



KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ

Kolmiulotteisten kappaleiden tutkiminen

Olli Ekman

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja laiteautomaatio

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja laiteautomaatio

EKMAN, OLLI:
Konenäköjärjestelmä
Kolmiulotteisten kappaleiden tutkiminen

Opinnäytetyö 41 sivua, joista liitteitä 8 sivua
Toukokuu 2013

Opinnäytetyö tehtiin Orimattilassa sijaitsevalle teknologiayritys Orferille. Työn tavoitteena oli kehittää konenäköjärjestelmästä referenssidesign, jonka avulla pystytään tutkimaan kolmiulotteisia kappaleita. Kolmiulotteisista kappaleista järjestelmän tulisi tunnistaa kappaleen eheys, tyhjyys, ylikorkeus ja mahdollinen epätasainen pakkaaminen. Aihe rajattiin koskemaan järjestelmän kamerasovellusta, jolloin ulkopuolelle jäivät muun muassa sähkö- ja ohjelmointisuunnittelu.

Työ aloitettiin teorialueella, jossa tarkasteltiin, mistä konenäköjärjestelmä koostui. Toimintaperiaatteiden tullessa tutuiksi kartoitettiin keinoja, joilla järjestelmän toiminnot pystyttiin toteuttamaan. Jokaiselle toiminnolle keksittiin useampi mahdollinen toteutustapa, joita vertailemalla tehtiin lopulliset päätelmät. Keinoja vertailtiin toisiinsa ja niistä arvioitiin hyviä ja huonoja puolia. Lähemmissä tarkasteluissa kuitenkin ilmeni vain yksi toteutus, jolla saatiin toteutettua kaikki tarvittavat toiminnot ilman suurempia huomioita.

Työssä päädyttiin siihen, että järjestelmä toteutetaan 3D-kameralla, jossa käytetään apuna kahta kolmipistemittauslaseria. Tällä menetelmällä saadaan toteutettua kaikki tarvittavat järjestelmän toiminnot. Opinnäytetyö sisältää salassa pidettävää materiaalia.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Mechanical and Production Engineering
Option of Machine Automation

EKMAN, OLLI:
Machine Vision System
Analysing Three Dimension Objects

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 8 pages
May 2013

This bachelor's thesis was made to technology corporation Orfer which locates in Orimattila. The aim of this thesis was to developed reference design from the machine vision system. The system analyzes three dimension objects. The system should recognize is the object whole, empty, too high or is it packed unstable. This thesis was limited concern about camera application. Because of that among other things electricity and program design where left outside of the thesis.

The thesis was started with theory survey. The survey examined from where the machine system consist. There were surveyed ways how to accomplish the system's functions when the operating principles came familiar. There were invented many ways to accomplish the design for every object. The finally decisions were made comparing the ways to accomplish the design. Those ways were compared and after comparing they were rated. After all that finally conclusions were made. The ways were comparing to each other and from those were rated good and bad sides. Finally there came trough that there is only one possible way to accomplish all the necessary functions without any bigger notices.

The conclusion is that the system will be accomplished with 3D camera with two triangle measurement laser. You can accomplish all the needed system's functions with this method. The bachelor's thesis includes material which is confidential.

Key words: machine vision, three dimension objects, industrial camera

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ORFER OY	7
3	KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN OSA-ALUEET	8
3.1	Kuvan muodostus	9
3.1.1	Kamerat	9
3.1.2	Linssit.....	12
3.1.3	Valaistus.....	14
3.2	Kuvankaappaus	16
3.3	Kuvananalysointi	17
3.3.1	Esikäsittely	17
3.3.2	Suodatus	17
3.3.3	Segmentointi	19
3.3.4	Tunnistus ja tulkinta.....	20
3.4	Ohjaujärjestelmä.....	21
4	JÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET JA KAMERA TOTEUTUKSET	22
4.1	Järjestelmän vaatimukset	22
4.2	Tyhjän kappaleen tunnistus	22
4.2.1	Vaaka	23
4.2.2	2D kuvaus	24
4.2.3	3D kuvaus	24
4.3	Kappaleen eheyden tunnistus.....	25
4.3.1	2D värikuvaus	25
4.3.2	3D kuvaus	26
4.4	Kappaleen ylikorkeuden tunnistus.....	26
4.4.1	Valoverho.....	26
4.4.2	2D- ja 3D-kamera.....	27
4.5	Epätasaisen pakkaamisen tunnistus	27
5	KAMERAVALINNAT	28
5.1	Kamerasovellusten valinta.....	28
5.2	Esimerkki valinnat kameroista.....	29
6	POHDINTA.....	32
	LÄHTEET.....	33

LYHENTEET JA TERMIT

3D kamera	3D-kamera pystyy kuvaamaan kohteen kolmessa ulottuvuudessa ja tuottamaan kuvattavasta kohteesta 3D-kuvan.
2D kuvaus	2D-kuvauksessa kamera tuottaa tavallisen kuvan, kuten tavallinen digitaalikamera.
CCD	Tieto tallennetaan elektronisesti kennolle, kun se tulee objektiivin läpi, jonka jälkeen se muutetaan muuntimella digitaaliseksi.
CMOS	Mikropiiritekniikka, joka perustuu kanavatransistoreihin. Käytetään muun muassa digitaali- ja radiotaajuisissa piireissä.
VGA	Näyttöstandardi, jonka resoluutio on 640x480.
PCI-väylä	PCI on lyhenne sanoista Peripheral Component Interconnect. PCI-väylä on tietokoneväylä, jonka avulla liitetään lisälaitteita tietokoneeseen.
RGB	Väriavaruus, jossa eri värit muodostetaan sekoittamalla punaista, vihreää ja sinistä (RGB: Red - Green - Blue).
S-VHS	S-VHS on kuvanauhaformaatti, joka on lyhenne sanoista Super Video Home Entertainment System.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheen tilaajana toimii teknologiayritys Orfer Oy Orimattilasta. Opinnäytetyön aihe on kuljetinlinjalle asennettava konenäköjärjestelmä, jonka avulla tutkitaan linjastolla kulkevia kolmiulotteisia kappaleita. Konenäköjärjestelmän tulee tunnistaa kappaleet, jotka ovat rikkoutuneet sekä mahdolliset tyhjät kappaleet, joita voisivat olla muun muassa erinäiset astiat, laatikot ja lavat. Lisäksi mahdollisessa asiakassovelluksessa konenäköjärjestelmän tulisi tunnistaa myös onko laatikko pakattu liian korkeaksi ja onko se pakattu epätasaisesti.

Opinnäytetyön tavoitteena ja tarkoituksena on kehittää referenssidesign konenäköjärjestelmästä, joka pystyy tunnistamaan edellä mainittuja yksityiskohtia kappaleista. Referenssidesignin tulee olla muokattavissa asiakaskohtaisesti, joten järjestelmän tutkiminen rajataan kamerasovellus valintoihin. Rajauksen ulkopuolelle jäävät muun muassa järjestelmän ohjelmointi, sähkösuunnittelu ja mekaniikkasuunnittelu. Työ aloitetaan tutkimalla erilaisia sovellusvaihtoehtoja, joilla järjestelmä pystyttäisiin toteuttamaan. Vaihtoehdoista valitaan varteenotettavimmat vaihtoehdot, joiden perusteella tehdään mallivalinnat käytettävistä kameroista. Opinnäytetyötä apuna käyttäen tullaan mahdollisesti luomaan järjestelmästä jonkinlainen prototyyppi.

Työ rakentuu teoriaosuudesta, tutkimuksesta ja pohdinnasta. Teoriaosuudessa käydään läpi konenäköjärjestelmän rakennetta ja sen osa-alueita. Tutkimuksessa tutkitaan mahdollisia kameravalintoja järjestelmän kameratoteutuksiksi ja pohdinnassa arvioidaan tehtyä työtä.

2 ORFER OY

Orimattilassa sijaitseva Orfer Oy on perheyriutus, joka perustettiin vuonna 1970. Orfer Oy työllistää nykyään suoraan yli 80 henkeä ja sen liikevaihto on n. 12 miljoonaa euroa. Yrityksen aloittaessa pääasialliset tuotteet olivat alihankintana valmistetut osat sekä sahateollisuuden koneet ja laitteet. (Orfer Oy, Historiaa.)

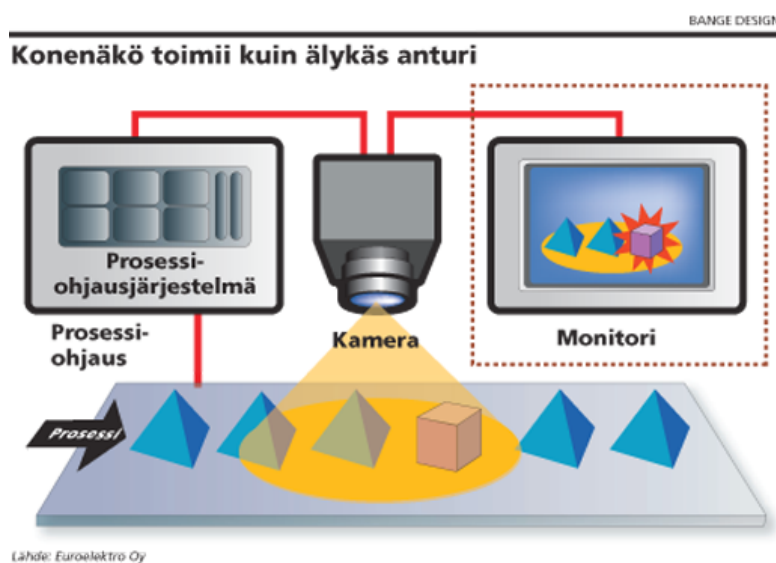
Nykyään Orfer Oy:n liiketoimintayksikköihin kuuluvat robostiikka (robotiikka ja logistiikka) ja sen tunnuslauseena toimii ”Enemmän älyä kuin rautaa”. Olennaisena osana Orferin toimintaan kuuluvat kaikenkattavat suunnittelupalvelut. Sen toimintaan kuuluu myös erinäisten osien valmistus sekä kokoonpanot ja asennukset. Yritys suunnittelee alusta alkaen automaatio- ja robottijärjestelmät, jotka sen omat valmistuspalvelut valmistavat. Se tarjoaa myös pelkkää suunnittelupalvelua yrityksiin tarpeisiin. Asiakkaiden kannalta ehkä yksi tärkeimmistä asioista on Orferin tarjoamat huoltopalvelut. Huoltopalvelut pitävät sisällään mm. huoltosopimukset ja ennakkohuollot, koulutuksen laitteisiin sekä 24/7 teknisen tuen, joiden avulla koneiden elinkaarta saadaan kasvatettua huomattavasti. Orferin yleisesti tunnettuja asiakkaita ovat mm. Fazer Suklaa Oy, Fazer Leipomot Oyj, Oy Gustav Paulig Ab, Saarioinen Oy ja Valio Oyj. (Orfer Oy, Mahdollistamme tehokkaan tuotannon.)

Orfer maahantuo Kawasakin ja Toshiba robotteja teollisuuskäyttöön sekä Rowa apteekki-robotteja saksalaiselta yritykseltä. Rowa varastoi lääkkeitä ja kuljettaa niitä 8–15 sekunnissa farmaseuteille. Rowa vähentää tilaa, mitä vaaditaan lääkkeiden varastointiin sekä nopeuttaa huomattavasti lääkkeiden jakoa. Siihen saa asennettua myös automaattisen sisäänsyöttöjärjestelmän eli Prologin. Näiden ominaisuuksien ansiosta toimintaa saadaan nopeutettua huomattavasti ja ns. miestyötunnit saadaan organisoitua paremmin.

3 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄN OSA-ALUEET

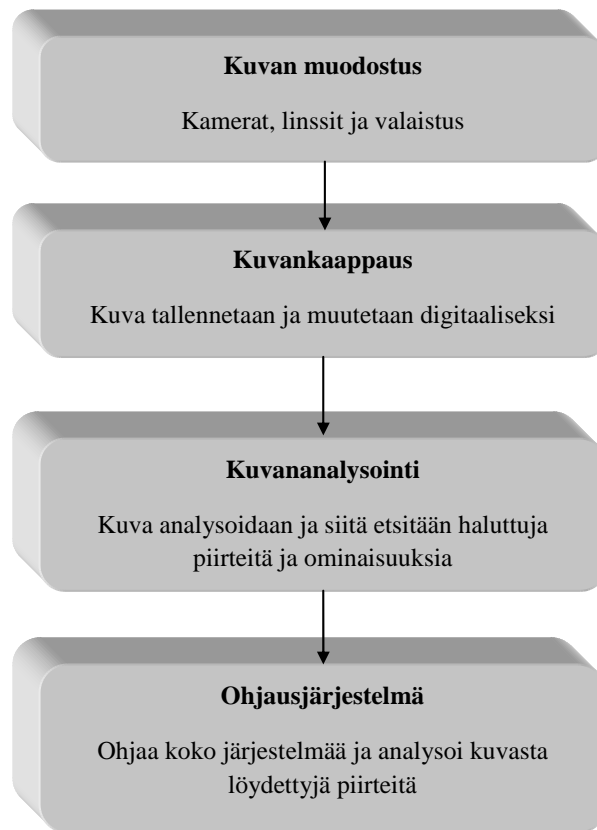
Konenäön tehtävänä on jäljitellä ihmisen näkökykyä ja tarkkailla erilaisten tuotteiden ja kappaleiden tiettyjä piirteitä. Ihmiseen verrattuna konenäkö on tarkka eikä sen ”silmä” väsy pitkänkään työpäivän aikana, jolloin virhealttius kasvaisi. Tärkein konenäön osa-alue teollisuudessa on laaduntarkkailu. Laaduntarkkailussa voidaan tutkia tuotteiden eheyttä ja tarkastaa, että mahdolliset lisäkomponentit ovat oikeilla paikoilla tai, että ne ylipäättään ovat paikallaan. Lisäkomponentteja voivat olla muun muassa viivakoodit ja tarrat. Konenäköjärjestelmä voidaan myös liittää osaksi robottisovellusta, jossa konenäön tehtävänä olisi esimerkiksi robotin paikoitus työkalua noutaessa (Orbis Oy, Konenäkö). Robotille ohjelmoitaisiin reitti työkalun luo, mutta konenäön avulla se paikoitaisi työkalun, jonka perusteella se osaisi tarttua siihen.

Konenäköjärjestelmä on tehokas ja sillä saadaan nopeutettua työprosessia, koska se pystyy havainnoimaan sekunneissa ja jopa nopeammin sen mihin ihmiseltä kuluisi useita minutteja, eikä ihmissilmä siltikään välttämättä huomaa kaikkia tarvittavia yksityiskohtia. Yksinkertaisimmillaan konenäköjärjestelmä koostuu kamerasta, joka ottaa halutusta kohteesta kuvan sekä tietokoneesta jonne kuva siirtyy analysoitavaksi (Kuvio 1). Lisäksi tietokoneesta löytyy jonkinlainen kuvananalysointiohjelma, jotta kuva saadaan tarvittaessa muokattua jolloin siitä saadaan etsittyä haluttuja piirteitä.



KUVIO 1: Konenäköjärjestelmä yksinkertaisimmillaan. (Lehtinen, 2009.)

Konenäköjärjestelmä voidaan jakaa neljään eri osa-alueeseen, jotka ovat kuvan muodostus, kuvan kaappaus, kuvan käsittely sekä ohjausjärjestelmä (Kuvio 2).



KUVIO 2: Konenäköjärjestelmän osa-alueet (Halinen 2007, 3.)

3.1 Kuvan muodostus

Kuvan muodostus koostuu kolmesta eri osasta kamerasta, linssistä ja valaistuksesta. Kamera ja linssi ovat yleensä yhtenä komponenttina järjestelmässä. Valaistus voi olla integroituna kameraan esimerkiksi, kun kappaletta kuvatessa suoravalaistus onärkevin vaihtoehto. Valaisumenetelmästä riippuen ne voivat olla myös erillisinä komponentteina, jolloin saadaan haluttuja piirteitä paremmin esiin.

3.1.1 Kamerat

Kamera on yksi konenäköjärjestelmän tärkeimmistä komponenteista. Kameraa valittaessa tulee ottaa huomioon millaista kennotekniikkaa se käyttää (CCD ja CMOS), ja kumpi sopii paremmin järjestelmään analoginen vai digitaalinen kamera ja tarvitaanko

sovelluksessa älykameraa tai värin tunnistamista. Sillä markkinoilta löytyy tällä hetkellä paljon erilaisia kameravaihtoehtoja. Nykyään analogisia kameroita käytetään kuitenkin harvemmin ja yleensä järjestelmässä käytetään digitaalisia kameroita. Vaikka tarjolla onkin kalliita huippukameroita, on kuitenkin järkevämpää valita ominaisuuksiltaan sellainen kamera järjestelmään, joka täyttää tarvittavat kriteerit. Esimerkiksi kohteen asennon määrittämiseen voi riittää pieni resoluutioinen VGA-kamera (Video Graphics Array). Silloin siihen ei kannata valita korkeamman resoluution omaavaa kameraa, koska VGA-kameran hankintahinta on alhaisempi ja se kuormittaa järjestelmää vähemmän, koska se tuottaa vähemmän luettavaa dataa.

CCD (Charge-Coupled Device) ja CMOS (Metal Oxide Semiconductor) ovat kennotyyppejä, joita käytetään kuvasensoreina konenäköjärjestelmissä. Tekniikaltaan kennot vastaavat suuresti toisiaan, mutta peruserona on kennoissa käytettävä puolijohdetekniikka. Suurin ero kennojen välille muodostuu siitä, miten niitä nykypäivänä tuotetaan. CMOS-tekniikka on yleisesti käytössä ja sitä kehitetään edelleen. CMOS-kennoa käytetään yleisesti käytettävissä olevissa piireissä, kuten mikroprosessoreissa ja muisteissa. CCD-tekniikkaa ei enää kehitetä samalla tavalla kuin CMOS- tekniikkaa ja sitä valmistetaan vain muutamilla Sonyn tehtailla, kun taas CMOS- tekniikkaa valmistavat useat eri tahot. CMOS-tekniikkaa voittaa CCD-tekniikkaan alhaisemmalla virrankulutuksella ja halvemmalla hinnalla. (Rinne, 2003.)

Matriisikamerassa olevien CCD- ja CMOS-kennojen kuvaelementtejä kutsutaan pikseleiksi. Matriisikameran matriiseissa pikseleitä on $m \times n$ kappaletta (Kuvio 3). Kennoja on useaa eri kokoluokkaa. Suurilla kennoilla saadaan aikaiseksi tarkempi kuva, sillä pikselien määrän lisääntyessä pystytään toistamaan pienempiä yksityiskohtia. Kuvaelementtien määrän kasvaessa kuitenkin kuvan käsittelemiseen vaadittu aika kasvaa, kun tarkasteltavia pikseleitä on enemmän. Viivakameroiden pikselit ovat jonossa (Kuvio 3), ja näin ollen ne ovat tarkempia ja nopeampia kuin matriisikamerat, koska niissä kerralla luettavien pikselien määrä on alhaisempi. Viivakameraa käytetään kuvaamaan liikkuvia kohteita. Hinnaltaan viivakamerat ovat kalliimpia kuin matriisikamerat ja ne vaativat enemmän valoa toimintaansa. (Halinen 2007, 4.)



KUVIO 3: Matriisi- ja viivakameran matriisit. (Alroth 2010.)

Älykamera on nimensä mukaisesti älykäs. Älykamera koostuu itse kuvan ottavasta kamerasta, valaistuksesta sekä sisäänrakennetusta tietokoneesta, joka prosessoi tietoa sekä suorittaa kuvankäsittelyohjelmaa. Älykamera sisältää siis kaikki konenäköjärjestelmässä tarvittavat komponentit. Yleensä älykameroiden mukana tulee valmis ohjelmisto, jolla kamera on helppo konfiguroida tunnistamaan haluttuja piirteitä eikä se vaadi käyttöönottajalta ohjelmointikielen osaamista. (Peltoniemi 2011, 10.)

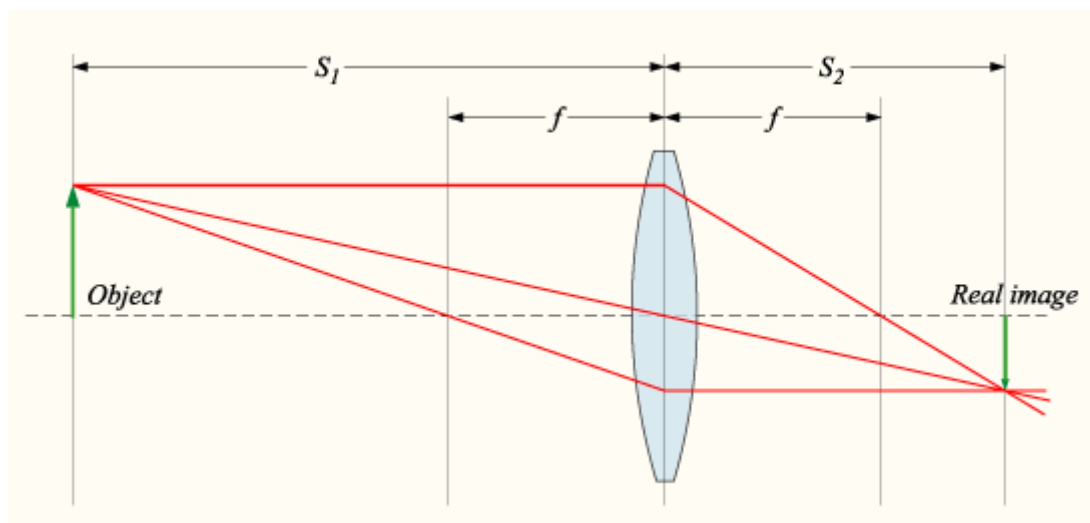
3D-kameralla ja siihen yhteensopivalla ohjelmistolla pystytään tuottamaan reaaliajassa tarkka 3D-paikkatieto kuvattavasta kohteesta. 3D-kameralla pystytään korvaamaan konenäköjärjestelmässä useampi 2D-kamera, kuten piirteiden tunnistamiseen kappaleen pinnasta tarvitaan useampi 2D-kamera, kun 3D-kamera pystyy luomaan muodoista suoraan 3D-mallin. Järjestelmässä olevat kiinteät kamerat voidaan korvata liikkuvalla kameralla, jolloin pystytään mitoittamaan, lajittelemaan ja keräälemään erilaisia kappaleita. Liitettäessä 3D-kamera robottiin, pystytään kallellaankin oleva kappale tunnistamaan, jolloin robotti osaa tarttua kappaleeseen oikein ja se saa siirrettyä sen haluttuun paikkaan. (Cognex Corporation 2011.)

Värikameraa käytetään nimensä mukaisesti värien tunnistamiseen. Värikameroiden värien tunnistus perustuu kolmivärimenetelmään. Kolmivärimenetelmässä lähetetään tutkittavaan kohteeseen kolmea väriä, jotka ovat punainen, vihreä ja sininen (RGB). Palaa- vasta värisäteilystä lasketaan RGB-suhde ja verrataan sitä muistissa oleviin referenssiarvoihin, joista se tunnistaa mistä väristä kuvattavassa kohteessa on kysymys. (Peltoniemi 2011, 11.)

3.1.2 Linssit

Linssit ovat kaarevapintaisia, optisia kappaleita, jotka valmistetaan läpinäkyvästä materiaalista kuten lasista. Linssien tehtävänä on taittaa siihen tulevaa valoa tai säteilyä, ja se joko hajottaa tai kokoaa sitä, riippuen linssityypistä. Yleisimmät linssityypit ovat kupeerat ja koverat linssit, sekä niiden lisäksi on myös Fresnel-linssi. Linssien polttoväli (f), aineen taitekerroin sekä linssin muoto kertovat linssien ominaisuuksista ja siitä miten ne taittavat valoa ja säteilyä. Positiivinen polttoväli tarkoittaa, että kyseessä on kokoava linssi ja negatiivinen polttoväli taas tarkoittaa koveraa linssiä.

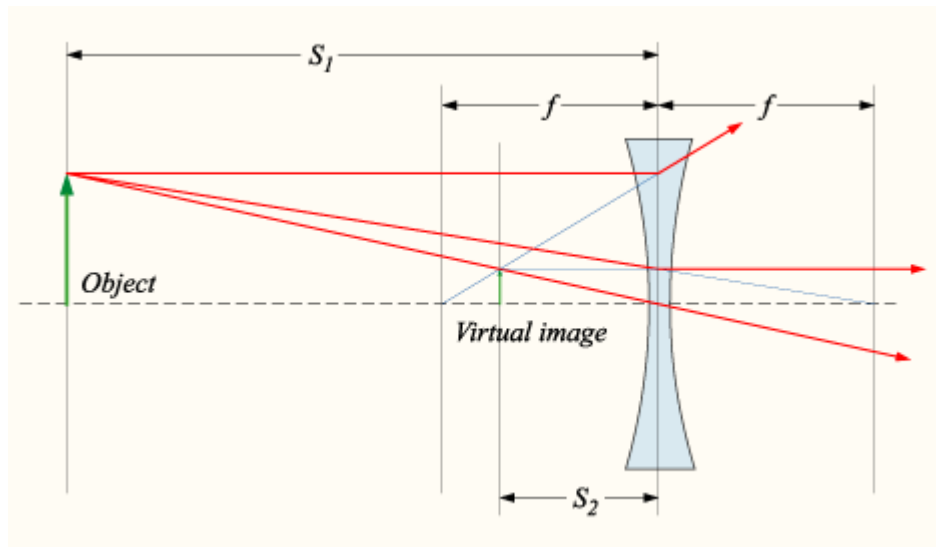
Kupera linssi on muodoltaan keskeltä paksu ja reunalta ohut, kaarevapintainen linssi (KUVIO 4). Kuperan linssin polttoväli on positiivinen, joten se kerää valoa ja säteitä polttopistettä kohti. Polttopisteen ja linssin väliseen matkaan vaikuttaa se miten paksu linssi on kyseessä. Kupera linssi muodostaa todellisen kuvan, joka saadaan näkyviin varjostimen avulla. Tunnetuimpia kuperan linssin käyttökohteita ovat muun muassa suurennuslasit ja kiikarit.



KUVIO 4: Valon taittuminen kuperassa linssissä (Wikipedia 2013.)

Kovera linssi on muodoltaan keskeltä ohut ja reunalta paksu, kaarevapintainen linssi (KUVIO 5). Koveran linssin polttoväli on negatiivinen, joten se hajottaa valoa ja säteitä pois polttopisteestä. Koveran linssin taittamien säteiden jatkeet kuitenkin kohtaavat vaalempolttopisteessä, joka muodostuu linssin taakse, minne se myös muodostaa kuvan. Koveran linssin muodostamaa kuvaa ei saada näkyviin varjostimen avulla. Kuva on kuitenkin mahdollista havaita paljaalla silmällä katsomalla linssin läpi, jolloin havaitaan ns.

valekuva. Koveria linssjä käytetään muun muassa silmälasissa korjaamaan likinäköisyyttä ns. miinuslasilla (Suomen Työnäköseura).



KUVIO 5: Valon taittuminen koverassa linssissä (Wikipedia 2013.)

Fresnel-linssit ovat erittäin ohuita ja kevyitä, sahalaitaisia linssjä. Alkujaan fresnel-linssit kehiteltiin majakoita varten, koska sillä pystyttiin maksimoimaan valon määrä, jonka se säteilee eteenpäin. Kuvioista 6 huomataan miten säteet säteilevät valonlähteestä linssiin ja linssin sahalaitaisuuden myötä syntyneet erilaiset prismat taittavat valonsäteet kulkemaan suoraan. (H. Beaglehole 2012.) Fresnel-linssjä käytetään majakoiden lisäksi myös piirtoheittimissä.

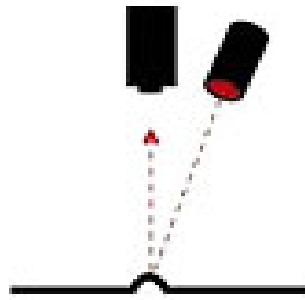


KUVIO 6: Valon taittuminen fresnel-linssissä. (The Encyclopedia of New Zealand.)

3.1.3 Valaistus

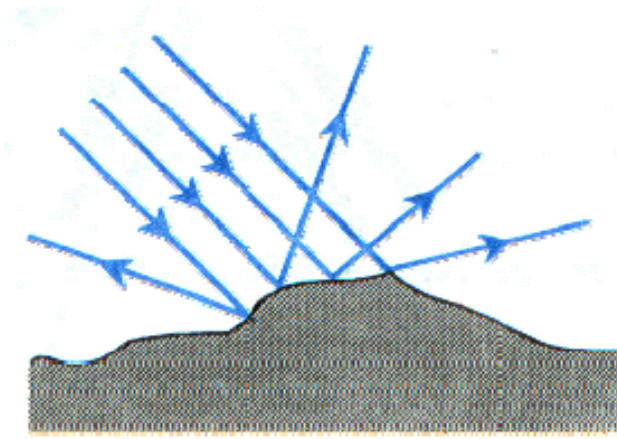
Konenäköjärjestelmän eräs kriittisimmistä osa-alueista on valaistus. Sillä voi joko pe-
lastaa tai tuhota konenäköjärjestelmän toiminnan. Valoina valaistuksessa käytetään loisteputkia, ledejä, kaasupurkaus- ja laservaloja. Ledit kuitenkin yleistyvät eniten, koska niillä on erittäin pitkä ikä verrattuna loisteputkiin ja muihin sekä ne ovat energia tehokkaampia. Erilaisia valaisumenetelmiä löytyy useita ja niistä yleisimpiä ovat suora valo (Directional Light), epäsuora valo (Diffuse Light) ja taustavalo (Back Lighting). (Halinen 2007, 7.)

Suorassa valossa (Kuvio 7) kappaletta valaistetaan tehokkailla valaisimilla suoraan, jolloin valaistuun kappaleeseen muodostuu terävät varjot. Kohdepinnat eivät valaistu tasaisesti, mikä synnyttää ei-toivottuja varjoja. (Halinen 2007, 7.)



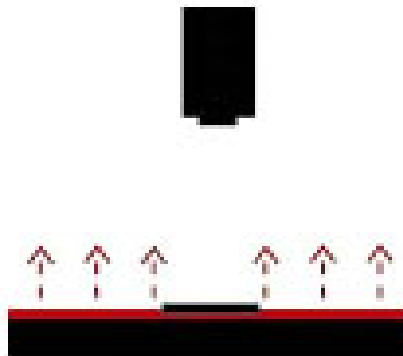
KUVIO 7: Suora valaistus. (Orbis Oy.)

Epäsuorassa valossa (Kuvio 8) valon säteet ohjataan kohdistumaan jonkin toisen pinnan kautta haluttuun pintaan. Verrattaessa epäsuoraa valoa suoraan valoon, epäsuora valo tuottaa vähemmän varjoja ja valaisee kohdepinnan tasaisemmin. (Halinen 2007, 7.)



KUVIO 8: Epäsuora valaistus. (Oracle: ThinkQuest.)

Taustavalaistus sopii hyvin esimerkiksi tilanteeseen, jossa tarvitsee mitata kappaleen ulkomitat. Taustavalaistuksessa kappaletta valaistaan takaapäin siten, että valonsäteet suuntautuvat kohtisuoraan kameraa kohti, jolloin kameralle muodostuu varjo valaistavasta kappaleesta (Kuvio 9). Tämä valaistusmenetelmä korostaa hyvin ulkoreunoja, jolloin ne on helppo mitata. (Halinen 2007, 7.)



KUVIO 9: Taustavalaistus. (Orbis Oy).

Salamavalo eli stroboskooppi tuottaa eräänlaista katkonaista valoa. Valaistaessa kappale vain hetkeksi, sen liike saadaan ikään kuin pysäytettyä ja kamera saa otettua pysäytetyn kuvan kohteesta jolloin kuvaan ei muodostu sumentumaa. (Halinen 2007, 7–8.)

3.2 Kuvankaappaus

Kuvankaappaamisen konenäköjärjestelmässä hoitaa kuvankaappauskortti (Kuva 1). Kuvankaappauskortin tehtävänä on tuoda kuva järjestelmään, joka erikseen käsittelee kuvaa halutulla tavalla. Kuvankaappauskortti voi olla jo valmiiksi integroituna kameran, tai se liitetään erillisenä osana järjestelmään. Mikäli kuvankaappauskortti on erillinen komponentti, niin yleensä se liitetään suoraan PC:n PCI-väylään mikä nopeuttaa tiedonsiirtoa muistiin ja näytölle. (Halinen 2007, 8.)



KUVA 1: Pico HD One kuvankaappauskortti. (Euresys, 2013.)

Mikäli kuvan videosaalin käsittely tapahtuu analogisesti, tulee se muuntaa ennen siirtoa digitaaliseen muotoon. Kun kuva on muunnettu digitaaliseksi, se voidaan siirtää käsiteltäväksi tai näytölle tarkastettavaksi. Koska alkuperäistä kameran ottamaa kuvaa on muunneltu, ovat kuvan pikselit hieman erilaisia alkuperäiseen verrattuna. Analogisia siirtotapoja ovat muun muassa RGB, Composite video ja S-VHS. (Halinen 2007, 8.)

Videosignaalin ollessa digitaalinen, ei sitä yleensä tarvitse muuntaa analogiseksi. Poikkeuksena kuitenkin on, että minkäläistä siirtotiestandardia käytetään välittämään signaalia. Esimerkiksi Firewire (IEEE 1394) saattaa tarvita erillisen kortin signaalin välittämiseen, ellei Firewire porttia ole jo valmiiksi integroitu käytettävään tietokoneeseen. Videosignaalin ollessa digitaalinen, kuvan pikselit säilyvät samanlaisina kuvan ottamisesta eteenpäin ja, koska niitä ei tarvitse muuntaa niiden yksityiskohdat pysyvät muuntumattomina, jolloin konenäköjärjestelmä pystyy hyödyntämään kuvat kaikista parhaiten. Digitaalisen signaalin merkittävimpiä hyötyjä ovat muun muassa pienemmät häiriöt, kuvan päivitystaajuus on suurempi ja parempi resoluutio. (Halinen 2007, 8–9.)

3.3 Kuvananalysointi

Yleensä ennen kuin itse kuvasta etsitään tarvittavia piirteitä, tulee sitä muokata, jotta halutut piirteet saadaan kunnolla näkyviin. Kuvasta pyritään myös karsimaan ylimääräinen data pois, jolloin kuvasta jää jäljelle tarvittavat mittaustulokset. Kuvananalysointi voi tapahtua kokonaan tietokoneen toimesta tai kaappauskortti on voitu ohjelmoida hoitamaan osan kuvan muokkaamisesta. Kehitys on kuitenkin tuonut tullessaan kaappauskortit, joissa on oma prosessorinsa, jolloin se pystyy huolehtimaan yksinkertaisimmista kuvananalysointi tehtävistä, kuten suodatus, rajausta ja kuvan koon muuttaminen. Nykypäivänä myös kamerat pystyvät suorittamaan kuvananalysointia. (Halinen 2007, 9.)

3.3.1 Esikäsittely

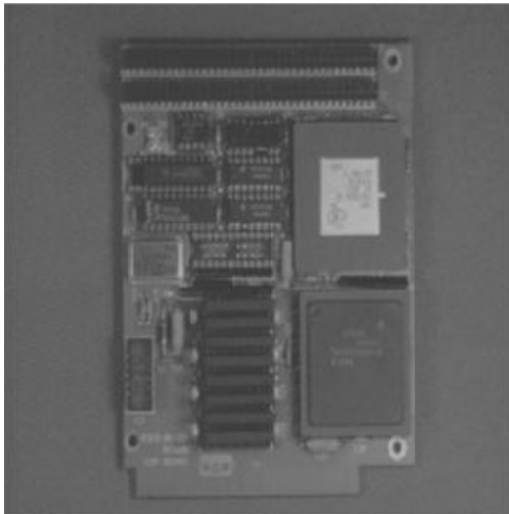
Ennen kuin itse kuvaa aletaan varsinaisesti käsitellä, tehdään sille tarvittaessa esikäsittely. Esikäsittelyllä pyritään poistamaan kuvaus hetkellä tapahtuneita virheitä ja häiriöitä kuten erilaiset kohinat, linssin vääristymät ja valoherkkyyden aiheuttamat virheet. Esikäsittely vaiheessa muutetaan myös kuvan kontrastia eli säädetään kuvan harmaa- ja värisävyjä, mikäli etsittävät piirteet sitä vaativat. (Peltoniemi 2011, 34.)

3.3.2 Suodatus

Suodattimilla pyritään poistamaan kuvaushetkellä ilmaantuneita häiriöitä sekä tuomaan paremmin näkyviin tutkittavia yksityiskohtia (Kuvat 1 ja 2). Yleisimpiä suodattamalla korjattavia virheitä ovat ns. täpähtäneet kuvat sekä erilaiset kohinat. Mikäli kuvassa on suuria häiriöitä, tulee suodatus toistaa useampaan kertaan. Tavoitteeksi kuitenkin asetetaan, että itse kuvaushetki saadaan järjestettyä niin häiriövapaaksi, että kuvaa ei tarvitse suodattaa, sillä kuvasta katoaa informaatiota aina suodattaessa. (Skinnari 2005, 22.)



KUVA 2: Suodattamaton kuva. (Halinen 2007.)



KUVA 3: Suodatettu kuva. (Halinen 2007.)

Keskiarvo- ja mediaanisuodatus ovat yleisimpiä menetelmiä kuvien suodattamisessa. ”Suodatuksessa kuvan yli ajetaan sopivalla maskilla.” (Skinnari 2005, 22). Tämä tarkoittaa, että pikselille lasketaan keskiarvo tai mediaani maskin alueella olevilla pikseleillä, josta tulee pikselin uusi arvo. Maskien kokoluokkien skaala on varsin suuri, kun pienimmät ovat kooltaan 2 x 2- maskia ja suurimmat 64 x 64-maskia. Vaikka maskien kokoja löytyykin isolla variaatiolla, yleisimmin käytettyjä maskeja ovat 3 x 3-maskit (Kuvio 10). (Skinnari 2005, 22.)

1	0
0	-1

0	1
-1	0

(a)

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

(b)

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(c)

KUVIO 10: Reunanetsintämaskeja. (a) Roberts, (b) Prewitt, (c) Sobel

3.3.3 Segmentointi

Segmentoinnilla tarkoitetaan kuvan jakamista erilaisiin osiin, jolloin etsittävät piirteet nousevat paremmin esiin. Segmentoinnilla voidaan esimerkiksi erottaa kuvattava kappale taustastaan (Peltoniemi 2011, 31). Segmentointi tapoja ovat muun muassa kynnystys, erotuskuvat ja gradientin muutoskohtien etsintä.

Kynnystyksellä pyritään säätämään harmaatasoille oikeanlainen raja-arvo, jonka perusteella kuvasta leikataan alue tutkittavaksi. Tähän leikattuun kuvaan jää näkyviin vain tutkittavat piirteet. Tällaista kuvaa kutsutaan binäärikuvaksi. Valaistuksella saadaan helpotettua itse kynnystystä. Ajan kuluessa valaistusolosuhteet muuttuvat mikä muuttaa kynnysarvoa joka joudutaan määrittämään uudelleen, joka jo alun alkajaankin on vaikea määrittää. (Skinnari 2005, 24.)

Erotuskuvan periaatteena on erottaa kuvasta ne piirteet, jotka ovat irrelevantteja tutkittavien piirteiden suhteen. Tehtäessä vähennys jokaiselle pikselille, kuvassa saadaan halutut piirteet esiin. Myös kuvissa näkyvää liikettä pystytään havainnoimaan erotuskuvala. (Skinnari 2005, 24–25.)

Gradientti tarkoittaa kaksiulotteista derivaattaoperaattoria, jolla suoritetaan reunojen etsintää. Gradientin muutoksessa pyritään löytämään kulmakertoimen muutoksia joita kuvassa ilmenee. Kulmakertoimen muutoksia tapahtuu yleensä kuvattavan kohteen reu-

3.4 Ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmä nimensä mukaisesti ohjaa järjestelmään. Ohjausjärjestelmän olennaisena osana on ohjata järjestelmän automaatiokomponentteja. Aluksi järjestelmän ohjelmistot prosessoivat kuvan, jonka jälkeen määräytyy mitä tilanteessa tehdään. Esimerkiksi, jos laaduntarkkailussa kuvasta löydetään jokin hylkäävä piirre, jolloin ohjausjärjestelmä voi vaihtoehtoisesti ohjata robotin noutamaan kappaleen pois tai se ohjataan linjastolta pois muuta reittiä. Mikäli kuva vastaa tarvittavilta osin referenssikuvaa, saa se jatkaa matkaansa linjastolla. Ohjausjärjestelmä voi lisäksi tehdä muutoksia esimerkiksi kuvankäsittelyssä käytettäviin parametreihin (Halinen 2007, 12).

4 JÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET JA KAMERA TOTEUTUKSET

Konenäköjärjestelmän ominaisuudet ja vaatimukset perustuvat erään asiakkaan tarpeisiin (Liite 1), jonka lisäksi on myös keskusteltu opinnäytetyön ohjaajan kanssa konenäköjärjestelmää koskevista yksityiskohdista. Näiden ominaisuuksien ja vaatimusten perusteella vertaillaan kamerasovelluksia ja niistä valitaan järkevimmät toteutustavat konenäköjärjestelmän kamerasovelluksiksi.

4.1 Järjestelmän vaatimukset

Tärkeimmät ominaisuudet jotka konenäköjärjestelmän tulisi sisältää, ovat tyhjän ja rikoutuneen kappaleen tunnistaminen. Lisäksi konenäköjärjestelmän tulee havaita, mikäli kappale on pakattu liian korkeaksi tai se on täytetty epävakaasti. Konenäköjärjestelmä tulisi pyrkiä toteuttamaan mahdollisimman vähäisellä määrällä kameroita, eli tarkoituksena olisi löytää oikeanlainen kamera, joka olisi ohjelmoitavissa tekemään suurin osa tarvittavista tehtävistä. Näin ollen kameroiden määrää saadaan vähennettyä, mutta ohjelmoinnin haasteellisuus mahdollisesti kasvaa.

Esimerkkitalanteessa järjestelmän laitteistolliset vaatimukset koskevat lähinnä nopeutta. Kuljetinhihna liikkuu 0,5 m/s ja sen tahti aika on parhaimmillaan 1000 laatikkoa tunnissa. Tätä tahti aikaa ei kuitenkaan kovin usein saavuteta, mutta järjestelmän tulee silti pystyä analysoimaan laatikot siinä nopeudessa. Kameravalintoja tehdessä tulee myös ottaa huomioon kameroiden kuvausalueet, jotta ne saavat kuvattua kaikki halutut piirteet laatikoista.

4.2 Tyhjän kappaleen tunnistus

Kappaleen tunnistaminen pystytään toteuttamaan muutamalla eri tavalla joita ovat muun muassa kappaleen massan vertailu sekä kappaleen kuvaus kameralla. Massan tutkinta toteutettaisiin vaa'alla ja kuvauksessa käytettäisiin kameraa, joka olisi 2D tai 3D kamera. Massan punnitseminen ei ole konenäköä, mutta se on kuitenkin yksi mahdollinen ratkaisu ja periaatteeltaan yksinkertainen.

4.2.1 Vaaka

Periaatteeltaan vaa'an käyttö on yksinkertaisimpia tapoja toteuttaa kappaleen tyhjiyden tunnistus. Kappaleen massa on tallennettu järjestelmään ja kappaleen tullessa mittauspisteeseen vaaka punnitsee kappaleen ja vertaa sitä referenssi massaan. Kappaleen ollessa raskaampi kuin referenssi kappaleen, järjestelmä havaitsee, että kappaleessa on jotakin, joka lisää massaa. Teoriassa vaa'an avulla kappaleen tyhjiyden tunnistaminen on helppo ja yksinkertainen tapa toteuttaa.

Massan perusteella tyhjiyden tarkastelu sisältää kuitenkin monia asioita, joita tulee huomioida. Kappaleisiin lisättävän tavaran massan ollessa suuri, ei ole suuresti huomioitavaa, mutta jos kappaleeseen pakattujen tavaroiden massa on pieni, se tuottaa ongelmia. Mikäli kyseessä ovat erityisen kevyet asiat niin ne voivat lukeutua järjestelmän mukaan virhemarginaaliin jolloin se väittää, että kappale olisi tyhjä vaikka siellä todellisuudessa jotain olisikin. Ongelma on kuitenkin mahdollisesti korjattavissa sillä, että käytettäväksi vaa'aksi valittaisiin erittäin tarkka vaaka. Toinen massaan liittyvä tekijä on, että mikäli järjestelmässä kulkee erilaisia kappaleita voivat ne olla myös massaltaan eroavia. Tällaisessa tilanteessa ongelma muodostuu kappaleen tunnistuksesta. Järjestelmässä tarvitsisi olla jokin lisäkomponentti, joka pystyisi tunnistamaan millainen kappale on kyseessä, jotta se osaa verrata sitä oikeaan referenssi massaan. Tämä voitaisiin ratkaista esimerkiksi kappaleisiin lisättävillä viivakoodeilla, jotka pystyttäisiin tunnistamaan erillisellä kameralla tai laserilla.

Niin sanotun normaalin vaa'an käyttö tuo myös rakenteellisia haasteita järjestelmälle. Vaakaa käytettäessä se tulisi olla integroituna osaksi kuljetinjärjestelmää, jolloin sillä kohdalla kuljetin ei voi olla aivan yhtenäinen. Vaakaratkaisu kasvattaa myös järjestelmän tahtiaikaa, koska kappaleen tarvitsee pysähtyä, jotta sen massa saadaan mitatuksi. Nastolassa sijaitseva Dosetec Exact Oy valmistaa myös hihnavaakoja, joissa kappaleet voivat edetä kokoajan ja järjestelmä mittaa hihnan nopeudesta ja materiaalivirrasta sekä siitä lasketaan integroimalla annosteltu materiaalmäärä (Dosatec, Hihnavaa'at). Tällaisessa tilanteessa kappaleen ei tarvitse pysähtyä mittauksen ajaksi. Huomioitavaa on kuitenkin, että pystyykö hihnavaaka tarpeeksi tarkkaan tulokseen, koska massan mittaukseen käytetään osaksi laskukaavoja.

4.2.2 2D kuvaus

2D kuvauksessa kappaleen pohjasta otetaan kuva, jota analysoidaan. Esimerkki kappaleiden pohjasta (liite 2, sivu 3) löytyy piirteitä, jotka pystytään määrittämään referenssimuodoiksi. Mikäli kappale on tyhjä, niin kappaleen pohjassa olevat piirteet pystytään erottamaan kokonaan kuvasta. Kappaleen pohjan kuluminen kuitenkin vaikeuttaa piirteiden tunnistusta, jolloin ei pystytä selkeästi kaikkia yksityiskohtia havainnoimaan. Kun kappaleessa on tavaraa, jää pohjan piirre osittain tai kokonaan pois näkyvistä, jolloin järjestelmä tunnistaa pakatun kappaleen ja toimii ohjelmoidulla tavalla.

2D-kamera on myös helppo ja edullinen tapa toteuttaa kappaleen tyhjyyden tunnistus. Kamera tulee asentaa linjastolle siten, että se kuvaa kappaleita kohtisuoraan alaspäin, jolloin se näkee kappaleen pohjan kokonaan. Kuvausta varten järjestelmä vaatii kuitenkin lisävalon, jotta se saa kuvattua pohjan kuviot kunnolla analysointia varten. Kappaleen ollessa läpinäkyvä se saataisiin suoritettua taustavalaisulla. Valo voi olla jo valmiiksi integroituna kameraan. 2D-kameralla kuvattaessa on kuitenkin huomioitava eräs asia. Mikäli kappaleen pätyyn on ladottu pystyyn muutamia ohuita pakkauksia, jää pohjan kuvio kokonaan näkyviin. Tästä seuraa se, että järjestelmä toteaa kappaleen olevan tyhjä vaikka se todellisuudessa ei sitä olekaan. Ongelma on varsin epätodennäköinen koska kappaleet heiluvat ja tärähtelevät linjastolla, jolloin tällaiset kappaleet kaatuisivat kappaleen pohjalle, mutta kappaleita voidaan myös tarkoituksella kallistaa, jolloin niiden sisällä olevat tuotteet varmasti kaatuisivat pohjalle.

4.2.3 3D kuvaus

3D kuvauksessa pystytään luomaan kuvattavasta kohteesta tarkka 3D malli. 3D kuvauksessa pystytään hyödyntämään samoja pohjan kuvioita kuin 2D kuvauksessakin. Lisäksi 3D kameralla pystytään määrittämään kappaleen tilavuus, jota pystytään käyttämään vertailuna. Koska kamera luo kappaleesta 3D mallin, se pystyy tunnistamaan myös mahdolliset kappaleen sivussa ja pystyssä olevat ohuet tuotteet.

Mikäli olisi kyseessä pelkästään kappaleen tyhjiyden tunnistus, 3D kamera olisi suhteessa kalliimpi ratkaisu verrattaessa 2D kameraan. 3D kameralla saadaan kuitenkin tehtyä tarvittaessa monta muutakin tehtävää, kuten sillä saataisiin tunnistettua kappaleen mittoja. Jotta 3D tekniikalla saadaan mitattua kappaleesta kaikki sisäpinnat, se vaatii useamman laserin katvealueiden kattamiseksi.

4.3 Kappaleen eheyden tunnistus

Kappaleen eheyttä pystytään tarkkailemaan kappaleen värin perusteella värikameroin sekä kuvaamalla piirteitä kappaleesta. Kuvaamisessa voidaan käyttää joko 2D tai 3D kameraa.

4.3.1 2D värikuvaus

2D värikuvauksessa ajatuksena on ottaa kappaleesta värillisiä kuvia ja kuvista pyritään havainnoimaan mahdollisia sävyeroja ja ulkopintojen muutoksia. Esimerkiksi muovin venyessä tai rikkoutuessa sen väri muuttuu vaaleammaksi ja joissakin tapauksessa jopa valkoiseksi. Kamera voidaan myös ohjelmoida laskemaan kappaleen ristimita, joka ilmoittaa suoraan mikäli kappaleeseen on aiheutunut suurempi vahingoittuminen.

Tällaisessa sovelluksessa 2D värikuvaus ei kuitenkaan liene kaikista paras ratkaisu. Värikuvausta voisi käyttää vain selkeiden ja tummien värien kanssa kuten sininen ja musta, koska vaaleissa väreissä värierot ei välttämättä ole tarpeeksi suuria. Esimerkiksi valkoisissa kappaleissa väri ei juuri muutu, kun niihin aiheutuu kolhuja. Lisäksi jo pienet kolhut voivat aiheuttaa huomattavia värieroja, vaikka ne eivät vielä aiheuttaisikaan varsinaista haittaa kappaleiden toiminnan kannalta. Haasteen tuo myös se, että värikamera tulee ohjelmoida erottamaan mahdolliset logot ja tekstit kappaleesta, jotka yleensä ovat eri värillä kuin kappale itse, että se ei luokittele niitä virheeksi. Mikäli kappaleen sisällä on joitain tarkasteltavia piirteitä, niin niitä on hankala saada esiin tavallisella kameralla. Yksittäisten piirteiden tunnistuksessa värikamera kuitenkin olisi oivallinen ratkaisu, jolloin ylimääräiset alueet rajattaisiin pois kuvasta. Myös ulkopintojen eheys olisi helppo tarkastaa 2D kameralla.

4.3.2 3D kuvaus

3D kuvauksessa kappaleesta saadaan luotua yksityiskohtainen malli, josta on helppo tunnistaa pieniäkin yksityiskohtia. 3D mallin mittoja verrataan referenssimittoihin, josta pystytään tunnistamaan myös kappaleen sisäpuolella olevat piirteet.

3D kuvaus on hyvä ratkaisu mitä tulee eheyden tunnistukseen. 3D kamera vaatii enemmän ohjelmoinnin suhteen kuin 2D värikamera, mutta sillä saadaan kuitenkin tarkemmin määriteltyä kappaleen tila ja onko sen eheydessä joitakin poikkeamia. Toiset 3D kamerat pystyvät tuottamaan myös värikuvaa 3D-datan lisäksi, jolloin saadaan vertailtua myös värieroja. 3D värikamera on kuitenkin kalliimpi kuin tavallinen 3D kamera, jolloin sitä ei kannata hankkia mikäli värintunnistus ei ole oleellista. Lisäksi riippuen kappaleesta ja tutkittavista piirteistä voidaan joutua järjestelmään asentamaan kaksi 3D kameraa, jotta kappaleesta saadaan kuvattua myös pohjan eheys.

4.4 Kappaleen ylikorkeuden tunnistus

Kappaleen korkeus pystytään mittaamaan muun muassa valoverholla sekä 2D- ja 3D kameralla.

4.4.1 Valoverho

Yksinkertaisimpia keinoja suorittaa ylikorkeuden tunnistus on suorittaa se optisella anturilla. Tällaisia optisia antureita ovat muun muassa valoverhot, joita yleensä käytetään estämään koneen toiminta, mikäli ihmisen jokin osa ylittää turvallisen alueen rajan. Valoverho asennetaan kuljettimen kummallekin puolelle, jolloin kappale rikkoo valoverhon muodostaman rajan tietyiltä kohdilta ja järjestelmä saa laskettua kappaleen ja sen kuorman muodostaman korkeuden.

4.4.2 2D- ja 3D-kamera

3D kameralla kuvattaessa kappaleen sisällä olevat kappaleet piirtyvät myös kuvaan, joka muodostuu kuvattavasta kohteesta. Näin ollen 3D mallista saadaan määriteltyä kappaleen ja sen kuorman muodostama kokonaiskorkeus. Tässäkin tapauksessa pelkän ylikorkeuden määrittämiseen 3D kuvaus on varsin kallis tapa suorittaa se. 2D-kameralla pystytään myös määrittämään pakattujen tavaroiden ja kappaleen muodostaman korkeuden.

4.5 Epätasaisen pakkaamisen tunnistus

Epävakaa pakkaaminen pystytään tunnistamaan 2D- ja 3D-kameralla. Molemmissa kuvaus tapauksissa tunnistus perustuu samaan periaatteeseen ja se on verrattavissa myös kappaleen tyhjyyden tunnistukseen. Kappaleen sisustasta otetaan kuva ja se segmentoidaan sopivan kokoisiksi alueiksi. Näin pystytään havaitsemaan, jos esimerkiksi kappaleen toisella laidalla on tavaraa ja toisella ei, jolloin kappaleen kuorma olisi epävakaa.

Oleellisin ero kuvaustapojen välillä muodostuu syvyysulottuvuudesta, joka 2D-kamerasta tietenkin puuttuu. Tilanteessa jossa kappaleen koko pohja peittyy, 2D-kamera ilmoittaa, että kappale on tasaisesti pakattu. Mikäli kappale on läpinäkyvä, pystytään siinä käyttämään myös 2D-kameraa. 3D-kameralla saadaan kuitenkin mitattua myös sisältö syvyys suunnassa, jolloin saadaan havaittua miten isoja kappaleita kappaleen eri sivuissa on. Tällä ominaisuudella ei kuitenkaan ole suurta merkitystä mikäli kappaleeseen pakattavat tavarat ovat kevyitä.

5 KAMERAVALINNAT

Kameroiden valintoja tehdessä suurimmaksi rajaus tekijäksi asetetaan kameran ominaisuuksien monipuolisuus. Mikäli yhdellä tietynlaisella toteutuksella pystytään ratkaisemaan useampi toiminto, tulee se olemaan vertailussa korkeammalla. Valitun menetelmän perusteella tehdään valinnat käytettävistä konenäkökomponenteista, joita voitaisiin käyttää mahdollisessa asiakassovelluksessa.

5.1 Kameronsovellusten valinta

Tyhjyydentunnistus-sovellus tullaan valitsemaan hihnavaa'an ja 3D-kameran välillä. 2D-kamera voidaan jättää ensimmäisenä tarkastelun ulkopuolelle, koska se on riippuvainen kappaleen pohjan piirteistä. Mikäli piirre kuuluu huomattavasti, ei tyhjiyden tunnistus kappaleesta onnistu. Esimerkki tilanteesta johtuen hihnavaaka ei ole sovelias ratkaisu tähän sovellukseen, sillä tarvittava tarkkuus on erittäin hankala ja kallis saavuttaa. Massa tulisi tunnistaa 5g tarkkuudella ja tällainen hihnavaaka saataisiin teoriassa toteutettua 15000 – 20000 euron hintaan. Käytännössä se kuitenkin vaatii optimaaliset olosuhteet tehdasympäristöltä sekä vaativat komponenttien toteutukset, jotta tarkkuus todellisuudessa saavutettaisiin. Mikäli tarkkuus voisi olla 50g, niin hihnavaa'an hinta olisi 10000 – 12000 euroa ja sen toteutus käytännössä onnistuisi ilman erikoistoimenpiteitä. Näin ollen 3D-kamera sovellus toimii esimerkki tilanteen mukaan parhaiten mutta selvissä painoeroissa hihnavaaka olisi kovempi vastustaja vaikkakin sen hinta on varsin suuri.

Eheyden tunnistuksessa toteutuksen vaihtoehtoina oli 2D värikuvaus ja 3D kuvaus. Värikuvauksen suurimpana ongelmana on, että se soveltuu vain tietynlaisten värien kanssa sekä se vaatii, että kameroita on useampi tai kamera on automaattisesti ohjattu, jotta se pystyy kuvaamaan kohteen kaikista tarvittavista kohdista. 3D kuvauksessa kuvattavasta kohteesta saadaan luotua tarkka malli, josta havaitaan onko kappaleessa rakenteellisia poikkeamia.

Ylikorkeuden tunnistukseen voidaan käyttää 3D ja 2D kuvausta sekä mittaavaa valoverhoa. Pelkästään ylikorkeuden mittaamisessa valinnaksi tulisi 2D-kamera tai mittaava valoverho, koska ne ovat hinnaltaan edullisempia kuin 3D-kamerat ja pystyvät tarpeeksi suuriin tarkkuuksiin. Valinta kohdistuu kuitenkin 3D-kameraan, koska sillä pystytään suorittamaan myös muita tarvittavia tehtäviä.

Verrattaessa 2D ja 3D kuvausta epävakaan pakkaamisen tunnistukseen, vie 3D-kamera voiton. 3D-kamera ei ole riippuvainen siitä millainen kappale tai laatikko on kyseessä, kun taas laatikkoa kuvatessa 2D kuvaus vaatii, että laatikko on läpinäkyvä, jotta se pystyy varmasti tunnistamaan miten se on pakattu. Lisäksi 2D kuvauksessa kameroita tarvitaan useampi, jotta se saadaan kuvattua kaikista tarpeellisista kuvakulmista, kun 3D kuvauksessa saadaan laserien avulla luotua tarkka malli kuvattavasta kohteesta kaikissa kolmessa ulottuvuudessa.

Järjestelmään valitaan toteutustavaksi 3D-kamera, jossa käytetään kolmipistelasermitausta. Tällaisella sovelluksella saadaan ratkaistua kaikki tehtävät eikä siinä ole kameran tunnistusperiaatteiden kannalta erikoista huomioitavaa. Järjestelmässä tulee huomioida vain, että valittu kamera ja laserit ovat toiminta-alueiltaan ja ominaisuuksiltaan vaadittavan järjestelmän mukaiset. Lisäksi mikäli kuvattavasta kohteesta tarvitaan kuva pohjasta, joudutaan lisäämään toinen vastaavanlainen kokoonpano, joka pystyy kuvaamaan kappaleen alapuolelta tai vaihtoehtoisesti kamera voisi olla liikutettavissa kuvaamaan kohde alapuolelta.

5.2 Esimerkki valinnat kameroista

Esimerkki kameravalintojen perusteena käytetään liitteessä 1 huomioituja vaatimuksia. Liukuhihna liikkuu 0,5 metriä sekunnissa ja järjestelmän tulee pystyä analysoimaan 1000 laatikkoa tunnissa. Vartenotettavimmat vaihtoehdot kamerasovelluksiin Sickin tuotteista ovat Ranger, IVC-3D ja Ruler kamerat. Ranger, IVC-3D ja Ruler ovat pääkohdiltaan samanlaiset ja toimivat samalla periaatteella. Ranger kuitenkin eroaa IVC-3D:stä ja Rulerista sillä tavalla, että kamera ja laser ovat erillisinä komponentteina, kun taas IVC-3D:ssä ja Rulerissa kamera ja laser on rakennettu saman kotelon sisään.

Ranger malliluokan kameroista löytyy kaksi eri vaihtoehtoa. Mustavalkoinen Ranger E55 3D-kamera sekä 3D-värikamera ColorRanger E55. Kameroiden erot muodostuvat niiden nimiensä mukaisesti siitä, että ColorRanger pystyy tunnistamaan myös värit, kun taas tavallinen Ranger kuvaa kohteensa mustavalkoisena. ColorRangerin värin tunnistus ominaisuus kasvattaa myös hintaa Rangeriin verrattuna kuten taulukosta 1 huomataan. Hintaeroksi muodostuu noin 2700 euroa. Kamerat ovat ominaisuuksiltaan samat lukuun ottamatta värikuvausta, joten mikäli järjestelmä ei vaadi värin tunnistusta kameraksi valitaan näistä kahdesta vaihtoehdosta Ranger E55, koska se on hankintahinnaltaan halvempi. Ranger malleissa kamera ja laser ovat erillisinä komponentteina, joten niiden tunnistusaluetta pystytään säätämään kameran ja laserinvälisellä paikoituksella. Ranger kamerat vaativat erillisen tietokoneen toimintoihinsa.

TAULUKKO 1: Ranger E55 ja ColorRanger E55 hinnat ja niiden ominaisuuksia.

Ranger E55	Hinta (€)	Nopeus profiilia/s	Värikuvaus	Liitäntä	Kamera ja Laser
	9 700	35 000	Ei	Gigabit Ethernet	Asennetaan erillisinä komponentteina
ColorRanger E55	Hinta (€)	Nopeus profiilia/s	Värikuvaus	Liitännät	Kamera ja Laser
	12 410	35 000	Kyllä	Gigabit Ethernet	Asennetaan erillisinä komponentteina

IVC-3D malliluokasta soveltuvin kamera vaihtoehto tutkimuskohteen perusteella on IVC-3D 300. Kamera ja laser on asennettu samaan koteloon, joten asennuksen spesifiointi ei onnistu samalla tavalla kuin Rangereissa. Kun IVC-3D kamera on ohjelmoitu tietokoneen avulla, ei se enää tarvitse erillistä tietokonetta toimintojensa suorittamiseen. IVC-3D 300 sijoittuu hintaluokassa keskikastiin (Taulukko 2).

TAULUKKO 2: IVC-3D 300 hinta ja ominaisuuksia.

IVC-3D 300	Hinta (€)	Nopeus profiilia/s	Värikuvaus	Liitäntä	Kamera ja Laser
	11 770	5000	Kyllä	Ethernet/I P or OPC	Asennettuna samassa kotelossa

Ruler malliluokasta valittiin kuvattavan kohteen mittojen perusteella soveltuvimaksi Ruler E600 SB. Ruler on rakennettu myös kameran ja laserin osalta samaan koteloon kuin IVC-3D, mutta Ruler tarvitsee toimintojensa suorittamiseen erillisen tietokoneen. Ruler E600 SB on valittavista kameroista kallein (Taulukko 3).

TAULUKKO 3: Ruler E600 SB hinta ja ominaisuuksia.

Ruler E600 SB	Hinta (€)	Nopeus profiilia/s	Värikuvaus	Liitäntä	Kamera ja Laser
	15 080	10000	Ei	Gigabit Ethernet	Asennettuna samassa kotelossa

Esimerkki tilanteen käyttökohteen huomioon ottaen voidaan värikuvaus kamerat jättää tarkastelun ulkopuolelle, koska siitä ei saada tarvittavaa hyötyä järjestelmään. Tutkittavan kohteen väri sopisi hyvin värikuvaukseen, mutta pienet värierot voisivat tehdä liian paljon turhia virheilmoituksia, joten niitä ei ole järkevää käyttää tällaisessa sovelluksessa. Vertailun kohteeksi valitaan Ranger E55 ja Ruler E600 SB. Molemmissa kameroissa on sama Gigabit Ethernet liitäntä ja niissä käytetään samaa ohjelmistoa konfigurointiin (Ranger Studio) ja ne vaativat erillisen tietokoneen suorittaakseen toimintonsa. Molempien kameroiden kuvauskyky on tarvittavan suuri vaikkakin niissä on suuri ero. Ranger analysoi 35000 profiilia sekunnista (Taulukko 1), kun Ruler analysoi 10000 profiilia samassa ajassa. Suurimmat erot kameroiden välillä muodostuvat hinnan ja asennustavan mukaan. Ranger maksaa 9700 euroa ja siinä pystytään kamera ja laser asentamaan haluttuihin paikkoihin, koska ne ovat erillisinä komponentteina. Rulerin hinta on noin 15100 euroa ja kamera ja laser ovat asennettuna samaan koteloon. Näistä yksityiskohdista johtuen valitaan käytettäväksi kameraksi Ranger E55, koska se on noin 5400 euroa halvempi ja kamera sekä laser voidaan asentaa halutuille kohdille, jotta kuvattavasta kohteesta saadaan kuvattua tarvittavat piirteet mahdollisimman hyvin.

6 POHDINTA

Opinnäytetyöllä pyrittiin vastaamaan, että millaisella kamera referenssidesignilla saataisiin toteutettua konenäköjärjestelmä, jolla pystytään tunnistamaan kolmiulotteisista kappaleista piirteitä kuten eheys, tyhjyys sekä ylikorkeus ja pakattavan kappaleen sisällön tasapainoisuus. Ratkaisua valittaessa eri vaihtoehtojen joukosta, yhtenä merkittävimpänä kriteerinä oli saada järjestelmä toteutettua mahdollisimman pienellä määrällä komponentteja eli pyrittiin löytämään mahdollisimman monipuolinen kamerasovellus, jolla saataisiin tutkittua kaikki tai suurin osa piirteistä. Tämän opinnäytetyön tuloksena päädyttiin valitsemaan 3D-kamera, jossa käytetään apuna kahta kolmipistemittauslaseria, joiden avulla saadaan kattavasti kaikki tarvittavat piirteet selvitettyä.

Järjestelmää saadaan tarvittaessa monipuolistettua, kun mustavalkokameran tilalle valitaan värikamera, mikäli värintunnistus on hyödyllinen, kuten esimerkiksi jonkinlaisella elintarvikelinjastolla tuotteiden laaduntarkkailussa. Lisäksi järjestelmää voidaan myös laajentaa tarvittaessa viivakoodin lukijalla tai muilla komponenteilla. Opinnäytetyön aihealueen piiristä pystyttäisiin teettämään yksi tai useampi tutkintotyö, riippuen työn laajuudesta.

Työn aihealue oli erittäin mielenkiintoinen. Ensimmäiset haasteet työn kannalta kehittyivät siitä, että aihe oli varsin tuntematon, joten sitä täytyi aluksi opiskella varsin paljon. Teoriaosuutta tehdessä kuitenkin tieto konenäöstä kasvoi suuresti, joka helpotti itse tutkimuksen tekemistä, joka onnistui kokemukseen nähden suhteellisen hyvin. Kokonaisuudessaan opinnäytetyön tekeminen kasvatti tietämystä konenäöstä huomattavasti, joka varmasti auttaa tulevaisuuden työtehtävissä, joissa työskennellään konenäön parissa.

LÄHTEET

Orfer Oy. Historiaa. Luettu 22.01.2013.

<http://www.orfer.fi/suomeksi/OrferOy/Historiaa/tabid/11350/language/fi-FI/Default.aspx>

Orfer Oy. Mahdollistamme tehokkaan tuotannon. Luettu 22.01.2013.

<http://www.orfer.fi/suomeksi/OrferOy/tabid/5349/language/fi-FI/Default.aspx>

Orbis Oy. Konenäkö – lyhyt oppimäärä. Luettu 04.02.2013.

<http://www.orbis.fi/konenako-lyhyt-oppimaara>

Rinne, O. 2003. Digi info. Luettu 05.02.2013. http://digifaq.info/digi_omat/kennot.html

Peltoniemi, T. 2011. Konenäön hyödyntäminen huonekalutehtaalla. Puutekniikan koulutusohjelma. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö

Cognex Corporation. 2011. A 3D Machine Vision Tool for VisionPro and CVL. Luettu 07.02.2013.

<http://www.cognex.com/ProductsServices/VisionSoftware/default.aspx?id=6466>

Suomen Työnäköseura. Optiikan terminologiaa. Luettu 09.02.2013.

<http://www.tyonako.fi/?optiikkaa>

Beaglehole, H. 2012. Lighthouses – Lights: from oil to electricity. Luettu 09.02.2013.

<http://www.teara.govt.nz/en/diagram/6675/fresnel-lens>

Halinen, M. 2007. Konenäkö robotin ohjauksessa. Aalto-yliopisto. Luentomateriaali. Luettu 12.02.2013.

http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c_teorija.pdf

Skinnari, T. 2005. Konenäön soveltaminen pintaviilun leikkauksessa. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Dosetec Exact Oy. Hihnavaa'at. Luettu 26.03.2013. <http://www.dosetec.fi/index.php?15>

Lehtinen, L. Konenäkö saa kolmannen ulottuvuuden. Tekniikka & Talous. Julkaistu 27.08.2009. Luettu 03.02.2013

<http://www.tekniikkatalous.fi/ict/automaatio/konenako+saa+kolmannen+ulottuvuuden/a322619>

Wikipedia. Linssi (optiikka). Päivitetty 08.03.2013. Luettu 05.02.2013

http://fi.wikipedia.org/wiki/Linssi_%28optiikka%29

Euresys. WWW-sivut. Luettu 29.4.2013.

<http://www.euresys.com/Products/picolo/picoloHDseries.asp>