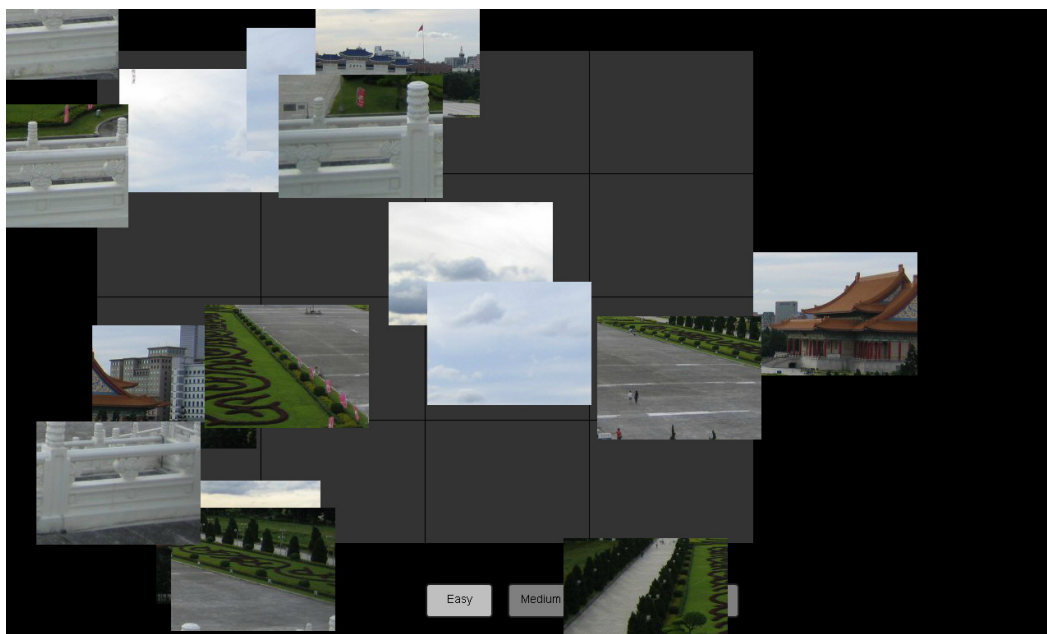
Kosketusnäyttöpöytää testattaessa käytettiin seuraavia käyttösovelluksia.

Flash-demot

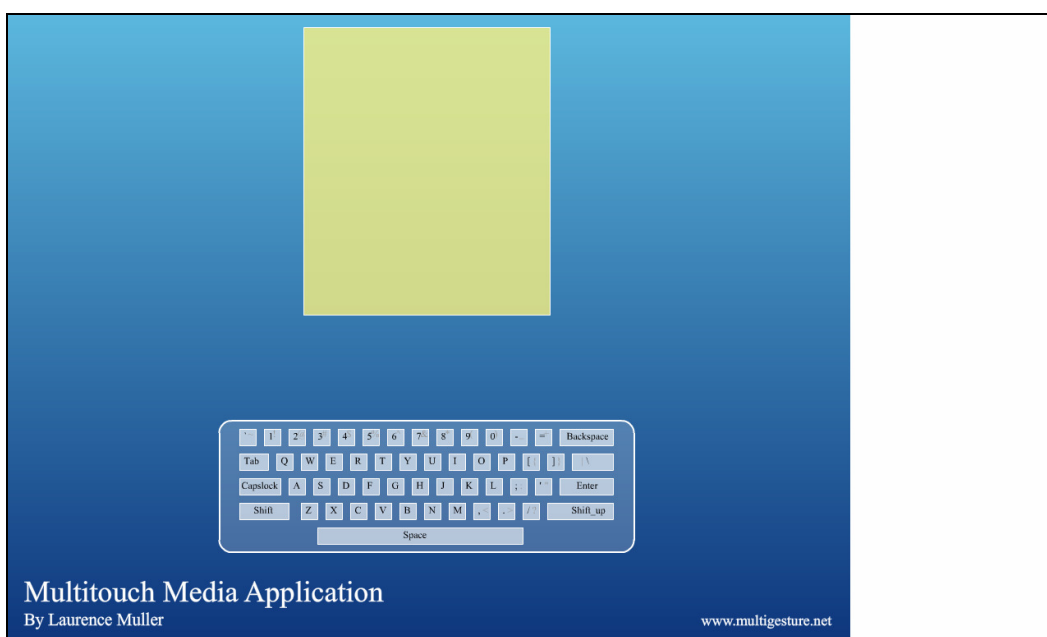
Internetistä löytyi kansio joka sisältää erilaisia monikosketusta tukevia Flash-demoja. Siinä on mm. kosketin-, palapeli-, piirto-, ja virtuaalinäppäimistö-sovellukset (**Kuva 47.-49.**). Demoja ajettiin internet-selaimessa, jossa Flash player-liitännäinen ja erillisessä Flash playerissä. CCV ja Flash-sovellus kommunikoivat käyttäen porttia 3000.



Kuva 47. Multikey-sovellus mahdollistaa koskettimien soiton. Koska kyseessä on multitouch-sovellus, monen koskettimen yhtäaikainen kosketus toimii. Sovellus tukee myös koskettimiston siirtoa, zoomausta ja kiertoa.



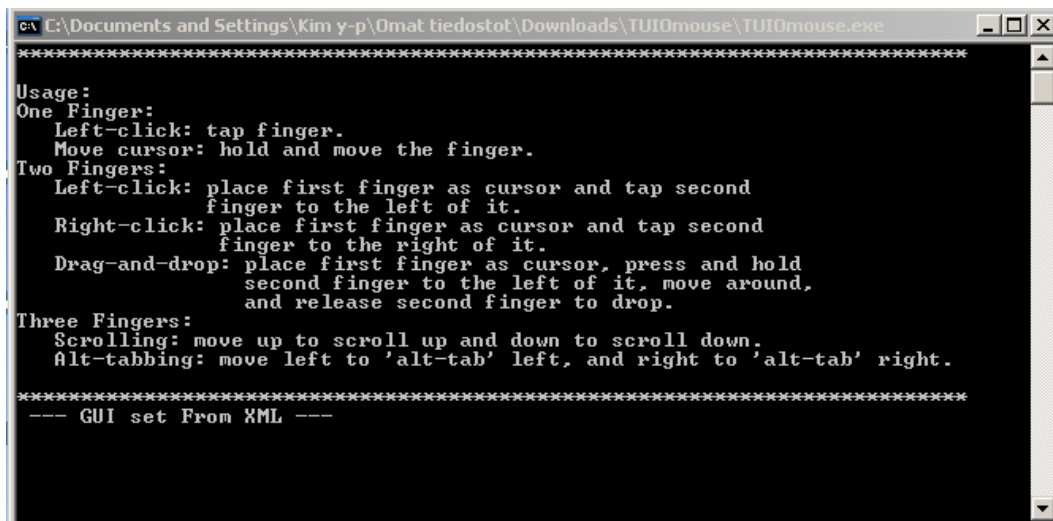
Kuva 48. Puzzle-sovelluksessa voi tehdä palapelejä. Koska se tukee monikosketusta, useamman palan yhtäaikainen siirto toimii.



Kuva 49. Media app–virtuaali näppäimistö.

TUIO-hiiri

Myös TUIO-protokollalla toimivaa hiiri-sovellusta käytettiin. Hiiren kursorin käytössä tarvitaan myös monikosketusta. CCV ja TUIO-sovellukset kommunikoivat portin 3333 kautta.



```
C:\Documents and Settings\Kim y-p\Omat tiedostot\Downloads\TUIOmouse\TUIOmouse.exe
*****
Usage:
One Finger:
  Left-click: tap finger.
  Move cursor: hold and move the finger.
Two Fingers:
  Left-click: place first finger as cursor and tap second
              finger to the left of it.
  Right-click: place first finger as cursor and tap second
               finger to the right of it.
  Drag-and-drop: place first finger as cursor, press and hold
                 second finger to the left of it, move around,
                 and release second finger to drop.
Three Fingers:
  Scrolling: move up to scroll up and down to scroll down.
  Alt-tabbing: move left to 'alt-tab' left, and right to 'alt-tab' right.
*****
--- GUI set From XML ---
```

Kuva 50. TUIO-hiiren käyttöohjeet avautuvat kun sovellus käynnistetään.

7 TEKNIKOIDEN KOKEILU JA PROTOPÖYDÄN VALMISTUS

7.1 Protopöydän valmistus

Kosketusnäyttöpöydästä tehtiin protomalli, koska oli tarve selvittää kuinka kosketustekniikan osat toimivat ja millaisen pöydän rakenteen ne vaatii. Pöytä rakennettiin yhteistyössä VAMKin kone- ja tuotantotekniikan opiskelijan Jukka Välikankaan kanssa. Hänelle kuului pöydän rungon suunnittelu kosketustekniikan ehdoilla, josta hän teki oman opinnäytetyönsä. Protomallin rakentelun ja tekniikoiden kokeilujen ohessa hän suunnitteli ja mallinsi tietokoneella kehittyneempää pöydän runkoa (**Kpl 7.7**).

Työstimme tavalliseen 730mm korkeaan ja 25mm paksuun puukantaiseen pöytään 830 x 430 mm aukon, jonka kohdalle akryyli kiinnitettiin. Pöydän akryyliin saadaan heijastettua maks. 33” kuva 16:9 kuvasuhteella. Tämä toimi protopöydän runkona, johon pystyi kiinnittämään muut tarvittavat osat eri tekniikoiden kokeilemista varten.

7.2 Osien asennuksen vaikutus kosketusnäytön ominaisuuksiin

Osien oikealla asennuksella pöytään on suuri merkitys kosketusnäytön toimintaan. Ne tulisi asentaa tarkasti oikein suunnattuina pöydän kosketuspintaan nähden. Lisäksi osissa on optisia säätöjä, jotka on tärkeä saada kohdalleen.

IR-lähteen asennuksesta on käyty läpi lasermoduulit, koska tämä työ painottui niitä käyttävään LLP-tekniikkaan. Projektorin ja peilin sekä kameran asennuksen ohjeet soveltuvat kaikille kappaleessa 5.1 mainituille tekniikoille. Kameran laajakulmalinsseissä esiintyvä tynnyrivääritymä on myös käyty läpi tässä kappaleessa.

7.2.1 IR-lasermoduulien asennus ja säätö

Ennen moduulien asennusta, akryylin on oltava asennettu pöytään niin, että sen pinta on tasainen ja suora, että lasertaso saadaan kulkemaan tasaisesti siihen

nähdessä. Kun kyseessä on silmälle näkymättömän valon lasersäde, täytyy toimenpiteet kuvata tietokoneeseen kytketyllä IR-kameralla. Samalla seurataan tapahtumia tietokoneen näytöltä tai jos projektori peileineen on asennettu, pöydän näyttöruudulta. Tässä vaiheessa on syytä käyttää suojalaseja. Jokainen moduuli säädetään vuorollaan erikseen, ettei toisten moduulien säde häiritse. Jännite syötetään moduuliin ja sen säde osoitetaan tasaiseen pintaan, kuten seinään, ja tarkennetaan teräväksi pyörittämällä moduulin päässä olevaa säätörengasta. Tarkennuksen jälkeen viivan paksuus tulisi olla n. 1 mm. Moduuli asennetaan tarkennuksen jälkeen akryylin nurkkaan nähden 45 asteen kulmaan. Säde tulisi saada kulkemaan mahdollisimman lähellä akryylin pintaa (n.1mm) vaakatasossa siihen nähden. Tämä tarkistetaan asettamalla mattapintainen suora esine, esim. lauta akryylin päälle johon säde heijastuu, ja viemällä sitä eri kohtiin varmistaen että säde kulkee joka paikassa samalla korkeudella. Tämän jälkeen kamera asetetaan kuvaamaan kosketuspintaa alhaaltapäin, josta näkyy hyvin mahdolliset heijastumat jos säde osuu akryyliin.



Kuva 51. Harrastelijan kuva, jossa lasertaso säädetty optimaaliseksi. /25/

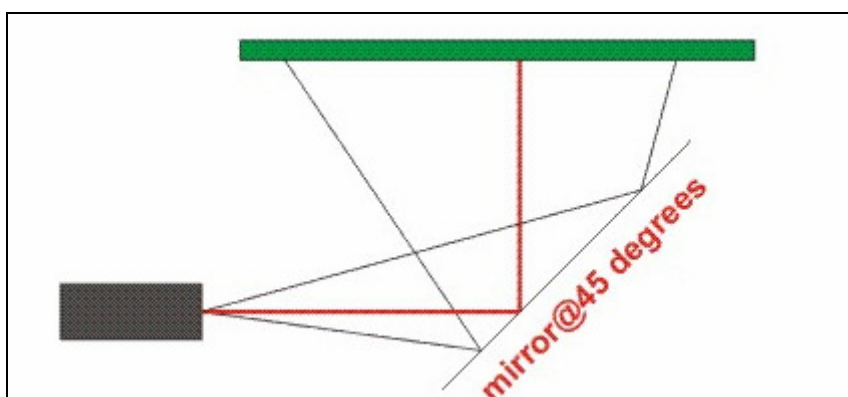
Jokaisen moduulin lasertaso tulisi säätää vaakasuoraan samalle tasolle kosketuspintaan nähden. Jos lasertaso on vinossa tai eri modulien lasertasot menevät eri lailla, kosketuksen tunnistus ei tapahdu tasaisesti joka puolella

kosketuspintaa. Kosketuspiste tunnistetaan tällöin helposti väärän kokoisena ja väärässä paikassa, riippuen kuinka säteet osuvat sormeen silloin kun se koskettaa kosketuspintaa. Lisäksi mitä korkeammalla lasertaso menee kosketuspinnasta sitä ylempää sormi tunnistetaan jo ennen kosketuspintaan osumista. Tämä haittaa käytettävyyttä.

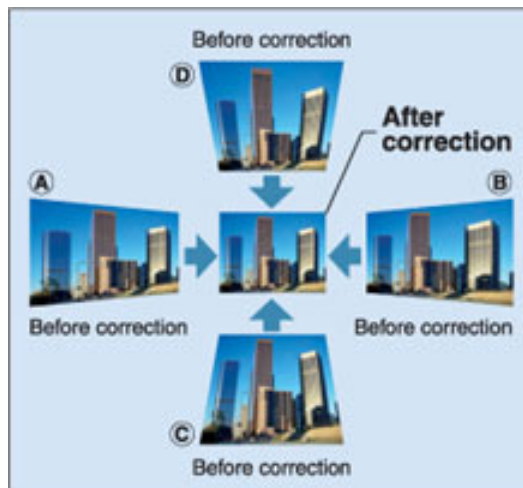
7.2.2 Projektorin ja peilin asettelu ja suuntaus

Kuvanmuodostuksen voi tehdä joko projektorilla suoraan kosketuspinnalle heijastamalla tai peilin/peilien kautta. Asettelussa on eri vaihtoehtoja. Tässä kuvataan yksi asettelutapa. Peili asetetaan pöydän alle n. 45° kulmaan (**Kuva 52.**). Projektori asetetaan oikealle kuvasuhteelle, kuvaa heijastetaan peiliin ja zoomataan isoimmalle, jonka jälkeen sen ja peilin välistä etäisyyttä muutetaan sopivaksi jotta akryyliin heijastuva kuva saadaan halutun kokoiseksi. Lopuksi kuva käännetään projektorin asetuksista (jos käyttäjän puoli on peilin takana) ja tarkennetaan.

Projektorin tulisi olla kohtisuoraan peilin vaakalinjaan nähden, ettei kuvassa esiinny vaakasuuntaista trapetsivääristymää. Peilin ja projektorin sijoittelussa täytyy huomioida myös kamera, joka olisi saatava mahdollisimman lähelle pöydän keskustaa. Mahdollista trapetsivääristymää (keystone effect) pystyy korjaamaan projektorin säädöistä, joka kuitenkin heikentää kuvan tarkkuutta ja laatua.



Kuva 52. Kun käytetään peiliä, saadaan vääristymätön kuva jos se asetetaan 45° kulmaan, jolloin punainen projektion keskiviiva kohtaa näytön kohtisuorassa. /26/



Kuva 53. Trapetsivääristymät (Keystone). /3/

Kosketusnäytön kuvaan syntyy vaakasuuntaista trapetsivääristymää (A tai B) jos projektori ei ole kohtisuorassa peilin vaakalinjaan nähden. Pystysuuntaista trapetsivääristymää (C ja D) taas jos projektorin, peilin ja pöydän väliset pystysuuntaiset kulmat eivät ole kuvan 52. mukaisesti.

7.2.3 Kameran asettelu ja suuntaus

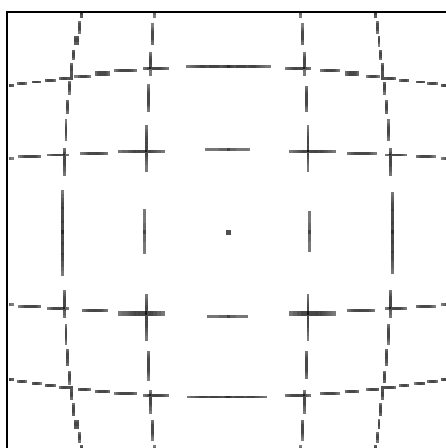
Kun kosketusnäytön kuva on saatu säädettyä halutunlaiseksi, sijoitetaan kamera sille varatulle paikalle. Jos kamera on sivussa ja sitä pitää kallistaa, syntyy kameran kuvaan trapetsivääristymää. Tätä tulee pyrkiä välttämään sijoittamalla kamera niin että sen suuntaus on mahdollisimman kohtisuoraan näyttöpintaan nähden. Vääristymää pystyy korjaamaan ohjelmallisesti CCV:ssä kameran omista asetuksista (PS Eye), mutta kosketuspisteiden jäljitys ei ole silloin yhtä tarkka kuin oikein sijoitetulla kameralla.

Seuraavaksi kamera suunnataan kuvaamaan kosketusnäytön kuvaa (ja zoomataan mikäli käytössä on zoom-linssi). Koska kamera ei näe näkyvää valoa, täytyy näytön kuvan koko merkitä kosketuspisteillä sen kulmista. Vaikka kamera kuvaa kosketusnäytön reunoja yli, niin se ei haittaa koska kosketuskohdan jäljitysohjelman (CCV) kalibroinnissa määritetään näytön kuvan kohta kameran kuvassa. Kuitenkin mitä enemmän kamera kuvaa yli, sen enemmän kameran

pikseleitä menetetään kosketusnäytön kuvasta, joka vähentää kosketuksen tunnistuksen tarkkuutta.

Kun kameran suuntaus on kohdallaan, sen kuva tarkennetaan. Tarkennus on tärkeä saada kohdalleen, että kosketuspisteet pystytään jäljittämään oikean kokoisena kameran kuvasta.

7.2.4 Tynnyrivääristymä



Kuva 54. Laajakulmalinssin aiheuttama tynnyrivääristymä. /12/

Kameran laajakulmalinssit pyöristävät kuvaa, jota kutsutaan tynnyrivääristymäksi. Mitä laajakulmaisempi (laajempi näkökenttä) linssi sitä enemmän se aiheuttaa vääristymää. Linssi on sitä laajakulmaisempi mitä pienempi on sen polttoväli (mm). Zoomilla varustetuissa linseissä polttoväliä pystyy säätämään tietyllä välillä.

Vääristymä vaikeuttaa kosketuskohdan jäljitysohjelmassa (CCV) suoritettavaa kalibrointia. Suurempi vääristymä tarkoittaa että valo joka läpäisee kaistanpäästösuodattimen, siirtyy sensorille pääsevän hyvin ohuen nm-kaistan ulkopuolelle. Tämä aiheuttaa kameran kuvassa vähemmän kirkkaita kosketuspisteitä kosketuspinnan reunoilla, mikä tekee kalibroinnin CCV:ssä vaikeammaksi (ellei mahdottomaksi todella vääristyneissä linseissä). Tämän takia vääristymän minimointi on tärkeätä että saadaan enin valo sensorille ja kirkkaat tasaiset kosketuspisteet koko kosketuspinnalle. /28/

On olemassa ohjelmia, joilla linssin vääristyneisyys selvitetään. Ohjelmalle kuvataan kameralla suoraviivaista kuviota (shakkilautaa), jonka mukaan ohjelma antaa korjausparametrit, jotka voi syöttää kameran omiin asetuksiin (**Kuva 67**). Toinen tapa korjata vääristymää ohjelmallisesti, on lisätä kalibrointipisteitä kosketuspisteiden jäljitysohjelmassa kalibroinnin aikana. Ohjelmallinen korjaaminen on kuitenkin vähemmän suositeltavaa. Suositellumpi tapa välttää tynnyrivääristymää on linssin oikea valinta ja käyttämällä tarvittaessa kahta kameraa. On olemassa myös kalliimpia laajakulmalinssejä, joissa on sisäänrakennettu vääristymän korjaus.

7.2.5 Konfigurointi ja kalibrointi CCV:ssä

Osien asettelun ja säätöjen tulos tarkastetaan lopuksi kosketuspisteiden jäljitysohjelman konfiguroinnissa (**Kpl 6.**). Konfiguroinnin yhteydessä joutuu usein palaamaan hienosäätämään osia, kuten lasertasoja tai kameran tarkennusta, ja katsoa samalla kuinka se vaikuttaa kosketuspisteiden jäljitykseen. Kameran vääristymien ohjelmallinen korjaus tulee myös tehdä konfiguroinnin yhteydessä CCV:n valikosta Camera Settings.

Kun konfigurointi on suoritettu siirrytään kalibrointiin (**Kpl 6.**). Jos jotain kalibrointipistettä ei pystytä tunnistamaan, voi konfiguroinnin säätöihin palata. Kalibrointi on syytä tehdä huolella, että kosketusnäyttö olisi tältä osin mahdollisimman tarkka.

Kalibroinnin jälkeen kamera ja projektori peileineen eivät saa liikahtaa toisiinsa nähden, muuten CCV tulkitsee kosketuksen väärässä paikassa näyttöä ja sovelluksen käyttö ei toimi oikein.

7.3 LLP:n turvallisuus

Lasersäteen kantama ilmassa on hyvin pitkä, koska se ei leviä eikä hajoa tavanomaisen valokeilan tapaan. Säteen vaarallisuus johtuu siitä, että laserilla voidaan kohdistaa suuri määrä energiaa hyvin pieneen pisteeseen. Erityisesti näkyvän valon ja lähi-infrapunasäteilyn aallonpituusalueilla toimivat laserit voivat aiheuttaa silmään pysyvän verkkokalvovaurion.

Opinnäytetyössä käytettiin LLP-tekniikkaa jonka IR-lasermoduulit tuottavat lähi-infrapunalla toimivaa laservaloa, joka on silmälle näkymätöntä. Moduuleita käyttäessä tulee ottaa turvallisuus huomioon koska IR-laserin säde on haitallista osuessaan silmään ihan kuten näkyvän valon lasereidenkin kohdalla. IR-laserit ovat kuitenkin vaarallisempia kuin saman tehoiset näkyvän valon alueella toimivat, koska silmä ei reagoi heti siihen osuvaan IR-laseriin eikä räpsähdä toisin kuin näkyvillä lasereilla. Tämän takia altistuksen voi huomata vasta myöhemmin kun päättää ja silmiä alkaa särkeä. Tämä menee yleensä muutamassa tunnissa ohi, mutta saattaa jättää pysyviä vaurioita silmän verkkokalvolle. /28/ Lasereiden

haitallisuus johtuu siitä että niiden (IR)-valon teho on suuri pienellä alueella, toisin kuin esim. ledeillä jotka heijastavat hajavaloa.

Pöydän rakennusvaiheessa käsitelimme lasermoduuleita huomioiden mihin säde menee, kun ne olivat päällä. Käytettävyyden kannalta laserit pitää olla oikein suunnattuna että ne ovat turvallisia. Säde suunnataan menemään noin millimetrin kosketuspinnan yläpuolella. Kosketuspinta reunustetaan heijastamattomalla materiaalilla joka estää säteen pääsyn pöydän ulkopuolelle. Lasermoduulit eivät saa irrota tai pyörähtää jolloin viivan muodostavan laserin säde voi suuntautua pöydän ulkopuolelle.

Suoran säteen lisäksi myös säteen heijastuksia silmiin on estettävä. Esim. kosketuspinnalle ei saa laittaa mitään kiiltäviä esineitä, joista säde voi esineen muodosta riippuen heijastua mihin tahansa. Näihin kuuluvat mm. juomalasit, peilit, avaimet yms. Heijastus voi olla hyvin heijastavasta esineestä yhtä vaarallinen kuin suora säde. Mattapintaisista esineistä ja sormesta tapahtuvat heijastukset eivät ole vaarallisia silmille, koska säde hajoaa niistä tarpeeksi.

Käyttämiimme IR-moduuleihin on kiinnitetty viivanmuodostuslinssi joka tekee pistesäteestä viivan. Viivan muodostuksessa säde hajoaa ohueksi viivaksi, joka levenee keilamaisesti linssistä. Tämän johdosta säteen intensiteetti laskee jyrkästi etäisyyden kasvaessa linssistä. Tämä vaikuttaa laserluokitukseen esim. 780nm 10mw - IR-laserin kohdalla että laserluokka on 3B ja viivanmuodostuslinssin kanssa 3R.

Kun pöytä pidetään ehjänä ja laserit pysyvät oikein suunnattuna sekä vältetään katsomasta suoraan säteeseen ja synnyttämästä haitallisia heijastuksia, kosketusnäyttöpöytää on turvallista käyttää. Kuitenkin tarkemman tiedon puuttuessa, tiettyä varovaisuutta kannattaa mielestäni noudattaa. Vasta kun on tarkkaa tietoa (kuinka haitallisia pöydässä olevan teholuokan laserit viivalinssin kanssa ja ilman ovat silmille), voi turvallisuusasioihin suhtautua eri tavalla. Infrapuna-aallonpituuksien lasersäteeltä suojaavia suojalaseja on myös saatavilla.

7.4 LLP:n kokeilu protopöydässä

Kokoonpanon osat:

- Akryylilevy 900x500x8 mm (Levyyn laminoitiin hiekkapuhalluskalvo, joka toimii projektointikalvona)
- 650 nm punainen näkyvän valon lasermoduuli 4 kpl
- 25 mw 780 nm IR-lasermoduuli 4 kpl
- Viivanmuodostuslinssi (89°) jokaiseen moduuliin
- Logitech C160 web-kamera (muokattu myöhemmin IR-kameraksi)
- Reddo VideoProjector USB-minivideotykki
- Peili 300 x 200 mm
- PC (Windows 7, CCV, käyttösovellukset)

Ensimmäisenä kokeiltiin LLP-tekniikka, johon sain työnantajalta akryylilevyn ja web-kameran. Rakensin nelipaikkaisen jännitelähteen lasermoduuleille, jossa oli jokaiselle liittimelle oma kytkin testauksen helpottamiseksi. Lasermoduulit 650 nm linssineen hankittiin Vaasan elektroniikkakeskuksesta (**Kuva 55.**). Näkyvän valon lasereiden (650 nm) kokeilemisen ansiosta nähtiin viivanmuodostuslinssin toimintaperiaate. Kun lasereilla osoitti jotain pintaa, siihen muodostui säteestä punainen viiva ja linssiä pyörittämällä viivan pystyi tarkentamaan.

Kun moduuleita aseteltiin kosketuspintana toimivan akryylin nurkkiin, saatiin jo tuntumaa laserin suuntauksesta ja kuinka säde pitää saada kulkemaan pintaan nähden. Kun säde oli suunnattu, kosketuspintaa koskettaessa säteen valo hajosi ja kosketuskohta näkyi punaisena. Kamera liitettiin tietokoneeseen ja suunnattiin kuvaamaan kosketuspintaa. Tällöin Logitech C160 web-kamera (**Kpl 5.3.1**) ei ollut vielä muokattu IR-kameraksi, vaan se näki koko näkyvän valon alueen (400 – 700 nm), punainen mukaanlukien.



Kuva 55. Näkyvän valon lasermoduuli 650 nm. /34/

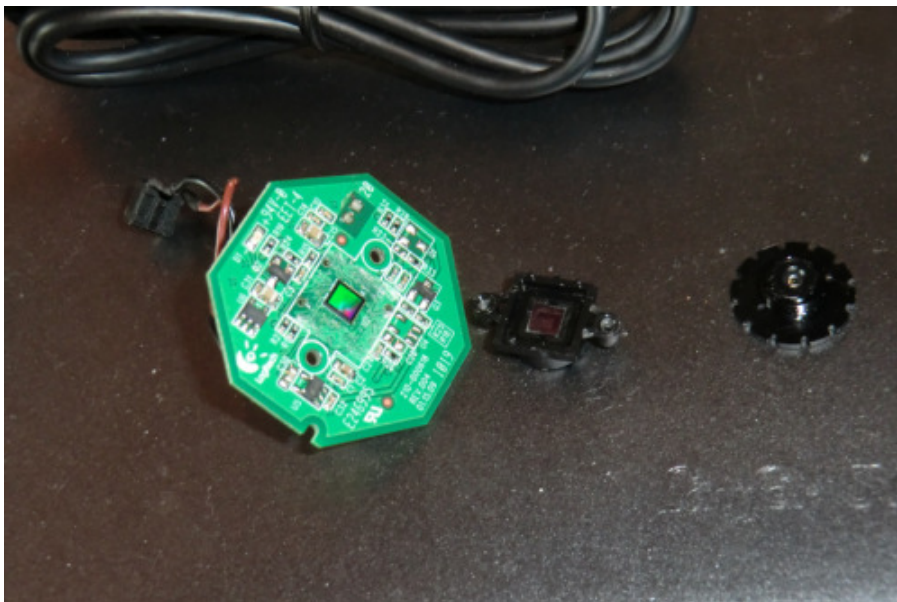
Koska kosketuksen tunnistus toimi näkyvällä valolla, ympäristön valaistus häiritse sen verran, että CCV tunnistaa kosketuspisteet hyvin vain hämärässä. Tässä vaiheessa kosketuspintaan ei vielä heijastettu kuvaa projektorilla. Kun tehdään kosketusnäyttö johon heijastetaan kuva ja jonka pitää toimia myös valoisassa ympäristössä, tarvitaan IR-lasereita ja IR-kamera.



Kuva 56. IR-lasermoduuli 780 nm 25 mW. /1/

Uutta kokeilua varten hankittiin 780 nm IR-lasermoduulit (**Kuva 56.**). IR-lasermoduuleitten optiset ominaisuudet ovat samoja kuin näkyvän valon lasereiden, mutta niiden säde toimii eri aallonpituudella.

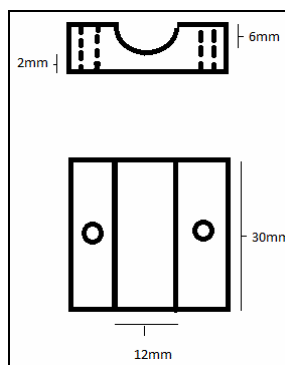
Käyttämämme Logitech C160 – web-kamera muokattiin IR-kameraksi. Se tehtiin poistamalla siitä IR-suodatin linssin ja sensorin välissä sijaitsevasta linssin alustasta, suodattimen sai poistettua vain rikkomalla (**Kuva 57.**). Tilalle lisättiin kaksi kerrosta valotettua filmiä, joka toimii näkyvän valon suodattimena.



Kuva 57. Logitech C160 – kameran sensori näkyy piirilevyn keskellä. Keskellä kuvaa linssin alusta, jossa vielä punaisena näkyvä IR-suodatin. Suodatin piti poistaa alustasta ja laittaa sen tilalle valotettua filmiä. Kuvan oikeassa laidassa näkyy linssi. /6/

Muokkauksen jälkeen kamera pystyi näkemään IR-lasereiden säteilemän infrapunaa ja kosketuspisteiden tunnistus onnistui. Nyt kosketusnäyttö toimi jo huoneen loisteputkivalaistuksessa, eikä pelkästään hämärässä. Ympäristön valon muutoksista johtuen tunnistus ei kuitenkaan aina onnistunut. Tähän vaikutti muu valaistus sisätiloissa ja ikkunasta tulevan päivänvalon muutokset. Kosketusnäytön huono toimivuus ympäristön valossa ja sen vaihteluissa johtui osittain CCV:n säätöjen heikosta tuntemuksesta.

Huomattiin että moduulien säde pitää suunnata kulkemaan tarkasti vaakatasossa ja lähellä kosketuspintaa, että kosketus tunnistetaan oikein ja tasaisesti koko kosketuspinnan alueella. Moduuleille koneistettiin kiinteät alustat, joiden korkeutta ja kallistusta pystyi säätämään vain aluslevyillä (**Kuva 58.**). Tästä johtuen tarkka suuntaus oli hankalaa.



Kuva 58. Piirustus koneistetun lasermoduulin alustasta.

Koska käytössä ei ollut lähiheijastus projektorina, jouduttiin tavallisen projektorin kuva taittamaan peilin kautta tilan säästämiseksi. Näitä projektorin, peilin ja näytön välisiä etäisyyksiä ja kulmia haettiin tässä vaiheessa, että kuva heijastuisi oikean kokoisena. Myös kameraa yritettiin saada sijoitettua mahdollisimman keskelle pöydän alle. Koska projektorille, peilille ja kameralle ei ollut suunniteltu ja tehty kunnollisia telineitä, niitä oli vaikea saada pysymään oikein suunnattuna ja paikoillaan. Projektorina käytettiin tässä vaiheessa Reddo VideoProjector – minivideotykkiä (**Kuva 59.**).



Kuva 59. Reddo VideoProjector. /2/

Tässä pöydän kokoonpanossa havaittiin seuraavia puutteita.

- Ympäristön häiriövalon siedon parantamiseksi tulisi hankkia 780 nm moduuleiden tilalle 850 nm mallit.
- Samalla tulisi siirtyä kaistanpäästösuodattimen käyttöön kamerassa, näkyvän valon suodattimen sijasta.
- Kameran kuvataajuus on varsinkin isommalla resoluutiolla liian alhainen.
- Kamerassa liian pieni näkökenttä, jolloin sen kuvaama alue kosketusnäyttöpöydän kosketusalueesta jäi liian pieneksi. Näin vain kameran kuvaamaa aluetta pystyttiin hyödyntämään kosketusnäyttönä.
- Projektorissa 4:3 kuvasuhde kun pöydässä 16:9 kuvasuhde, jolloin pöydän näyttöä ei pystytä kokonaan hyödyntämään.
- Sumea ja epätarkka kuvanlaatu joka johtui hiekkapuhalluskalvosta.

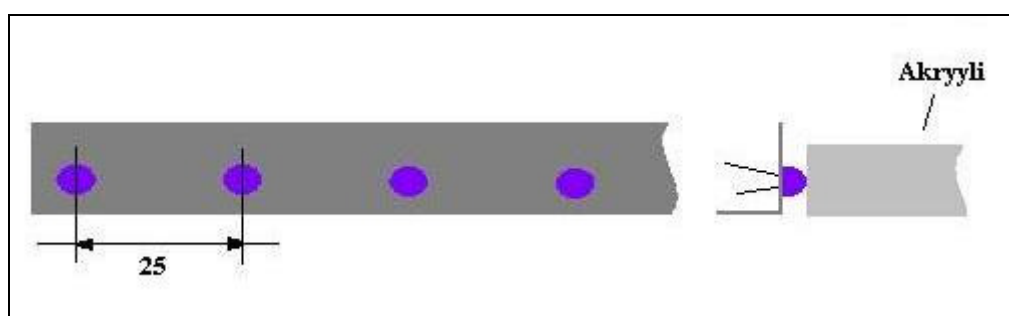
Parempien osien testauksesta ja lopullisen protopöydän valmistumisesta (**Kpl 7.6**)

7.5 FTIR:n kokeilu protopöydässä

Kokoonpanon osat:

- akryylilevy 900 x 500 x 8 mm (Levyyn laminoitu hiekkapuhalluskalvo, joka toimii projektointikalvona).
- ohuesta teräspellistä taitettu led-kehys 250 mm 2 kpl.
- 880 nm OSRAM SFH485P IR-LED:jä (Säteilykulma $\pm 40^\circ$)
- vakiovirtamuuntaja
- Logitech C160 web-kamera (muokattu IR-kameraksi)
- PC (Windows 7, CCV, käyttösovellukset).

FTIR- tekniikan kokeilussa käytettiin samaa kokoonpanoa kun LLP-tekniikassa, vain IR-lähde ja sitä syöttävä virtalähde poikkesi siitä. IR-LED:ille tehtiin kaksi ohuesta teräspellistä 90° kulmaan taitettua kehystä. Niihin porattiin reikiä 25 mm välein, johon ledit asennettiin (**Kuva 60.**). Kehyksien yhteispituus oli 500 mm, joten niitä pystyi kokeilemaan akryylin nurkkaan tai lyhyeen sivuun. Akryylinä oli 8 mm paksu levy, jota suositellaan vähimmäispaksuudeksi FTIR:lle. Levyn sivut piti hioa ja kiillottaa, että ledien valo pääsisi heijastumaan akryylin sisälle. Led-sarjoihin syötettiin haluttu virta vakiovirtamuuntajalla, jolla vältettiin virtaa rajoittavan resistanssin laskenta ja vastusten käyttö jännitelähteen kanssa.



Kuva 60. Led-kehys edestä ja sivulta. Ledien valo johdetaan akryyliin sivusta.

Tätä tekniikkaa ei saatu toimimaan vaan CCV tunnisti käden jo kun se oli reilusti kosketuspinnan yläpuolella. Ledien virtaa tarpeeksi vähentämällä tämä poistui, mutta sitten CCV ei tunnistanut kosketuspinnassa ollenkaan kosketusta, eikä FTIR-efektiä syntynyt. CCV:n säätöjen muuttaminen ei myöskään auttanut asiaan.

Mahdollisia syitä FTIR-efektin puuttumiseen saattavat olla seuraavia. Akryylin sivut hiottiin hieman pyöreiksi, kun akryylin reunat pitäisi olla suorat. Koska ledit oli heikosti kiinnitetty (sinitarralla) ja kehys saattoi olla epätarkka ja liian taipuisasta materiaalista tehty, niin ledien suuntaus ei ollut välttämättä täysin oikea. Ledit pitää keskittää akryylin sivuun mahdollisimman hyvin ja kulma pitää olla oikea akryyliin nähden. Käden tunnistus kosketuspinnan yläpuolella saattoi johtua esim. akryylin kulman yli menevästä ledien säteestä. Näiden muuttujien vaikutusta pystyy vertailemaan <http://tools.nuigroup.com/FTIR/> - sivulta löytyvällä ohjelmalla. Ledien tihentäminen ja/tai lisääminen useammalle sivulle olisi myös saattanut parantaa toimintaa.

FTIR:n efektin puuttumisen syytä ei tarkemmin tutkittu, vaan päätettiin palata kehittämään pöytää LLP-tekniikalla.

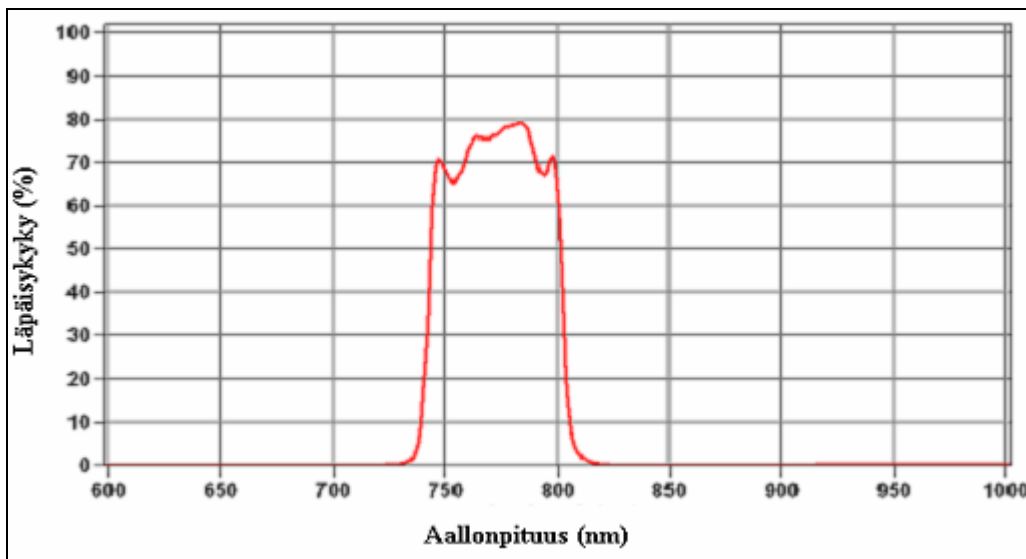
7.6 LLP:n toinen versio paremmilla osilla

Kokoonpanon osat:

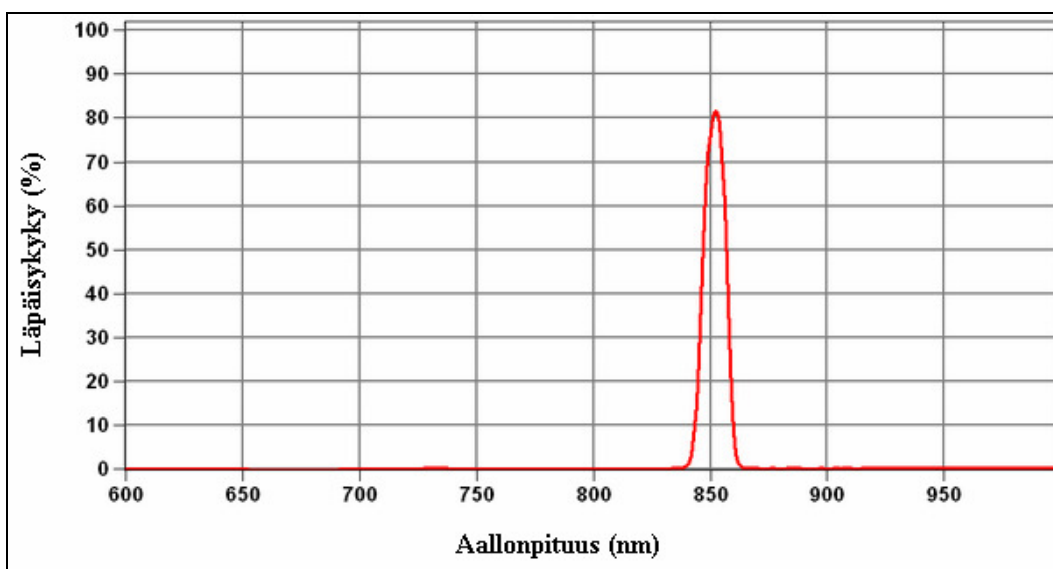
- näyttökryyli 900 x 500 x 4 mm (Projektointikalvo valmiina)
- 10 mw 850 nm IR-lasermoduuleja 4 kpl
- Viivanmuodostuslinssi (89°) jokaiseen moduuliin
- PS Eye muokattu IR-kameraksi 850 nm kaistanpäästösuodattimella.
- kameraan lisätty zoomilla varustettu Vari-focal 2.6-6 mm linssi
- projektori Epson EMP – 1825
- peili 600 x 400 mm
- PC (Windows 7, CI Eye Platform – ajuri, CCV, käyttösovellukset)

Edellisen LLP-kokeilun yhteydessä saatiin kerättyä tietoa pöydän toiminnasta ja minkälaisella kokoonpanolla pöydän toimintaa voisi parantaa. Pöytään vaihdettiin näyttökryyli jossa on valmiiksi asennettu projektointikalvo. Siinä on paremmat kuvantoisto-ominaisuudet kuin edellisessä hiekkapuhalluskalvolla varustetussa akryylissä. Ongelmana oli aiemmalla LLP-kokoonpanolla mm. ympäristön valo, johon haimme parannusta.

Infrapunaan perustuvat kokoonpanot toimivat parhaiten 850 nm aallonpituudella, koska näkyvä valo häiritsee niitä vähemmän. Tämän takia ne voi olla pienempitehoisia kuin 780 nm laserit, koska nämä ovat alttiimpia näkyvälle valolle. Lisäksi PS Eye kameraan (**Kpl 5.3.2**) saatava 850 nm kaistanpäästösuodatin suodattaa paremmin (kapeammalla kaistalla) ulkopuolisia aallonpituuksia. Kaistanpäästösuodatin pitää olla samaa aallonpituutta kuin IR-lähde. /28/



Kuva 61. 780nm kaistanpäästösuodattimen läpäisyominaisuudet. /28/



Kuva 62. 850nm kaistanpäästösuodattimen läpäisyominaisuudet. /28/

PS Eye – kameraan hankittiin myös 780 nm kaistanpäästösuodatin, joka toimisi edellisessä LLP-kokeilussa käytettyjen 780 nm lasereiden kanssa. Mutta koska 850 nm on kauempana näkyvästä valosta ja suodattimen läpäisykaista on kapeampi, päätettiin käyttää 850 nm lasermoduuli/kaistanpäästösuodatin-yhdistelmää (Vrt. Kuva 61. ja Kuva 62.).

PS Eyessä on myös muita parannuksia Logitechin kameraan verrattuna. Siinä on nopeampi kuvataajuus (fps) vastaavilla resoluutioilla. Lisäksi kameraan asennetun Vari-focal linssin ansiosta näkökentän saa leveämmäksi, jolloin saadaan kosketuspinta kokonaan kuvattua. **(Kpl 5.3.2).**

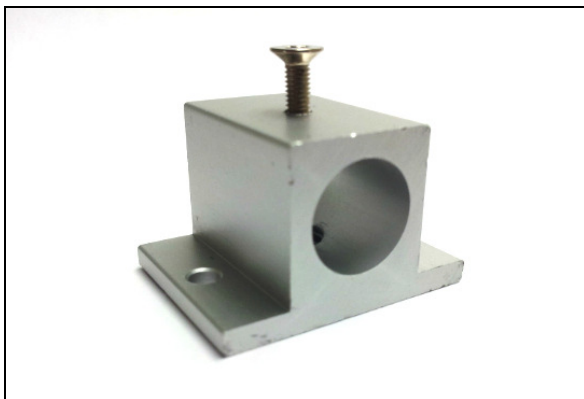
Projektoriksi vaihdettiin 16:9 kuvasuhteen mahdollistava Epson EMP-1825 **(Kpl 5.4.2)** ja samalla peili vaihdettiin suuremmaksi. Näillä kosketusnäytön kuva saatiin tarpeeksi suureksi, nyt kun kamerakin pystyy kuvaamaan koko kosketuspintaa. Myös projektorin tuottama kuvan tarkkuus ja kuvanlaatu paranivat.

Pöydän osien asettelu

Lasersäteiden pääsy pöydän ulkopuolelle estettiin, asentamalla johtokourua kosketuspintana toimivan akryylin ympärille. Kouruun työstettiin tarvittava tila moduuleille joka toimii niiden suojana. Samalla johdotukset saatiin menemään siististi kourussa. Kourun sisäreunan alaosa teipattiin mustalla matalla sähköteipillä lasersäteen hajaheijastumisen estämiseksi.

Lasermoduulien säde tarkennettiin n. 1m. etäisyydeltä seinästä. Kamera jolla tarkennusta seurattiin, oli asetettu korkeimmalle resoluutiolle.

Hankimme kiinteät lasermoduulien alustat, joihin sai moduulin hyvin kiinnitettyä **(Kuva 63.)**. Hankaluutena pöydässä on lasertason saaminen tarkasti vaakatasoon lähelle kosketuspintaa. Kiinteillä lasermoduulien alustoilla on vaikea saada tasoa aivan optimaaliseksi. Tämä vaatisi lasermoduulien kiinnitysalustoja, joiden korkeutta ja kallistusta pystyy säätämään. Säädot pitäisi pystyä myös lukitsemaan. Internetissä löytyi toteutuksia joissa alustojen säädöt oli tehty ruuveilla.



Kuva 63. Kiinteä lasermoduulin alusta. /28/

Akryylin pinnan on myös oltava tasainen ja suora, että lasertaso saadaan kosketuspintaan optimaaliseksi. Pöydän kantta suoristettiin asentamalla metalliset neliöpalkit pitkittäin alapuolelle. Nyt käytössä oleva 4 mm akryyli on liian ohut, joka painui keskeltä ja jousti kosketettaessa. Tämän takia lasertaso on kauempana pinnasta keskellä. Tätä korjattiin asentamalla 5 mm lasilevy akryylin alapuolelle tueksi. Lasin lisäämisen jälkeen projektorin heijastama valo aiheutti IR-valopisteen näytölle, joka liikkui kameran mukana. Tämä häiritsi, koska CCV tulkitsee sen kosketuspisteenä. Pelkkä paksumpi akryyli tai lasi kosketuspintana poistaisi ongelman.

Peilille rakennettiin alusta, jossa sen kulmaa pystyi muuttamaan portaittain välillä $37,5^\circ$ - 45° . PS Eye -kamera sijoitettiin peilin etupuolelle, näin se saatiin mahdollisimman keskellä pöytää. Projektorin ja peiliä alustoinen piti samalla korottaa jotta projektorin säde ei osu kameraan. Tällöin kuva hieman pieneni jonka pystyi palauttamaan viemällä projektorin kauemmas peilistä. PS Eye zoomattiin ja tarkennettiin manuaalisesti siinä olevilla vivuilla suuntausta tehdessä.



Kuva 64. Lopullinen versio protopöydästä LLP-tekniikalla. Kuvasta poiketen PS Eye - kamera saatiin aseteltua kesemmälle peilin eteen kun peilin alustaa työstettiin pois. Tämän ansiosta kameran kuvassa ei synny trapetsivääristymää. Projektoria ja peiliä piti korottaa ettei projektorin säde osu kameraan.

Konfigurointi ja kalibrointi CCV:ssä

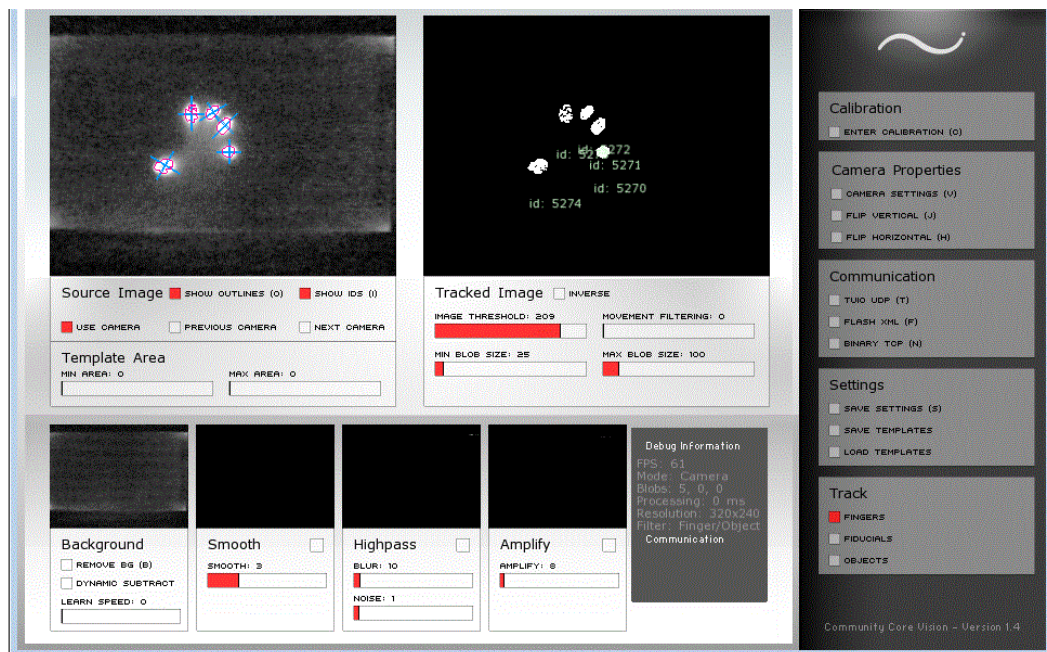
Kun kosketusnäytön lasermoduulit, kuva ja kamera on asetettu, aloitetaan kosketuspisteiden jäljitysohjelman konfigurointi. Ensin täytyy määrittää CCV:n käyttämiä asetuksia sen config.xml- tiedostossa. Haluttu kameran resoluutio tulee kohtaan WIDTH ja HEIGHT sekä kuvataajuus kohtaan FRAMERATE. CCV pyrkii käyttämään kameraa näillä arvoilla ja asettaa ne lähimpään mahdolliseen, mikäli kameran ominaisuudet eivät ole riittävät. Voi olla myös, että CCV pitää laittaa mini-modelle välilyöntinäppäimellä, että haluttu kuvataajuus saadaan käyttöön. TUIO-protokollan ja Flashin lähetukseen käytetyt portit ovat määritetty kohdassa NETWORK. Jos Konfiguroinnissa käytetään kameralla kuvattua video-tiedostoa sen sijainti ja nimi määritetään kohtaan VIDEO. Maksimi kosketuspisteiden tunnistus kohtaan <BLOBS><MAXNUMBER> (**Kuva 65.**).

```

<?xml version="1.0" ?>
- <CONFIG>
  <!-- ////////////////////////////////////////
          YOU CAN MANUALLY EDIT THE FEATURES BELOW
          //////////////////////////////////////// -->
  <!-- // CAMERA SETTINGS // -->
- <CAMERA_0>
  <USECAMERA>1</USECAMERA>
  <DEVICE>1</DEVICE>
  <WIDTH>640</WIDTH>
  <HEIGHT>480</HEIGHT>
  <FRAMERATE>60</FRAMERATE>
</CAMERA_0>
  <!-- // NETWORK COMMUNICATION SETTINGS // -->
- <NETWORK>
  <LOCALHOST>127.0.0.1</LOCALHOST>
  <TUIO>0</TUIO>
  <TUIOPORT_OUT>3333</TUIOPORT_OUT>
  <TUIOFLASHPORT_OUT>3000</TUIOFLASHPORT_OUT>
</NETWORK>
  <!-- // VIDEO SETTINGS // -->
- <VIDEO>
  <FILENAME>test_videos/LLP.avi</FILENAME>
</VIDEO>
  <!-- // BLOB SETTINGS // -->
- <BLOBS>
  <MAXNUMBER>20</MAXNUMBER>
</BLOBS>

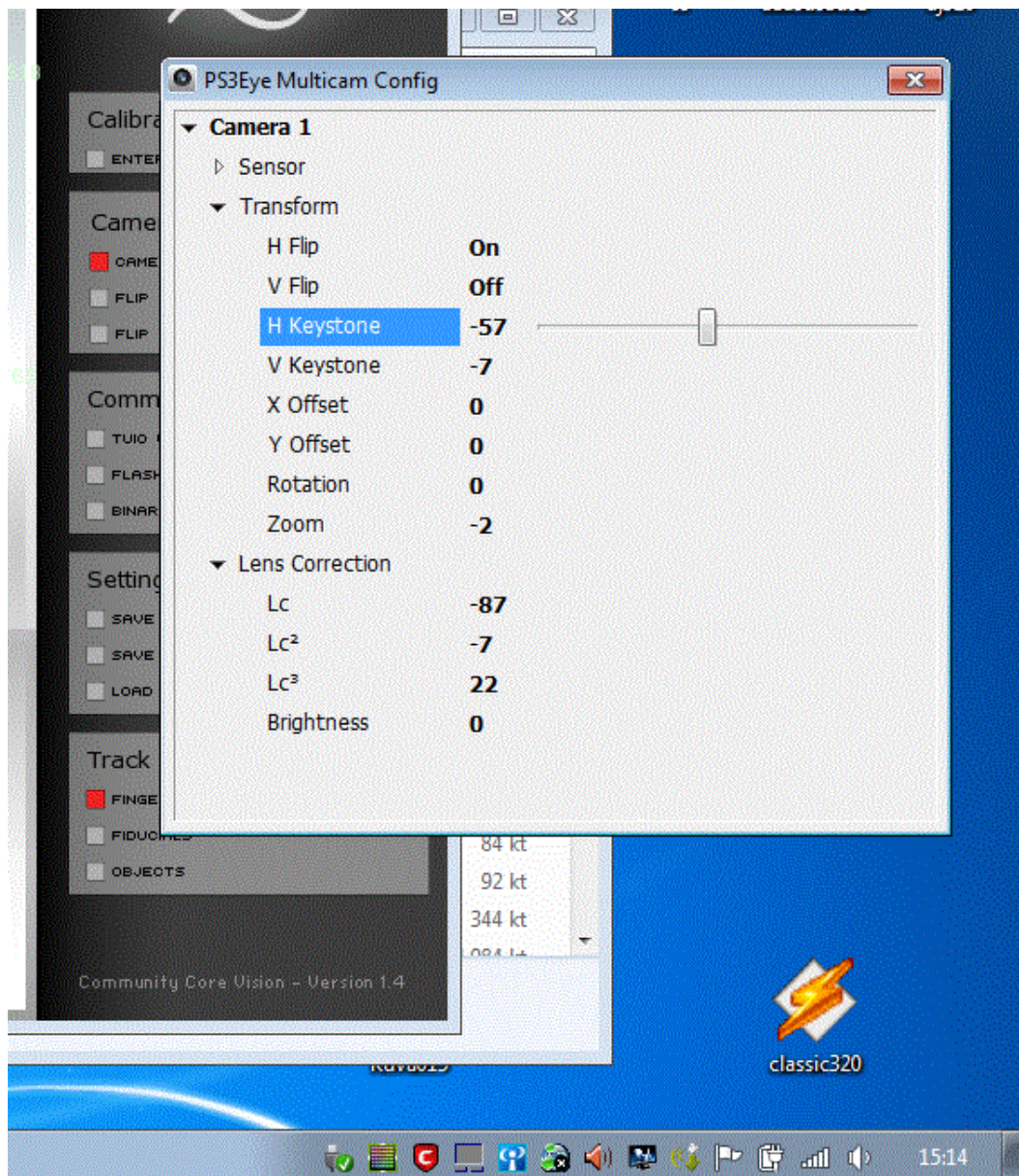
```

Kuva 65. CCV:n config.xml – tiedostoa.



Kuva 66. CCV:n konfigurointia protopöydässä.

Kosketusnäyttö konfiguroidaan CCV:n konfigurointi-ikkunassa, josta ohjeet kappaleessa 6. Image treshold- liukusäädin joka säätää kuinka herkästi valoa jäljitetään sekä Background remove, joka muistaa vallitsevan taustan ja sen valon, ovat tärkeitä konfiguroitaessa pöytää toimimaan eri valo-olosuhteissa. Smooth-suodatinta käytetään että jäljitetyistä kosketuspisteistä saadaan sileäreunaisia (Kuva 66.).



Kuva 67. PS Eyen kamerakohtaiset säädöt CCV:ssä.

Kameran omia säätöjä voi joutua myös käyttämään mm. vääristymien korjaus, joka avautuu CCV:n oikeasta laidasta Camera Settings. Kamerakohtaisissa säädöissä löytyy trapetsi vääristymien korjaus (H Keystone ja V Keystone). Linssin tynnyrivääristymän kolme korjausparametria ovat LC, LC² ja LC³ (**Kuva 67.**).

Konfiguroinnin jälkeen suoritetaan kalibrointi, josta tarkemmin kappaleessa 6. Lopuksi valitaan CCV:stä mitä protokollaa halutaan lähettää ja avataan haluttu käyttösovellus.

Käyttökokemukset

Tämän jälkeen kosketusnäyttöpöytää aloitettiin testaamaan. Flash demoja ajettiin internet-selaimessa, jossa Flash player-liitännäinen ja erillisessä Flash playerissä. Kosketuksen tunnistuksessa oli skaalausongelmia, joka korjautui kun laittoi Flash Playerin kokonäyttötilaan.

Koska lasertaso ei saatu riittävän tarkasti lähelle kosketuspintaa, se häiritsi kosketusnäytön tarkkuutta. Kosketuspiste tunnistetaan tällöin liian korkealta, jolloin kosketuspinnassa tapahtuva kosketus tunnistetaan sormen asennosta riippuen helposti väärän kokoisena ja väärässä paikassa. Esim. TUIO-Hiiren cursorin käyttö oli vähän sivussa eikä vastannut sormen keskikohtaa. Myös jossain Flash-sovelluksissa tämän pystyy huomaamaan, koska kosketuskohta näytetään niissä valkoisena renkaana. Kun sormi kosketti kosketuspintaa pystysuorassa, tarkkuus oli hyvä.

Muita tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat lasermoduulien tarkennus eli lasertason paksuus. Kameran vääristymät joita korjasimme ohjelmallisesti sekä kameran tarkennuksen onnistuminen vaikuttavat myös. Kameran resoluutio kannattaa myös olla suurimmalla.

Valonsieto-ominaisuudet paranivat tällä lasermoduuli-kamerayhdistelmällä. Myös CCV säätöjen paremmalla osaamisella oli suuri vaikutus. Loisteputkista tuleva IR-valo häiritsi huomattavasti vähemmän kuin ikkunasta tai hehkulampuista tuleva IR-valo. Viimeksi mainitut tuottivat usein niin paljon IR-valoa kosketuspintaan, että IR-lasereiden valaisemia kosketuspisteitä ei saatu CCV:n konfiguroinnilla jäljitettyä. Valon tyypin lisäksi sen teho, sijainti ja etäisyys pöydästä vaikuttavat häiriön määrään. Näiden vaikutusta pöydän toimintaan ei tutkittu tarkemmin, kuin että epäsuora ja kauempana oleva valo häiritsi vähemmän.

Projektorin heijastaman kuvan kirkkautta alennettiin, koska se häikäisi silmiä. Peili tulisi olla ns. pintapeili normaalipeilin sijaan. Normaalisissa peilissä heijastuspinta on lasin takana ja siitä seuraa haamukuva näytölle, pintapeilissä tätä ei tapahdu, koska heijastus tapahtuu heti pinnassa.

Pöydän ergonomiassa olisi parannettavaa, sillä pitempään käytettäessä selkä väsyi. Pöydässä saisi olla korkeudensäätö ja kosketuspinta tulisi olla lähempänä pöydän reunaa käyttäjän puolella.

7.7 Kehittyneemmän pöydän rungon suunnittelu

Jukka Välikangas suunnitteli ja mallinsi pöydän rungon LLP:tä varten, joka on kehittyneempi kuin protopöydän runko. Siinä pöydän kannen (kosketusnäytön) kallistusta ja korkeutta pystyy säätämään. Projektori, peili ja kamera ovat kiinnitettyinä kannessa olevissa rakenteissa, joten ne pysyvät kallistuksen ja korkeuden säätöjä tehdessä samassa suhteessa kosketuspintaan nähden. Runkoa ei kuitenkaan toteutettu, koska mallin valmistumisen aikaan kosketustekniikan toimivuudessa oli vielä kehitettävää. Lisäksi rungon hinta tuli korkeaksi.

Jos runkoa halutaan käyttää tai kehittää niin on tärkeää saada kosketustekniikkaan liittyvät osat pysymään suunnattuina pöydässä. Protopöydässä huomattiin että LLP-tekniikassa lasertason saaminen kohdalleen vaatii tarkkuutta joten tässäkin rungossa olisi hyvä olla säädettävät moduulien alustat. Pöydän levyn ja siinä olevan akryylin tai lasin pinta pitää olla suora ja tasainen, eikä ne saa vääntyä.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakentamamme suurella kosketusnäytöllä varustetun pöydän, joka toimii tyydyttävästi, pystyy rakentamaan melko edullisesti. Komponenttien oikealla valinnalla sekä niiden huolellisella asettelulla ja säädöillä oli suuri merkitys toimivuuteen. Rakentamamme LLP-protopöydän kosketusnäytön tarkkuus riitti hyvin vähemmän tarkkuutta vaativissa sovelluksissa. Tarkkuus saisi olla kuitenkin parempi tarkempia sovelluksia varten. Lisäksi käyttömukavuus on sitä parempi mitä lähempänä kosketuspintaa tunnistus tapahtuu. Nämä korjaantuisi lasertason optimoinnilla, joka helpottuisi lasermoduulien säädettävillä alustoilla. Pöydän kannen ja kosketuspinnan tasaisuuden sekä moduulien säteen kohdistuksen on myös oltava kohdallaan.

LLP-protopöydän käyttöä rajoitti ympäristön valo. Se saatiin kuitenkin toimimaan tietyissä valo-olosuhteissa esim. loisteputkivalaistuksessa ja hehkulamppujen epäsuorassa valossa. Kuitenkin hehkulamppujen suora valo ja päivänvalo tekivät siitä helposti toimimattoman. Jäi mietityttämään, voisiko sietoa jotenkin vielä parantaa. Pöytään valitut osat pitäisi ainakin olla tältä osin parhaimmista mitä peauproductions.com -verkkokaupasta oli saatavilla. Kaupallisissa kosketusnäytöissä käytetään pulssitusta IR-lähteen syötössä, myös kamera on tahdistettu sen mukaan. Internetistä löytyvässä dokumentissa /7/ kerrottiin tästä. Myös nuigroup.comin harrastajafoorumeilla käytiin keskustelua että PS Eye –kameralla voisi luoda pulssin. Pulssituksen käyttö pitäisi parantaa toimivuutta valoisissa tiloissa. FTIR:ssä sietoa voi kasvattaa pulssituksella, mutta siitä ei löytynyt tietoa voiko sitä käyttää LLP:ssä. Harrastelijoiden mukaan näitä optisia kosketusnäyttöjä ei voi kuitenkaan saada täysin immuuniksi valolle kuten suoralle auringon paisteelle.

Tässä työssä protopöytää ei saatu toimimaan FTIR-tekniikalla, mutta siinä olisi ollut tarkka kosketuksen tunnistus valmiiksi, koska kosketus tunnistetaan vasta kosketuspinnan kosketuksesta. LLP:ssä tunnistus tapahtuu lasertasosta, jolloin kosketuksen tarkkuuteen vaikuttaa kuinka tarkasti lasertaso saadaan säädettyä kosketuspinnan yläpuolelle. LLP ja FTIR ovat ympäristön valon siedon kannalta

parhaimmat harrastelijoiden käyttämistä menetelmistä, koska kummassakin on hyvä kontrasti.

Projektorin, peilin ja kameran kiinteää asennusta protopöytään ei tehty. Tämän takia ne joutui asettelemaan ja suuntaamaan uudelleen kun pöytää siirrettiin. Hankaluutena on saada niitä kaikkia aseteltua ideaaleille paikoille pöydän alle, niin että projektori ja peili muodostaisivat tarpeeksi suuren kuvan, eivätkä olisi silloin kameran tiellä ja päinvastoin. Tästä syystä projektori jouduttiin sijoittamaan hieman pöydän ulkopuolelle.

Itse rakennettu LLP-pöytä sopii, siinä muodossa kuin se saatiin tehtyä, harrastelijakäyttöön ja yksityiskäyttöön. Pöytää käyttävän tulisi olla tietoinen että kyseessä on laserlaite. Tuotteistettaessa ja yleisessä käytössä sille voidaan vaatia esim. laserluokitusta tai suojalasien käyttöä. Myöskään kaikille käyttäjäryhmille se ei välttämättä sovellu, kuten lapsille ilman valvontaa.

Tämän työn aikana opin paljon kosketustekniikoista ja optiikasta. Työn tuloksena saatiin hyvin tietoa siitä kuinka kosketusnäyttöjä toteutetaan. Opinnäytetyön tavoite tuli saavutettua ja rakennetun protopöydän valmistumiseen voi olla tyytyväinen

LÄHTEET

- /1/ Aixiz LLC. Viitattu 19.12.2012. <http://www.aixiz.com>
- /2/ blobber.fi. Reddo VideoProjector. Viitattu 19.12.2012. <http://www.blobber.fi/Reddo-VideoProjector>
- /3/ Casio International. 2012. XJ-560/XJ-460. Viitattu 19.12.2012. http://www.casio-intl.com/asia-mea/en/projector/pastmodels/xj_560_460/
- /4/ NUI Group Community. Community Core Vision. Viitattu 19.12.2012. <http://www.ccv.nuigroup.com/>
- /5/ DesDevWeb. 2011. 30 New and Free of Cost Icon Sets for Programmers. Viitattu 4.12.2012. <http://desdevweb.com/goodies/icons/30-free-cost-icon-sets-programmers/>
- /6/ dev//tec blog. 2011. Umbau einer Logitech C160 in eine infrarotkamera Viitattu 19.12.2012. <http://www.dev-tec.de/2011/02/07/umbau-einer-logitech-c160-in-eine-infrarotkamera/>
- /7/ Schöning, J., Brandl, P., Daiber, F., Echtler, F., Hilliges, O., Hook, J., Löchtefeld, M., Motamedi, N., Muller, L., Olivier, P., Roth, T. & von Zadow, U. 2008. Multi-Touch Surfaces: A Technical Guide. Viitattu 19.12.2012. http://www.dfki.de/~jschoen/website/Publications_files/TUM-I0833.pdf
- /8/ DMC Co.,Ltd. 2004-2011. Touch Screen Museum, Technologies of Touch Screen. Viitattu 19.12.2012. <http://www.dmccoltd.com/english/museum/touchscreens/technologies/>
- /9/ Pushek Madaan and Priuadeep Kaur, Cypress Semiconductor. 2012. An introduction to Capacitive Sensing – Part 1. Viitattu 19.12.2012. <http://www.eetimes.com/design/industrial-control/4371081/An-introduction-to-Capacitive-Sensing-Part-I>
- /10/ EIZO NANAOCORPORATION. 2010. How can a screen sense touch? A basic understanding of touch panels. Viitattu 19.12.2012. http://www.eizo.com/global/library/basics/basic_understanding_of_touch_panel/
- /11/ Elo Touch Solutions, Inc. IntelliTouch Plus Surface Acoustic Wave Multi-touch Touch Technology. Viitattu 19.12.2012. <http://www.elotouch.com/Technologies/IntelliTouch/Plus/default.asp>
- /12/ Distortion (optics). Wikipedia. Viitattu 19.12.2012. [http://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_\(optics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_(optics))
- /13/ Multitouch. Wikipedia. Viitattu 19.12.2012. <http://en.wikipedia.org/wiki/Multitouch>

- /14/ Microsoft PixelSense. Wikipedia. Viitattu 19.12.2012.
http://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_PixelSense
- /15/ Touchscreen. Wikipedia. Viitattu 19.12.2012.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Touchscreen>
- /16/ Chris Roper. 2007. PlayStation Eye Hands-on. Viitattu 19.12.2012.
<http://www.ign.com/articles/2007/09/25/playstation-eye-hands-on>
- /17/ Gary Barret, Ryomei Omote. 2010, 3. Projected Capacitive Touch Technology. Viitattu 19.12.2012.
<http://www.informationdisplay.org/issues/2010/03/art6/art6.pdf>
- /18/ Interaction Design. 14.4.2008. Microsoft Surface. Viitattu 19.12.2012. <http://www.interactiondesignblog.com/2008/04/microsoft-surface/>
- /19/ KKREDDYS. 2012. How resistive Touch Screen Works??. Viitattu 19.12.2012. <http://kkreddys.blogspot.fi/2012/10/how-resistive-touch-screen-works.html>
- /20/ Logitech. 2012. Viitattu 19.12.2012. <http://www.logitech.com>
- /21/ Microsoft. 2012. The Power of PixelSense. Viitattu 19.12.2012.
<http://www.microsoft.com/en-us/pixelsense/pixelsense.aspx>
- /22/ Gennadi Blindmann. 2012. Knowledge Base Multitouch Technologies. Viitattu 19.12.2012. <http://www.multi-touch-solution.com/en/knowledge-base-en/>
- /23/ Espen Solberg Nygård. 2010. Multi-touch Interaction with Gesture Recognition. Viitattu 19.12.2012. <http://ntnu.diva-portal.org/smash/get/diva2:347990/FULLTEXT01>
- /24/ Natural User Interface Group. Viitattu 17.10.2012.
<http://www.nuigroup.com>
- /25/ AJ Lovegrove. Aligning Lasers For LLP.pdf. Viitattu 19.12.2012.
http://nuigroup.com/?ACT=28&fid=35&aid=3736_aD8iNweHVe3yvX8qNmCN
- /26/ Natural User Interface Group. Viitattu 19.12.2012.
http://nuigroup.com/?ACT=28&fid=37&aid=5814_XVTCUVsCCdVBLFSzC2qB
- /27/ Natural User Interface Group. 2008. Getting Started With MultiTouch, Multitouch Techniques. Viitattu 19.12.2012.
<http://nuigroup.com/forums/viewthread/1982/>
- /28/ Peau Productions. 2012. Viitattu 19.12.2012.
<http://www.peauproductions.com>

- /29/ ProjectorCentral.com. 2012. Epson Europe EMP-1825 Projector. Viitattu 19.12.2012. <http://www.projectorcentral.com/Epson-EMP-1825.htm>
- /30/ Renesas Electronics Corporation. 2010-2012. Capacitive Touch MCUs. Viitattu 19.12.2012. http://www.renesas.com/products/mpumcu/capacitive_touch_mcu/child/technology_child.jsp
- /31/ Seth Sandler. 2011. MUTITOUCH – HOW TO. Viitattu 19.12.2012. <http://sethsandler.com/multitouch/>
- /32/ 3M Company. 2011. Projected Capacitive Technology. Viitattu 19.12.2012. http://solutions.3m.com/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?lmd=1332776733000&locale=en_US&assetType=MMM_Image&assetId=1319224169961&blobAttribute=ImageFile
- /33/ Touch International. 2012. Multi-Touch Resistive, Multi-Touch Sensors. Viitattu 19.12.2012. <http://www.touch-intl.com/products/multi-touch-resistive-touch-screen.html>
- /34/ Vaasan Elektroniikkakeskus Oy. laser-moduli. Viitattu 19.12.2012. http://www.vekoy.com/advanced_search_result.php?keywords=laser-moduli&x=0&y=0