

Eetu Vilhunen

**KINECTIN KÄYTTÖ YMPÄRISTÖN- JA
LIIKKEENTUNNISTUKSEEN**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
TIETOJENKÄSITTELYTIETEIDEN LAITOS
2012

TIIVISTELMÄ

Vilhunen, Eetu

Kinectin käyttö ympäristön- ja liikkeentunnistukseen

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2012.

Tietojärjestelmätiede, Kandidaatin -tutkielma

Ohjaaja(t): Eskelinen, Matti

Tämän tutkielman tarkoituksena on käsitellä Microsoftin kehittämää Kinect-sensoria ja sen hyödyntämistä ympäristön- ja liikkeentunnistukseen. Tutkimus pyrkii vastaamaan siihen, miten Kinectiä voidaan hyödyntää ympäristön- ja liikkeentunnistuksessa, sekä siihen mitä hyötyä tai haittaa Kinectin käytöstä voi olla. Aluksi käydään läpi hieman Kinectin historiaa sekä sen sisältämää teknologiaa. Tämän jälkeen käydään läpi tutkielman kannalta oleelliset konenäköön liittyvät termit. Tutkielman aikana käydään myös läpi tutkielmia ja projekteja, jotka hyödyntävät Kinectiä tai joissa käsitellään Kinectin soveltuvuutta muihin kuin pelillisiin tarkoituksiin. Lopuksi yhteenvedossa käydään läpi tutkielman sisältö ja pyritään vastaamaan tutkimusongelmiin.

Asiasanat: konenäkö, Microsoft Kinect, liikkeentunnistus, ympäristöntunnistus

ABSTRACT

Vilhunen, Eetu

Usage of Kinect in environment and movement detection

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2012

Information Systems, Bachelor's Thesis

Supervisor(s): Eskelinen, Matti

This study concentrates on Microsoft Kinect and tries to answer questions like how can one use Kinect to track environment and movement. First there will be introduction to what Kinect is and what kind of technology it uses. In the next chapter most important terms regarding computer vision are explained. In the course of this study, some projects and studies regarding use of Kinect will be reviewed and explained. In the last chapter there is a summary of this study, and we will try to answer the research questions.

Keywords: Computer vision, Microsoft Kinect, movement detection, environment detection

SISÄLLYS

JOHDANTO.....	5
MIKÄ ON KINECT?.....	7
1.1 Kinectin historia.....	8
1.2 Kinectissä käytetty teknologia.....	10
1.3 Segmentointi.....	13
1.4 Stereonäkö.....	15
1.5 Liikkeentunnistus.....	16
KINECTIÄ HYÖDYNTÄVÄT PROJEKTIT JA TUTKIMUKSET.....	18
1.6 Kinerehab: Kinect pohjainen järjestelmä fyysiseen kuntoutukseen.....	19
1.7 Kinectin käyttö telemaattisessa läsnäolo järjestelmässä.....	21
1.8 KinectTouch.....	24
1.9 Kinect-pohjainen navigointijärjestelmä sokeille.....	25
YHTEENVETO.....	28

Johdanto

Nykyisin konenäköä käytetään laajasti eri teollisuuden aloilla, niin puuteollisuudessa kuin myös kaupan kassoilla. Yleisesti ottaen konenäkö-laitteiden päätarkoituksena on helpottaa ja nopeuttaa monia tuotantoon sekä palveluihin liittyviä tehtäviä. Ajoittain konenäköä myös joudutaan käyttämään tehtävissä, joihin ihmissilmän tarkkuus ja näkökyky ei vain yksinkertaisesti riitä. Tällaisia tehtäviä ovat esimerkiksi viivakoodin lukeminen tai vaikkapa nopeasti liikkuvan tuotantolinjan tuotteiden laadun tarkistus.

Kuinka sitten Kinect liittyy tähän kaikkeen? Kinect on halpa, alunperin peliohjaimeksi suunniteltu sensori. Kyseisessä laitteessa on kuitenkin paljon ominaisuuksia, joita voidaan myös mahdollisesti hyödyntää muissakin tarkoituksissa kuin peleissä.

Tässä tutkielmassa perehdymme tarkemmin Kinectin ominaisuuksiin ja pyrimme saamaan käsityksen siitä, mihin kaikkiin tarkoituksiin sitä voidaan käyttää. Pyrimme myös tarkastelemaan sitä, onko Kinectin käytöstä jotain hyötyä vai onko kenties parempi käyttää jotain muuta laitetta.

Tutkielman rakenne on seuraavanlainen. Ensimmäisessä luvussa perehdymme hieman Microsoft Kinectin historiaan sekä sen teknisiin ominaisuuksiin. Toisessa luvussa käymme läpi konenäköön liittyviä termejä ja niihin liittyviä muita seikkoja. Kolmannessa luvussa perehdymme tutkimuksiin ja projekteihin joita Microsoft Kinectillä on toteutettu. Lopuksi viimeisessä luvussa teemme yhteenvedon ja käymme läpi saadut tulokset.

Mikä on Kinect?

Microsoft Kinect, alunperin tunnettu koodinimellä Project Natal, on Microsoft Corporationin kehittämä ja suunnittelema liikkeentunnistava ohjauslaite, joka kehitettiin alunperin käytettäväksi Xbox 360-videopelikonsolin kanssa. Laitteen tarkoituksena oli antaa käyttäjille mahdollisuus ohjata ja vuorovaikuttaa siten, ettei heidän tarvinnut käyttää tyypillistä peliohjainta, vaan ohjaus ja vuorovaikutus suoritettiin käyttämällä luonnollista käyttöliittymää. Puhuttaessa luonnollisesta käyttöliittymästä tarkoitetaan yleensä sitä, että käyttöliittymä on käytännössä lähes näkymätön tai siitä tulee lähes näkymätön usean opitun interaktion jälkeen. Microsoft Kinectin tapauksessa tämä tarkoittaa sitä, että käyttäjä suorittaa kaikki ohjaukseen ja hallintaan käytetyt toiminnot käyttämällä eleitä, käden- tai kehonliikkeitä sekä mahdollisesti puhekomentoja. Järjestelmä- ja ohjelmistokehityksen näkökulmasta Kinect on laite, joka mahdollistaa pienessä kompaktissa paketissa useat erilaiset tavat tunnistaa liikettä sekä ympäristöä ja hyödyntää tästä tunnistuksesta saatua tietoa muihin tarkoituksiin.

1.1 Kinectin historia

Kinectin historian voidaan katsoa alkaneen vuonna 2005 kun Zeev Zalevsky, Alexander Shpunt, Aviad Maizels sekä Javier Garcia keksivät ja patentoivat teknologian, jota myöhemmin hyödynnettiin Kinectissä [1]. Kinect projektina julkaistiin medialle vasta vuonna 2009 E3-messuilla Project Natal -koodinimen alla. Alunperin nimeksi oltiin valittu Natal siksi, koska kyseinen sana tarkoittaa kankeasti käännettynä syntymää. Microsoftin näkemyksenä olikin ollut Kinectiä kehittäessä synnyttää uuden sukupolven viihdelaite koteihin. Ympäristön- sekä liikkeentunnistuksen kannalta kiinnostavinta oli kuitenkin 2009 vuoden E3-messuilla esitelty luurankomallinnusteknologia, joka kykeni seuraamaan yhtä aikaa jopa neljää ihmistä sekä kuvaamaan näiden ihmisten luurankomallit 30Hz taajuudella. Samoilla E3-messuilla tehdyssä haastattelussa projektia johtanut Phil Spencer totesi, että olosuhteista riippuen olisi myös mahdollista saada täysi luurankomalli useasta ihmisestä, jotka ovat samassa huoneessa [2].

Kinectin kehityksen aikana käytettävyyttä sekä muita ominaisuuksia testattiin käyttämällä Kinectiä hyödyksi useissa erityyppisissä peleissä ja näitä ominaisuuksia esiteltiinkin vuoden 2009 syyskuussa Tokyo Game Show -messuilla [3].

Alustavasti Kinectiin oli ollut tarkoitus lisätä mikroprosessori, joka olisi hoitanut erilaiset operaatiot kuten luurankomallinnuksen. Kuitenkin tammikuussa 2010 Microsoft paljasti, että kyseistä ominaisuutta ei lisättäisiikään itse Kinectiin, vaan kaikki Kinectin vaatima prosessointi suoritettaisiinkin

yhdellä Xbox 360 -konsolin monista Xenon-prosessoreista. Alustavasti Alex Kipman totesi, että Kinect-järjestelmä tulisi käyttämään noin 10-15% kaikesta Xbox 360 -konsolin laskentatehosta, mutta myöhemmin kehitystyön tuloksena lukema saatiin kuitenkin laskettua yksinumeroiseen arvoon [4]. Kaiken kehitystyön jälkeen Microsoft Kinect julkaistiin viimein vuoden 2010 marraskuun alussa. Tuosta alkoi tämän tutkielman kannalta mielenkiintoisin vaihe Kinectin historiassa, vaihe jonka aikana Kinectin useat eri ominaisuudet otettiin käyttöön luodessa muita sovelluksia ja käyttötarkoituksia kuin pelkästään pelit.

Ensimmäinen kehitys tällä saralla tapahtui jo 6 päivää Kinectin julkaisun jälkeen, kun ensimmäinen vapaan lähdekoodin Kinect-ajuri julkaistiin marraskuun 10. päivänä vuonna 2010 [5]. Tämä yksinkertainen Kinectin hakkerointi oli kuitenkin vain alkusoittoa tulevasta. Tämän yksinkertaisen hakkeroinnin pohjalta luotiin laaja vapaan lähdekoodin kirjasto OpenKinect, jonka tarkoituksena on luoda paras mahdollinen kokoelma ohjelmistoja Kinect-laitteelle. OpenKinect ei kuitenkaan ollut ainoa kehityssuunta, sillä marraskuussa 2010 PrimeSense, yritys joka oli Kinectissä käytetyn teknologian takana, oli perustamassa organisaatiota nimeltä OpenNI. Tämän organisaation missiona oli tuottaa kokoelma ohjelmistorajapintoja, jotka olisivat standardeja ohjelmistoille käytettäessä luonnollisen vuorovaikutuksen laitteita, kuten Kinectiä. OpenNI kuitenkin avasi sivunsa vasta joulukuussa 2010 [6].

Aluksi Microsoft totesi yleisölle, että Microsoft yrityksenä ei hyväksy minkäänlaisia muunnoksia, joita Kinectiin mahdollisesti tehtäisiin. Kuitenkin vuoden 2011 kesäkuussa Microsoft julkaisi viimein oman virallisen SDK

pakettinsa, jota kuitenkin sai käyttää vain ei-kaupalliseen tarkoitukseen [7]. Myöhemmin saman vuoden lokakuussa Microsoft julkisti Kinect for Windows-ohjelmiston kaupalliseen käyttöön, ja julkisti samalla kaupallisen version Kinectin SDK paketista [8]. Marraskuussa 2011 Microsoft julkaisi lausunnon, jonka mukaan Microsoft aikoo tuoda markkinoille uuden Kinect laitteiston, joka on pääosin tarkoitettu yhdistettäväksi tietokoneeseen. Tämän uuden laitteiston on arveltu tulevan markkinoille vuoden 2012 alussa [9].

1.2 Kinectissä käytetty teknologia

Kinectissä käytetty teknologia on suurimmaksi osaksi kehitetty Microsoft Game Studiosin alla toimivassa Rare -yrityksessä. Syvyyskamera-teknologia, jota Kinectissä käytetään, on kuitenkin Israelilaisen PrimeSense -yrityksen tuottama. Kyseinen yritys on myös kehittänyt Kinectissä käytettävän täysin käsivapaan ohjausjärjestelmän, jonka toiminta perustuu infrapunaprojektoriin, kameraan sekä mikrosiruun, jotka seuraavat objektien sekä yksilöiden liikkeitä kolmessa ulottuvuudessa.

Kinect-sensori itsessään on moottoroidulla jalustalla varustettu vaakasuora palkki, joka on normaalikäytössä tarkoitettu asetettavaksi videonäytön ylä- tai alapuolelle. Sensorin muodostaviin osiin kuuluu mm. RGB-kamera, syvyys sensori sekä neljä erillistä mikrofonia. Yhdessä nämä kaikki osat mahdollistavat koko kehon 3D-liikkeentunnistuksen, kasvontunnistuksen sekä äänentunnistuksen.

Kinectissä käytetty RGB-kamera toimii pitkälti samalla tavalla kuin normaali videokamera tai muu liikkuvaa kuvaa kaappaava laite. Tarkemmin RGB-kameraa tutkiessa huomattiin, että kamerasta lähtevä RGB-video käyttää 8-bittistä VGA resoluutiota (640x480 pikseliä).

Kinectin syvyys sensori taas koostuu infrapunalaserprojektorista sekä mustavalkoisesta CMOS-sensorista ja on PrimeSensen tuottama ja hyväksi käyttää kyseisen yrityksen luomaa Light Coding -tekniikkaa. Kinectin CMOS-sensori kykenee kaappaamaan 3D-videodataa missä tahansa taustavalaistuksessa. Tämä johtuu siitä, että Kinectissä syvyyden havainnointiin käytetään infrapunavaloa ja siitä, että CMOS-sensoria ei ole kalibroitu havaitsemaan näkyvää valoa. Halutessaan käyttäjä voi myös säätää syvyys sensorin havaintoetäisyyttä, mutta Kinect kykenee myös itse kalibroimaan sensorin ja ottamaan huomioon ympäristön, jossa laitetta käytetään. Toisin kuin Kinectin RGB-kamera, lähettää syvyys sensori 11-bittistä videodataa.

Kinectin liikkeentunnistus taas toimii seuraavalla tavalla. Ensinnäkin Kinect hyödyntää Primesensen luomaa Light Coding -teknologiaa, joka mahdollistaa reaaliaikaisen 3D-syvyyskartan luomisen halutusta tilasta ja kyseisessä tilassa olevista objekteista ja henkilöistä. Käytännössä Light Coding toimii siten, että strukturoitua lähi-infrapunavaloa projisoidaan pseudosatunnaisena pistekuviona jollekin alueelle. Valon osuessa tilassa sijaitseviin kohteisiin, kuten seiniin, tuoleihin ja ihmisiin, se kimpoaa takaisin. Kinectissä sijaitseva CMOS-sensori havaitsee tämän takaisin kimpoavan valon, kaappaa sitä reaaliajassa ja lähettää saadun informaation kinectissä sijaitsevaan Primesensen

kehittämään PS1080 siruun. Sirun saadessa informaatiota CMOS-sensorilta, se alkaa työstää saatua informaatiota. Syvyyskartta itsessään saadaan käyttämällä erilaisia algoritmeja vertaamaan takaisin projisoitua pistekuviota heijastettuun pistekuvioon. Vertailujen perusteella PS1080 siru kykenee sitten luomaan tarkan reaaliajassa päivittyvän syvyyskartan tarkastellusta tilasta. [1] Tämä syvyyskartta yksinään ei tietysti riitä vielä liiketunnistukseen, mutta se toimii erittäin tärkeänä perustana sen toteuttamiseen.

Liiketunnistus Kinectissä toteutetaan luomalla luurankomalli, jonka liikkeitä seurataan reaaliajassa. Syvyyskarttaa hyväksi käyttäen tunnistetaan aluksi syvyyskartasta mahdollisesti löytyvät ihmisruumiinosat kuten kädet, jalat, keskiruumis sekä pää. Näiden pohjalta luodaan ja kalibroidaan tunnistettujen henkilöiden ruumiinrakenteen mukaiset luurankomallit. Kun luurankomallit on luotu, seuraa Kinect kaikkien tärkeiden nivelten liikkeitä kolmessa ulottuvuudessa. Tässä vaiheessa tunnistetaan jo liikettä, mutta liikkeelle täytyy luonnollisesti antaa jonkin merkitys jos sitä halutaan hyödyntää [10].

Kinectin neljä mikrofonia kykenevät prosessoimaan 16-bittistä ääntä 16kHz näytteenottotaajuudella. Nämä mikrofonit on tarkoitettu puheentunnistusta varten. Suomen kieli ei kuitenkaan vielä kuulu tuettujen kielten joukkoon. Mikrofonit kykenevät myös hiljentämään taustamelua sekä paikallistamaan äänenlähteitä. Käytännössä äänenlähteiden paikallistaminen tarkoittaa myös sitä, että Kinectiä hyödyntämällä on mahdollista saada tietoon äänenlähteiden suunta.

Mitä on konenäkö?

Yleisesti ottaen konenäöllä tarkoitetaan prosessia, jossa hyödyntämällä useita erilaisia teknologioita sekä tekniikoita luodaan havaitsemisjärjestelmä, jonka tarkoituksena on analysoida ympäristöstä saatua visuaalista dataa ja hyödyntää sitä jonkin prosessin tai aktiviteetin kontrollointiin. Koska konenäköön liittyy paljon termistöä ja koska konenäkö sekä Kinect liittyvät toisiinsa hyvin läheisesti, on syytä käydä läpi hieman konenäköön liittyvää termistöä ja ongelmia. Tässä kappaleessa käymme tarkemmin läpi mitä tarkoitetaan segmentoinnilla, stereonäöllä, etäisyyden arvioinnilla sekä liikkeentunnistuksella. Käymme myös läpi miksi nämä kyseiset asiat ovat ongelmallisia konenäössä ja miksi niitä kuitenkin halutaan sisällyttää konenäköjärjestelmiin.

1.3 Segmentointi

Konenäössä segmentointi on prosessi, jossa digitaalinen kuva jaetaan useisiin pikseleistä koostuviin osiin eli segmentteihin. Tarkemmin segmentointi on prosessi, jossa kuvan jokainen pikseli "leimataan" siten, että jokainen saman "leiman" saanut pikseli jakaa tietyt visuaaliset ominaisuudet muiden saman "leiman" saaneiden pikseleiden kanssa. Tämän tarkoituksena on yksinkertaistaa ja muuntaa kuva sellaiseen muotoon, että se on merkityksellisempi ja sen analysointi olisi helpompaa. Tyypillisesti segmentointia käytetään paikantamaan kuvista objekteja sekä rajoja.

Vaikka segmentoinnin määrittelyn perusteella voisi ajatella että segmentointi ei olisi kovinkaan vaikea toteuttaa, ei näin kuitenkaan ole. Segmentoinnin toteuttaminen on siihen liittyvien ongelmien takia verrattain vaikeaa. Milan Sonkan, Vaclav Hlavacin sekä Roger Boylen (2008) mukaan segmentoinnin tekevät vaikeaksi datan monitulkintaisuus sekä kohinaisuus. Monessa tapauksessa monitulkintaisuus ongelma johtuu pitkälti siitä, että yleisesti ottaen koneella ei ole aiempaa kokemusta tai tietämystä, jota se voisi hyödyntää tulkitessaan kuvaa. Tästä johtuen joudutaan yleensä luomaan monimutkaisia algoritmeja tulkitsemaan saatua kuvadataa. Kohina taas on läsnä aina jokaisessa reaali maailmaan liittyvässä mittauksessa. Tämä on ongelmallista siksi, että joudutaan käyttämään monimutkaisia matemaattisia työkaluja, jotka kykenevät tulemaan toimeen epäselvyyksien kanssa. Hyvänä esimerkkinä tästä toimii todennäköisyysteoria. Luonnollisesti monimutkaisempien työkalujen käyttö tekee analysoinnista vaikeampaa verrattuna siihen kuin käytettäisiin standardeja, deterministisiä metodeja.

Vaikka segmentaation implementoinnissa ja toteutuksessa on omat ongelmansa, halutaan se toteuttaa koska segmentointi on yksi tärkeimmistä vaiheista kuva datan analysoinnissa. Segmentointi toimii erittäin tärkeänä osana esimerkiksi liikkeentunnistusta. Liiketunnistuksessa segmentoinnin avulla erotellaan tarkastelun kohteena olevat objektit taustasta, jolloin voidaan havainnoida haluttujen objektien liikeratoja sekä liikkeitä verrattain helposti. Segmentointia voidaan myös käyttää esimerkiksi lääketieteessä muun muassa magneettikuvauksessa, ultraäänikuvauksessa sekä röntgenissä [16]. Näiden esimerkkien avulla voimmekin helpommin ymmärtää, miksi segmentointi on varsin haluttu ominaisuus koneiden yhteydessä.

1.4 Stereonäkö

Kun konenäön yhteydessä puhutaan stereonäöstä, puhutaan tavasta muodostaa käsitys näkyvien piirteiden etäisyydestä käyttämällä hyödyksi vähintään kahta kameraa tai muita vastaavia laitteita. Pohjimmiltaan stereonäkö vastaa ihmisten omaa binokulaaristanäköä, mutta stereonäkö luonnollisesti on toteutettu teknologisin keinoin.

Perinteisesti konenäön yhteydessä stereonäkö toteutetaan yksinkertaisimmillaan seuraavasti. Ensinnäkin vaaditaan kaksi kameraa, jotka on asetettu horisontaalisesti toisiinsa nähden. Näiden kameroiden tarkoituksena on kaapata kaksi toisistaan eroavaa näkymää halutusta näkymästä. Näitä saatuja kuvia vertaamalla saadaan sitten syvyysinformaatio tarkastelun kohteena olleesta näkymästä.

Stereonäön toteuttaminen on kuitenkin jokseenkin ongelmallista. Milan Sonkan, Vaclav Hlavacin sekä Roger Boylen (2008) mukaan yhdeksi ongelmaksi muodustuu jälleen kerran kameroiden ottamissa kuvissa läsnä oleva kohina sekä monien käytettävien algoritmien monimutkaisuus. Tämä ongelma ei kuitenkaan liity vain stereonäköön, vaan se ilmenee myös esimerkiksi segmentoinnin yhteydessä. Tämä ongelma lieneekin yksi konenäön yleisimmistä ongelmista, joka voidaan huomata sen jokaisella osa-alueella. Yhtenä stereonäön ongelmana on myös niin sanottu valeraja-ongelma. Tämä ongelma voi ilmetä tarkasteltaessa tasaisia ja kaarevapintaisia tasoja sekä objekteja. Ongelman ytimenä on se, että algoritmeilla voi tällaisia tasoja tai objekteja tarkastellessa ilmetä vaikeuksia tunnistaa pintojen tai objektien

todelliset rajat ja voivat siksi palauttaa virheellistä tietoa pintojen tai objektien rajoista [17].

Kaikista ongelmista huolimatta stereonäkö on kuitenkin erittäin tärkeää monien eri järjestelmien kannalta ja siksi se halutaankin toteuttaa. Stereonäköä hyödynnetään erittäin paljon esimerkiksi robotiikassa erottelemaan 3D-objektien paikkoja autonomisten järjestelmien läheisyydessä sekä myös objektien sekä objekteissa olevien piirteiden tunnistukseen [17]. Stereonäköä voidaan myös hyödyntää lääketieteellisissä tarkoituksissa [18] sekä monissa tieteellisissä tutkimuksissa joiden tarkoituksena on kartoittaa ympäristöä tai erilaisia ilmiöitä, tästä hyvänä esimerkkinä toimii esimerkiksi NASA:n STEREO (Solar Terrestrial Relations Observatory) projekti.

1.5 Liikkeentunnistus

Yleisesti ottaen liikkeentunnistus on prosessi, jonka aikana joko havaitaan jonkin objektin sijainnin muutos suhteessa objektin ympäristöön tai havaitaan ympäristön sijainnin muutos suhteessa objektiin. Liikettä voidaan tunnistaa mm. seuraavilla keinoilla: ääni, läpinäkymättömyys, geomagnetismi, välitetyt energian heijastuminen, elektromagneettinen induktio sekä värinä [19]. Koneäön sekä tämän tutkielman kannalta kiinnostavin aihealue on liikkeentunnistaminen jatkuvista suoratoistovideoista. Liikkeentunnistukseen jatkuvista suoratoisto videoista on monia erilaisia menetelmiä, mutta ne kaikki pohjautuvat kuitenkin tavalla tai toisella tämän hetkisen kuvan vertaamiseen edeltäviin kuviin [20]. Mahdollisia tapoja tässä on esimerkiksi verrata tämän hetkistä kuvaa edeltävään kuvaan tai verrata tämän hetkistä kuvaa

ensimmäiseen kuvaan. Verrattaessa tämän hetkistä kuvaa edeltävään kuvaan voidaan kuitenkin törmätä ongelmiin jos objektit eivät liiku tarpeeksi paljon, jolloin voi ilmentyä hankaluuksia tunnistaa liikettä. Sama ongelma ilmenee myös verrattaessa tämän hetkistä kuvaa ensimmäisimpään kuvaan, mutta ei kuitenkaan niin suurena ongelmana [20].

Liikkeentunnistuksessa on myös muitakin ongelmia. Käytettäessä liikkumatonta havainnointiyksikköä, ei ilmene niinkään ongelmia, koska liikkeentunnistamisen toteuttaminen liikkumattomalla havainnointiyksiköllä ei ole kovin monimutkaista. Ongelmia kuitenkin voi alkaa ilmaantua siinä tapauksessa, että käytetäänkin liikkuvaa havainnointiyksikköä. Tämä johtuu lähinnä siitä, että kaikki objektit sekä tausta tarkasteltavassa kuvassa voivat olla liikkeen kohteena ja liikeradat voivat olla hyvinkin monimutkaisia.

Kinectiä hyödyntävät projektit ja tutkimukset

Ottaen huomioon Kinectin iän sekä virallisten kehitystyökalujen puutteen, on Kinectiä tästä huolimatta käytetty hyödyksi monissa erilaisissa tehtävissä sekä järjestelmissä joiden toteuttaminen on vaatinut konenäköyksikön käyttöä. Näiden tehtävien ja järjestelmien kirjo on varsin laaja ja se vaihtelee lääketieteellisestä käytöstä niin opetuskäyttöön kuin myös telekommunikointijärjestelmiin.

Tässä kappaleessa perehdymme tarkemmin muutamiin näistä järjestelmistä ja käyttötavoista, jotta saisimme tarkemman kuvan siitä, kuinka kinectiä voidaan käyttää hyväksi ympäristön- ja liikkeentunnistamiseen. Tarkasteltavat tutkimukset on valittu siten, että Kinectillä saatua informaatiota hyödynnetään monissa erilaisissa tarkoituksissa. Tarkoituksena on myös tuoda esille mahdollisia ongelmia, joita Kinectin käyttö voi aiheuttaa muissa samanlaisissa järjestelmissä.

1.6 Kinerehab: Kinect-pohjainen järjestelmä fyysiseen kuntoutukseen

Kinerehab on Jun-Da Huangin luoma, fyysiseen kuntoutukseen tarkoitettu älykäs kuntoutusjärjestelmä, joka käyttää hyväkseen Kinectin huomattavia liikkeentunnistusominaisuuksia [11]. Järjestelmä on pääasiallisesti tarkoitettu sellaisille kuntoutusta vaativille potilaille, jotka kärsivät erilaisista motorisista vammoista, kuten kontrollin puutteesta, voiman puutteesta tai liikkeiden rajoittuneisuudesta.

Rakenteeltaan järjestelmä on varsin yksinkertainen. Esitelty järjestelmä koostuu seuraavista osista: Microsoft Kinect-sensorista, integroidusta tietokannasta, video-ohjeistuksesta sekä äänimuistutuksista. Käytännössä Kinect-sensori on siis kytkettynä tietokannan sisältävään tietokoneeseen, joka on taas kytketty monitoriin ja äänentoistoon, joiden on yhdessä tarkoitus luoda älykäs kuntoutusjärjestelmä. Järjestelmän käyttöliittymä on interaktiivinen ja interaktiivisuutta on painotettu erityisesti. Tämän tavoitteena on motivoida potilaita suorittamaan kuntoutusrutiineja. Toiminnaltaan järjestelmä on myös varsin yksinkertainen. Potilaille esitellään ruudun välityksellä ohjeistus askel askelelta jonkin liikkeen suorittamiseen. Kun ohjeistusvideo on näytetty, tulee potilaan suorittaa liike. Suorituksen aikana Kinect-sensori havainnoi potilaan liikkeitä ja välittää tiedot liikkeestä tietokoneelle, joka sitten analysoi onko liike suoritettu tyydyttävästi. Järjestelmässä on myös ns. personalisoitu menu, joka on tarkoitettu terapeuttien käyttöön. Tämän ominaisuuden tarkoituksena on antaa mahdollisuus muokata käytettyä kuntoutusohjelmaa helposti ja nopeasti vastaamaan yksittäisten potilaiden tarpeita. Järjestelmä myös tallentaa

potilaiden kuntoutuksen kehittymisen ja näin potilaat sekä terapeutit kykenevät seuraamaan kunkin potilaan kuntoutuksen kehittymistä.

Jun-Da Huangin tutkielmassa ei varsinaisesti ilmene miksi juuri Kinect on valittu tähän tarkoitukseen. Voimme kuitenkin tutkimuksen perusteella päätellä joitain mahdollisia syitä Kinectin valintaan. Kuten olemme jo Kinectin teknologisia ominaisuuksia tarkastellessa huomanneet, Kinect on varsin kattava paketti liikkeen- ja ympäristöntunnistuksen kannalta. Ottaessamme vielä huomioon Kinect-sensorin myyntihinnan, on varsin luultavaa että Kinect on valittu tämän järjestelmän toteuttamiseen verrataen pienen hintansa sekä kattavien ominaisuuksien takia. Tämän lisäksi on myös syytä uskoa, että Kinectin hyvät kehitysmahdollisuudet ovat myös vaikuttaneet valintaa tehdessä.

Järjestelmää koekäytettäessä huomattiin kuitenkin eräs ongelma Kinectiin liittyen. Järjestelmä kykeni saavuttamaan n. 80% liikkeentunnistus tarkkuuden Kinectiä käyttämällä. Jan-Da Huangin mukaan syy tähän on se, että joidenkin potilaiden käyttämät apuvälineet kuten pyörätuolit sekä kävelysauvat vaikuttivat Kinect-järjestelmän päättelykykyyn. Tarkempaa syytä tai ratkaisua tähän ongelmaan ei tutkimuksessa esitetä. On kuitenkin luultavaa, että ongelman ydin piilee käytetyissä segmentointi algoritmeissa, joiden tarkkuus ja tehokkuus ei riitä erottamaan apuvälineitä raajoista. Ratkaisuna tähän olisi parantaa segmentointi algoritmien tehokkuutta ja tarkkuutta. Jun-Da Huangin mukaan tämä olikin tavoitteena järjestelmän seuraavaan versioon.

Tarkkuusongelmasta huolimatta, tutkielma osoittaa mielestäni varsin hyvin sen, että Kinectiä voidaan hyödyntää lääketieteellisissä tarkoituksissa. Jan-Da

Huangin tutkimus on myös hyvä esimerkki yksinkertaisesta järjestelmästä ja tavasta, jolla Kinectiä voidaan hyödyntää liikkeen- ja ympäristöntunnistukseen.

1.7 Kinectin käyttö telemaattisessa läsnäolojärjestelmässä

Kun puhutaan telemaattisesta läsnäolosta, tarkoitetaan sillä teknisesti välitettyä etäläsnäoloa luonnollisessa ympäristössä mahdollisesti esimerkiksi kaksisuuntaisen ääni- ja videoyhteyden kautta. Käytännössä telemaattinen läsnäolo voidaan kuvailla tunteeksi toisen tai toisten toimijoiden läsnäolosta telemaattisesti välitetyssä tilassa tai ympäristössä [12]. Kinectin hyödyntämistä tällä saralla demonstroi hyvin Andrew Maimonen ja Henry Fuchsin prototyyppi telemaattisen läsnäolon järjestelmästä, joka tarjoaa täysin dynaamisen ja reaaliaikaisen 3D-näkymän kaappaamisen sekä näkökulman huomioon ottavan ja pään liikkeitä seuraavan 3D esityksen. Järjestelmä tarjoaa tämän myös ilman minkäänlaisia päälle puettavia lisälaitteita [13]. Tutkimuksessa käydään läpi järjestelmän osat, toteutus sekä tulokset. Tutkielmassa esitetään myös mahdollinen ratkaisu häiriö ongelmaan, joka ilmaantuu kun useita Kinect kameroita hyödynnetään siten, että niiden projisoimat pistekartat menevät päällekkäin.

Koska järjestelmä on täysin dynaaminen, se esittää reaaliaikaisen näkymän käyttäjistä sekä tilasta jossa järjestelmää käytetään. Tämä ominaisuus antaa käytännössä käyttäjälle mahdollisuuden hyödyntää ympäristöä sekä ympäröiviä objekteja kommunikoinnissa. Näkökulman huomioon ottaminen tarkoittaa käyttäjän kannalta sitä, että käyttäjä kykenee tarkastelemaan esitettyä näkymää siitä perspektiivistä, joka vastaa käyttäjän pään asentoa. Tämä

ominaisuus mahdollistaa sen, että käyttäjä kykenee näkemään esteiden ympäri ja kykenee näin ollen saamaan enemmän informaatiota esitetystä näkymästä. Järjestelmän vahvuutena on myös se, että käyttäjät kykenevät luomaan järjestelmää käytettäessä katsekontaktin, minkä puute voisi mahdollisesti aiheuttaa ongelmia ei-sanallisessa kommunikoinnissa. Katsekontaktin säilyttämistä edesauttaa myös erillisten näkölaitteiden, kuten 3D-lasien, eliminointi. Päälle puettavien yms. seurantalaitteiden eliminointi taas lisää käyttömukavuutta.

Tutkimuksen yhteydessä luotu prototyyppi järjestelmästä on toteutettu seuraavanlaisesti. Fyysisten ominaisuuksien puolesta testijärjestelmä rakennettiin kahteen erilliseen toimistokuutioon (huone A ja huone B), jotka olivat samankokoisia (n. 1.9m x 2.4m). Testijärjestelmässä huone A tarjosi 3D-kaappauksen huoneesta A ja 2D-esityksen huoneesta B. Huone B taas tarjosi 2D kaappauksen kyseisestä huoneesta ja huoneessa sijaitsevan henkilön päänsijainnin mukaisen 3D-esityksen huoneesta A. Tutkielman tekijöiden mukaan tämä kyseinen testi antoi mahdollisuuden demonstroida 3D-kaappausta, 3D-esitystä sekä katsekontaktin säilyttämistä yhdelle puolelle. Kirjoittajien mukaan optimaalinen järjestelmä mahdollistaisi nämä ominaisuudet molempiin huoneisiin. Järjestelmän ytimenä toimi yksi tietokone, johon oltiin liitetty 6 erillistä Kinect-sensoria. Koejärjestelmässä ei käytetty vielä verkkoa tai audiota, mutta tutkijoiden tarkoituksena on ottaa huomioon nämä laiminlyönnit tulevassa parannellussa järjestelmässä.

Tutkielma tuo myös esille varsin tärkeän ongelman, joka tulee muistaa kun käytetään useampaa Kinect-laitetta. Ongelma johtuu siitä, että jokainen Kinect-yksikkö projisoi saman pistekartan samalla aaltopituudella. Tästä johtuen

erilliset Kinect yksiköt voivat myös havaita toistensa pistekarttoja, mikä voi aiheuttaa häiriötä, jos erilliset kuviot menevät päällekkäin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että häiriön tapahtuessa voidaan Kinectistä saadussa syvyyskartassa havaita reikiä kohdissa, joissa projisoidut infrapunapistekartat kohtaavat.

Maimone ja Fuchs ratkaisevat kuitenkin ongelman tutkimuksessaan. Maimonen ja Fuchs mukaan ongelmaa ei kyetty ratkaisemaan laitteiston keinoin esimerkiksi asentamalla erillisiä synkronoituja sulkijoita infrapunaprojektoriin ja kameraan jotta yksiköt näkisivät vain omat pistekarttansa. Toinen mahdollinen ratkaisu oli käyttää infrapuna filteröintiä. Molemmat ratkaisut kuitenkin toivat esille uusia ongelmia, kuten ruudun päivitysnopeuden laskun, joten ne hylättiin. Lopulta Maimone ja Fuchs ratkaisivat häiriöongelman luomalla muokatun mediaani suotimen täyttämään häiriöstä johtuvat reiät. Maimonen ja Fuchs mukaan tämä suodin pohjautuu Morgan Mcguiren ShaderX6-kirjassa julkaisemaan suotimeen ja on toteutettu fragmenttivarjostimena GSLS:ää hyväksi käyttäen.

Kaiken kaikkiaan Maimonen ja Fuchs luoma telemaattisen läsnäolon järjestelmä on hieno esimerkki hieman teknisesti vaativammasta ja monimutkaisemmasta järjestelmästä, joka hyödyntää useita Kinect-yksiköitä kerralla. Käytännössä järjestelmä osoittaa sen, että halvallakin laitteella, kuten Kinectillä, voidaan luoda monimutkaisia järjestelmiä. Maimone ja Fuchs tarjoavat myös toimivan ratkaisun Kinectin häiriöongelmaan, johon voidaan myös törmätä muissa useampaa Kinectiä hyödyntävissä järjestelmissä.

1.8 KinectTouch

KinectTouch on Andreas Dipponin sekä Gudrun Klinkerin tekemä tarkkuustutkimus halvalle Multitouch järjestelmälle, joka hyödyntää Microsoft Kinectiä. Tutkimuksen tarkoituksena oli luoda halpa kosketuksen tunnistava järjestelmä, joka toimisi kaikkien näyttöjen kanssa. Koska tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää luodun järjestelmän tarkkuutta, sitä verrattiin luonnollisesti saatavilla oleviin muihin kosketusnäyttöihin. Fyysisiltä ominaisuuksiltaan tarkkuustesteissä käytetty järjestelmä oli varsin yksinkertainen. Testeissä käytettiin kosketusnäyttöä sekä Microsoft Kinectiä, joka oli ripustettu suoraan näytön yläpuolelle. Kosketusnäyttöä käytettiin siksi, että KinectTouchia pystyttiin vertaamaan samanaikaisesti perinteisiin menetelmiin.

Suurin syy siihen, miksi juuri Kinect valittiin tähän oli se, että Andreas Dippon sekä Gudrun Klinker halusivat tutkia, voidaanko Microsoft Kinectiä hyödyntää kosketuksen tunnistamista vaativissa järjestelmissä. Tutkimuksesta saadut tulokset eivät sinänsä ole mairittelevia Microsoft Kinectin kannalta. Tutkimusten aikana Andreas Dippon ja Gudrun Klinker huomasivat, ehkä jopa odotetusti, ettei Microsoft Kinectiä hyödyntävä järjestelmä kyennyt tarkkuutensa puolesta kilpailemaan päivittäisessä käytössä sellaisten laitteiden kanssa, joissa on pieni näyttö. Näihin laitteisiin kuuluvat mm. älypuhelimet ja tabletit. Dippon ja Klinker kuitenkin huomasivat, että isommilla näytöillä tutkimuksen mukainen järjestelmä olisi varteenotettava vaihtoehto, joka on ennen kaikkea halvempi muihin tekniikoihin nähden.

Vaikka onkin varsin valitettavaa, ettei Microsoft Kinect tutkimuksen mukaan sovellukaan pienille tasoille toteutetun monipistetunnistuksen toteutukseen, isommilla tasoilla Microsoft Kinectiä kuitenkin voidaan hyödyntää tyydyttävästi perinteisten tekniikoiden sijaan. Näissä tapauksissa etuina Microsoft Kinectin käytössä ovat lähinnä laitteen saatavuus ja hinta. Lisäksi Microsoft Kinectillä ja Andreas Dipponin ja Gudrun Klinkerin ehdottamalla menetelmällä toteutetut järjestelmät ovat luultavasti myös yleisesti ottaen paljon kustannustehokkaampia perinteisiin järjestelmiin verrattuna. On kuitenkin syytä muistaa, että vaikka Microsoft Kinect on tyydyttävä vaihtoehto, ei sillä toteutetut järjestelmät tutkimuksen mukaan kykene ainakaan vielä kilpailemaan integroitujen järjestelmien kanssa tarkkuudessa.

1.9 Kinect-pohjainen navigointijärjestelmä sokeille

Liikkuminen ja navigointi on osa jokapäiväistä elämäämme, mutta sokeille henkilöille se ei kuitenkaan ole itsestäänselvyys. Siksi Steve Mann, Jason Huang, Ryan Janzen, Raymond Lo, Valmiki Rampersad, Alexander Chen sekä Taqveer Doha ovat tehneet tutkimuksen Microsoft Kinectin käytöstä ja mahdollisista eduista navigointijärjestelmiä luodessa. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kehittää törmäyksenestojärjestelmä, joka soveltuisi sokeille, näkörajoitteisille, hankalissa teollisuusympäristöissä työskenteleville, sekä käytettäväksi heikosti valaistuissa ympäristöissä.

Käytännössä luotu järjestelmä toimii siten, että Microsoft Kinectistä saatu syvyysinformaatio muunnetaan haptiseksi palautteeksi, jonka avulla käyttäjän olisi tarkoitus saada kuva niistä ympäristön esteistä, jotka ovat tärkeimmät

törmäyksen välttämiseksi. Fyysisiltä ominaisuuksiltaan järjestelmä on seuraavanlainen. Koko järjestelmän ytimen muodostaa hitsauskypärä, jonka päälle Microsoft Kinect on kiinnitetty. Kypärän sisäpuolelle taas on kiinnitetty kuusi aktuaattoria, joita kontrolloidaan syvyysinformaation perusteella. Näiden aktuaattorien tarkoituksena on värinällään ilmaista esteiden sijainti. Aktuaattorien kontrollointiin on käytetty tässä yhteydessä Arduino-mikro-ohjainta. Järjestelmä kykenee myös onnistuneesti seuraamaan päänliikkeitä, ja näin ollen käyttäjä pystyy tutkailemaan ympäristöä helposti liikuttamalla päätä ja saamaan paremman kuvan ympäristöstä. Tämä kokoonpano oli kuitenkin vain kasattu testimielessä ja sen pääasiallinen tarkoitus oli vain toimia koelaitteistona.

Tutkimuksen aikana ei tekijöiden mukaan ilmaantunut ongelmia Microsoft Kinectin käytön suhteen. Tutkimuksessa todetaankin tämän sijaan, että Microsoft Kinect sopi erittäin mainiosti tämän tutkimuksen toteuttamiseen. Syy tähän oli se, että vaikka Microsoft Kinect onkin pääasiallisesti tarkoitettu käytettäväksi siten, että Kinect-yksikkö itse on paikoillaan, sietää se kuitenkin tyydyttävästi nopeasti muuttuvia näkymiä. Tämän tutkimuksen yhteydessä Microsoft Kinectiä on kuitenkin käytetty liikkeessä, mikä tekee tästä tutkimuksesta tietyllä tapaa uniikin, koska liikkumattomiksi tarkoitettujen kamerat eivät yleensä sovellu tällaiseen tarkoitukseen. Tutkimuksen tulokset myös vahvistavat hyvin väitettä Microsoft Kinectin sietokyvystä. Tutkimuksen tuloksissa todetaan, että Kinectin tyypillinen mittausetäisyys 30:stä senttimetrinä 6:n metriin on riittävä ainakin vilkkaiden sisätilojen sekä muiden samankaltaisten tilojen navigointiin. Ulkotiloista ei tuloksissa puhuta, mutta lienee syytä olettaa tulosten perusteella, ettei Microsoft Kinect soveltunut kovin hyvin ulkotiloissa tapahtuvaan navigointiin. On kuitenkin syytä ottaa

huomioon, että tämä kyseinen tutkimus käsitteli vasta koelaitteistoa ja on erittäin mahdollista, että tarkempi ja myös paremmin ulkotiloissa toimiva järjestelmä kyetään toteuttamaan.

Vaikka tämä kyseinen tutkimus käsittelee vasta koelaitteistoa, tuo se hyvin esille Microsoft Kinectin sietokyvyn liikkuvia taustoja kohtaan. Voimme myös varovaisesti todeta tutkimuksen perusteella, että Microsoft Kinectiä voidaan myös hyödyntää muissa käyttötarkoituksissa kuin paikallaanolevana näköyksikkönä.

Yhteenveto

Tämän tutkielman aikana olemme perehtyneet Microsoft Kinectin historiaan sekä sen sisältämään teknologiaan. Tämän lisäksi olemme myös Kinectin kannalta oleellisiin konenäön ongelmiin sekä tutkimuksiin ja projekteihin, joita Kinectillä on toteutettu. Tutkimuksen tarkoituksena oli vastata kysymyksiin siitä, mihin tarkoituksiin Microsoft Kinectiä voidaan käyttää, sekä siitä, onko Microsoft Kinectin käytöstä jotain hyötyä tai haittaa verrattuna muihin saatavilla oleviin laitteisiin.

Tässä tutkielmassa käytettyjen esimerkkitutkimusten sekä projektien perusteella voimme todeta, että Kinectiä voidaan hyödyntää erittäin monessa eri tarkoituksessa ja monella eri alalla, niin lääketieteessä kuin myös navigoinnissa. Microsoft Kinectin käytön syyt sekä hyödyllisyys tulivat myös hyvin esille näissä tutkielmissa. Keskeisimpinä syinä vaikutti olevan Microsoft Kinectin helppo saatavuus, hinta sekä halu kokeilla ja testata onko Microsoft Kinect toimiva vaihtoehto yleisesti käytettyihin keinoihin nähden. Tähän tutkielmaan valituissa esimerkki tutkimuksista jokaisessa Microsoft Kinectiä kyettiin hyödyntämään onnistuneesti. Suurin etu perinteisiin menetelmiin nähden Microsoft Kinectillä oli hinta, saatavuus sekä sen sisältämän

teknologian monipuolisuus. Mitään konkreettista etua ei esimerkiksi tutkimusten perusteella kuitenkaan ilmaantunut. Muutamia Microsoft Kinectin käytöstä johtuvia ongelmia ilmaantui myös mikä oli varsin odotettavaa. Monessa tapauksessa nämä ongelmat kyettiin korjaamaan esimerkiksi parantamalla segmentointialgoritmejä, tai niiden korjaaminen oli tavoitteena seuraaviin koejärjestelmä versioihin. Joissain tapauksissa Microsoft Kinect ei kuitenkaan kyennyt kilpailemaan perinteisten menetelmien kanssa. Pienen otantamäärän perusteella emme voi kuitenkaan kovinkaan tarkasti todeta, onko Kinectin käytöstä konkreettisesti hyötyä tai haittaa, mutta Microsoft Kinect voi kuitenkin joissain tapauksissa olla varteenotettava vaihtoehto perinteisiin menetelmiin nähden.

LÄHTEET

1. Wipo. (2007, 19. huhtikuuta). METHOD AND SYSTEM FOR OBJECT RECONSTRUCTION. Haettu 20.12.2011 osoitteesta <http://www.wipo.int/patentscope/search/en/WO2007043036>
2. Dudley, B. (2009 3. kesäkuuta). E3: New info on Microsoft's Natal -- how it works, multiplayer and PC versions. Haettu 20.12.2011 osoitteesta http://seattletimes.nwsourc.com/html/technologybrierdudleysblog/2009296568_e3_new_info_on_microsofts_nata.html
3. Crecente, B. (2009, 25. syyskuuta). Playing Space Invaders, Katamari Damacy on Natal. Haettu 20.12.2011 osoitteesta <http://kotaku.com/5367460/playing-space-invaders-katamari-damacy-on-natal>
4. Pearson, D. (2010 11. maaliskuuta). Kipman: Kinect CPU use down to single-digits. Haettu 20.12.2011 osoitteesta <http://www.gamesindustry.biz/articles/2010-11-02-kipman-kinect-uses-a-single-digit-percentage-of-the-360-cpu>
5. Adafruit. (2010, 10. marraskuuta). WE HAVE A WINNER – Open Kinect driver(s) released – Winner will use \$3k for more hacking – PLUS an additional \$2k goes to the EFF!. Haettu 20.12.2011 osoitteesta <http://www.adafruit.com/blog/2010/11/10/we-have-a-winner-open-kinect-drivers-released-winner-will-use-3k-for-more-hacking-plus-an-additional-2k-goes-to-the-eff/>

6. Madhav, K. (2010, 9. joulukuuta). OpenNI Standard Launched. Haettu 20.12.2011 osoitteesta <http://kinecthacks.net/openni-standard-launched/>
7. Microsoft. (2011, 16. kesäkuuta) Microsoft Releases Kinect for Windows SDK Beta for Academics and Enthusiasts. Haettu 18.1.2012 osoitteesta http://www.microsoft.com/Presspass/press/2011/jun11/06-16MSKinectSDKPR.aspx?rss_fdn=Custom
8. Microsoft. (2011, 31. lokakuuta) 'Kinect Effect' Magic Pushes Beyond the Living Room. Haettu 18.12.2012 osoitteesta <http://www.microsoft.com/Presspass/Features/2011/oct11/10-31KinectEffect.aspx>
9. Pradeep, Microsoft News. (2011, 22. marraskuuta). Microsoft: New Kinect Hardware For Windows Coming In Early 2012. Haettu 20.12.2011 osoitteesta <http://microsoft-news.com/microsoft-new-kinect-hardware-for-windows-coming/>
10. Colvin, C.E., Babcock, J.H., Forrest, J.H., Stuart, C.M., Tonnemacher, M.J., Wen-Shin Wang, (2011). Multiple User Motion Capture and Systems Engineering. *Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS), 2011 IEEE, 137-140.*
11. Huang Jun-da, (2011). Kinerehab: A Kinect-based System for Physical Rehabilitation – A Pilot Study for Young Adults with Motor Disabilities. *The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (ASSETS '11) Dundee, Scotland, UK, October 24-26 (s. 319-320).*
12. Mair, G.M (1997). Telepresence-the technology and its economic and social implications. *Technology and Society, 1997. 'Technology and Society*

at a Time of Sweeping Change'. Proceedings., 1997 International Symposium, 1997, 118-124.

13. Maimone, A., Fuchs, H. (2011). Encumbrance-free telepresence system with real-time 3D capture and display using commodity depth cameras. *Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2011 10th IEEE International Symposium Basel, Switzerland, October 26-29* (s. 137-146).
14. Dippon, A., Klinker, G. (2011). KinectTouch: accuracy test for a very low-cost 2.5D multitouch tracking system. *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS '11) Kobe, Japan, November 13-16* (s. 49-52). New York: ACM.
15. Mann, S. Huang, J. Janzen, R. Lo, R. Rampersad, V. Chen, A. Doha, T. (2011). Blind navigation with a wearable range camera and vibrotactile helmet. *Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia (MM '11). Scottsdale, Arizona, USA., November 28-December 1* (s. 1325-1328). New York: ACM.
16. Sonka, M. Hlavac, V. Boyle, R. (2008). Image processing, analysis and machine vision. (3. painos). Stamford, USA: Cengage learning.
17. Murray, D. Little, J.J. (2004). Environment modeling with stereo vision. *Proceedings of 2004 IEEE/RSI International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2004). Sendai, Japan, September 28 - October 2* (s. 3116-3122). IEEE
18. Balakrishnan, G. Sainarayanan, G. Nagarajan, R. Yaacob, S. (2005). Fuzzy Matching Scheme for Stereo Vision based Electronic Travel Aid. *TENCON 2005 - 2005 IEEE Region 10 Conference (2005), Melbourne, Australia, November 21 - 24* (s. 1-4). IEEE
19. Nelson, R.C. (1991). Qualitative detection of motion by a moving observer. *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer*

Vision and Pattern Recognition (CVPR '91). Lahaina, Maui, HI June 3-6 (s. 173-178). IEEE

20. Ching Yee Yong. Sudirman, R. Kim Mey Chew. (2011). Motion Detection and Analysis with Four Different Detectors. *Third International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIMSIM 2011). Langkawi, Malaysia September 20-22 (s. 46-50). IEEE*