

Tommi Peltoniemi

KONENÄÖN HYÖDYNTÄMINEN HUONEKALUTEHTAALLA

Opinnäytetyö

KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikan koulutusohjelma

Syyskuu 2011

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Tekniikka	Aika Syyskuu 2011	Tekijä/tekijät Tommi Peltoniemi
Koulutusohjelma Puutekniikka		
Työn nimi KONENÄÖN HYÖDYNTÄMINEN HUONEKALUTEHTAALLA		
Työn ohjaaja Kaija Arhio & Jari Kaarela		Sivumäärä 46+3
Työelämäohjaaja Pentti Lintula		
<p>Opinnäytetyöni on tehty Lintula Oy:lle. Lintula Oy on suomalainen massiivipuuhuonekalujen valmistaja. Aiheena oli selvittää konenäön hyödyntämisen mahdollisuuksia Lintula Oy:ssa laadun ja käyttöasteen kannalta keskeisissä kohteissa. Selvityksissä päädyttiin tulokseen, että hyödyntäminen vaatisi laajempia linjamuutoksia. Yrityksessä ei ollut aikaisempaa kokemusta konenäöstä, joten tavoitteena on ollut tarjota pohjatietoa konenäköjärjestelmistä siinä määrin, että se mahdollistaisi konenäön hyödyntämisen ratkaisuvaihtoehtona tuotantoa kehittäessä. Opinnäytetyössäni olen selvittänyt konenäköjärjestelmän toimintaperiaatteet kuvanmuodostuksesta kuvankäsittelyyn ja luokittelutuloksen syntymiseen sekä konenäköjärjestelmän eri komponentit ja niiden toiminnan. Opinnäytetyössä olen myös selvittänyt konenäköjärjestelmän suunnittelun keskeisiä tekijöitä ja listannut ominaisvaatimuksia Lintula Oy:ssa mahdollisesti käyttöön otettaville konenäköjärjestelmille.</p>		

Asiasanat

Huonekalu, konenäkö, laatu

ABSTRACT

CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Ylivieska	Date September 2011	Author Tommi Peltoniemi
Degree programme Wood Technology		
Name of thesis UTILISING MACHINE VISION AT A FURNITURE FACTORY		
Instructor Kaija Arhio & Jari Kaarela		Pages 46+3
Supervisor Pentti Lintula		
<p>The thesis was made for Lintula Ltd. Lintula Ltd is a Finnish manufacturer of bulk wood furniture, established in 1957. The objective of the thesis was to make use of machine vision in the furniture factory. The aim was to investigate the potential use of machine vision in production in places which have high rate of use and which are essential for quality. The study concluded, however, that the using of machine vision would require more extensive changes at the lines would require significant financial investment. The company did not have any previous experience in machine vision. Thus I decided to provide basic information about machine vision systems to facilitate the use of machine vision as an alternative solution for developing production in the future. The operating principles of the machine vision from image formation and processing to the developing of the categorization results are explained in this thesis. In addition the different components of the machine vision and the way they function are also explained. The main factors in designing machine vision as well as the specific requirements for the machine vision systems to be introduced in Lintula Ltd. are presented.</p>		

Key words Furniture, machine vision, quality
--

TIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖS

ABSTRACT

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	LINTULA OY JA KONENÄKÖ PUUTUOTETEOLLISUUDESSA	2
2.1	Lintula OY	2
2.2	Konenäkö puutuoteteollisuudessa	2
3	KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ JA SEN KOMPONENTIT	3
3.1	Konenäön määritelmä	3
3.2	Konenäköjärjestelmän toimintaperiaate	4
3.3	Kamera	5
3.3.1	Analoginen kamera	6
3.3.2	Digitaalinen kamera	6
3.3.3	Kennotekniikka ja kuvanmuodostus	6
3.3.4	Matriisi- ja viivakamera	9
3.3.5	Älykamera	10
3.3.6	3D-kamera	11
3.3.7	Värianturi	11
3.4	Tiedonsiirto	12
3.5	Mikrotietokone	13
3.6	Kuvankaappauskortti	14
3.6.1	Väri- ja harmaasävykortti	16
3.6.2	Digitointitarkkuus	16
3.7	Optiikka	16
3.7.1	Polttoväli	18
3.7.2	F-luku	19
3.7.3	Aukkoluku	20
3.8	Valaistus	21
3.8.1	Valo	21
3.8.2	Eri valonlähteitä	22
3.8.3	Valaistusgeometriat ja -menetelmät	23
3.8.4	Valaisimen valinta	27
3.9	Ohjelmistot	28

4 KUVANKÄSITTELY	29
4.1 Esikäsitteily	29
4.2 Segmentointi	31
4.2.1 Alueiden reunojen ilmaisu	32
4.2.2 Alueiden ilmaisu	32
4.3 Piirteiden irrotus mittaus ja tulkinta	33
5 KONENÄÖN HYÖDYNTÄMISEN MAHDOLLISUUDET	36
5.1 Potentiaaliset sovelluskohteet tuotantoprosessissa	36
5.1.1 Liimalevyn rimojen lajittelu	36
5.1.2 Leveänauhahiomakoneen laaduntarkkailu	37
5.1.3 Pintakäsittelyn laaduntarkkailu	37
5.2 Suunnittelun lähtökohdat	38
5.2.1 Ominaisvaatimukset konenäköjärjestelmälle Lintula OY:ssä	39
5.2.2 Valmiit laadunvalvontajärjestelmät	40
5.3 Konenäön hyötyjä	42
6 LOPPUPÄÄTELMÄT	43
LÄHTEET	44
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni aiheena on selvittää konenäön hyödyntämisen mahdollisuuksia Lintula Oy:n huonekalutehtaalla. Työni tulisi vastata kysymyksiin, miten konenäkö toimii, mitä sillä voidaan havaita, miten tätä voidaan tuotannossa hyödyntää. Tavoitteena olisi, että työni selventäisi konenäön toimintaa siinä määrin, että antama tietopohja toisi konenäön tuomat mahdollisuudet osaksi tuotannon kehittämistä.

Aihe työhön syntyi ollessani töissä yrityksessä kesäisin vuosina 2007 – 2008. Tuotantoprosesseissa oli vaihteita, joissa suoritettiin silmämääräistä laaduntarkkailua, joka suurien tuotantoerien kohdalla voi olla hidasta, uuvuttavaa ja laadun taso voi vaihdella. Aluksi ajatuksena oli tehdä alustava suunnitelma konenäön soveltamisesta leveänauhahiomakoneen laaduntarkkailussa. Mutta koska konenäön hyödyntämiselle oli mahdollisuuksia monissa työvaiheissa eikä yrityksellä ollut aikaisempaa kokemusta konenäöstä, opinnäytetyöni yhdeksi tavoitteeksi muodostuikin koota pohjatietoa konenäköjärjestelmän ja sen komponenttien toiminnasta.

2 LINTULA OY JA KONENÄKÖ PUUTUOTETEOLLISUUDESSA

2.1 Lintula OY

Lintula Oy on Jurvassa vuonna 1957 perustettu perheyritys. Lintula Oy valmistaa kotimaisesta koivusta ja männystä ruokailuryhmiä, kaappeja, pirttiryhmiä sekä liimalevyä. Tuotantotilaa tehtaassa on 3300 m², henkilökuntaa noin 20. Viennin osuus tuotannosta on noin 15 prosenttia. Tuotteita saa lakattuina, petsattuina tai maalattuina. Lintula Oy on yksi viidestä Junet Oy markkinointiyrityksen omistajasta, muut ovat Laitala Oy, McFinn Oy, Peltola Oy ja Hakola Huonekalu Oy. (Lintula OY 2011.)

2.2 Konenäkö puutuoteteollisuudessa

Konenäköä on hyödynnetty puutuoteteollisuudessa pitkään. Konenäön hyödyntäminen on hyvin yleistä sahatavaran ja vanerin valmistuksessa dimensioiden mittaamisessa ja laadun mukaisessa lajittelussa, joissa huomioidaan oksat, reiät ja halkeamat. Konenäön hyödyntäminen lisää tuotantokapasiteettia tarkasta mittaamisesta huolimatta. Tarkka puun ominaisuuksien tunnistaminen ei laadun määrittämisessä riitä, sillä tunnistaminen on vain laatu päätökseen ja tuotannon optimointiin vaikuttava mittaustulos. Optimoinnin tarkoitus on tehdä tuotannon kannattavuutta parhaiten tukevat päätökset. (Opetushallitus 2004.)

Puutuotteiden loppukäyttäjät asettavat vaatimuksia puun luonnollisille ominaisuuksille, sekä myös tekniselle soveltuvuudelle. Tuotteen jalostusasteen noustessa lähelle lopullista käyttövaatimusta, teknisten ominaisuuksien tarkastaminen luo kysyntää konenäön hyödyntämiselle. Tällä saralla konenäön hyödyntäminen on voimakkaasti lisääntynyt viime vuosina. Konenäön hyödyntäminen on yleistä myös automatisoiduilla tuotantolinjoilla, joissa konenäköjärjestelmät laaduntarkkailun lisäksi ohjaa ja korjaa tuotantolaitteistojen asetteita. Näin virheiden korjaaminen tapahtuu nopeasti ja raaka-aine voidaan hyödyntää optimaalisesti. (Opetushallitus 2004.)

3 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ JA SEN KOMPONENTIT

3.1 Konenäön määritelmä

Konenäkö jäljittelee ihmisen näköaistia, keräten kameralla parametrejä tilanteeseen parhaiten soveltuvassa valaistuksessa. Kerätyistä parametreista segmentoidaan tarvittavat piirteet, joita verrataan referenssikuvaan. Teollisessa tuotannossa konenäkö on väsymätön ja tuottaa tasalaatuisempaa tulosta kuin ihminen. Tätä hyödynnetään kohteiden tunnistuksessa, ohjauksessa, tarkastustehtävissä ja laaduntarkkailussa. (Skinnari 2005, 16.)

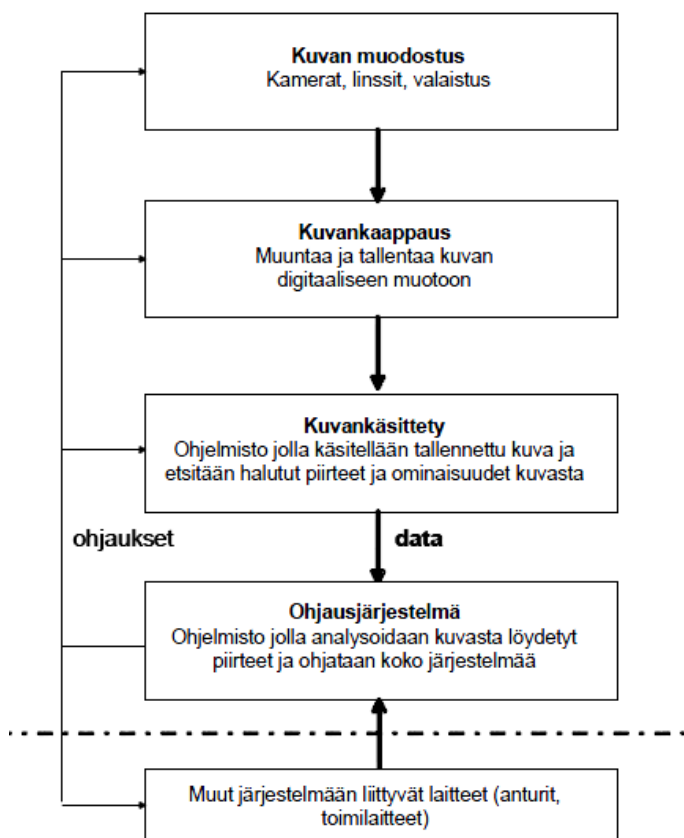
Konenäkö tarkoittaa kokonaisuutta, jossa kuvan hankinta, käsittely, analysointi ja sen perusteella tehtävät päätökset suoritetaan tietokoneella tai muulla digitaalisen laskennan järjestelmällä. Konenäköjärjestelmä koostuu yhdestä tai useammasta kamerasta, valaisujärjestelmästä, laskentayksiköstä sekä kuvankäsittely- ja analysointiohjelmistosta. (Pikkarainen 2004.) Konenäön yhteydessä esiintyvien lyhenteiden ja merkkien selityksiä on esitetty liitteessä 1.

TAULUKKO 1. Konenäköä hyödyntäviä sovelluksia eri aloilta. (Skinnari 2005, 16.)

Sovellus	Ongelma
Postin lajittelu, leimojen lukeminen, tuotteiden hinnoittelu, laskujen käsittely, tekstin lukeminen	Kirjainten tunnistaminen
Kasvaimen tunnistaminen, sisäelinten koon ja muodon mittaminen, verisolujen määrän laskeminen, kromosomianalyysi	Lääketieteellisten kuvien analyysi
Osien tunnistaminen kokoomalinjalla, vika- ja virhe tunnistus	Tehdasautomaatio
Kuvassa olevien kohteiden tunnistaminen ja tulkitseminen, liike ja toiminta visuaalisen tiedon avulla	Robotiikka
Karttojen tekeminen valokuvista, sääkarttojen luominen	Kartanpiirustus
Sormenjälkien tunnistus ja analyysi automaattisissa	Oikeustieteellinen
Kohteen havainnointi ja tunnistus, helikoptereiden ja lentokoneiden opastaminen laskeutumisissa, kauko-ohjattavien ajoneuvojen opastus, ohjusten ja satelliittien opastus visuaalisten vihjeiden avulla	Tutkakuvat
Spektrikuvien analyysi, sääennustus, alueiden luokittelu ja monitorointi satelliittikuvista	Etävalvonta

3.2 Konenäköjärjestelmän toimintaperiaate

Konenäköjärjestelmä toimii esitetyn kaavion mukaisesti (KUVIO 1). Kuva muodostuu, kun kuvattavasta kohteesta heijastuva valo ohjautuu optiikan kautta kameras valoherkkiin kennoihin. Kennot reagoivat valon kanssa ja tallentavat syntyvän varauksen. Analysointia ja lukemista varten varaus siirretään piirillä eteenpäin. Kuvan muuttamiseksi digitaaliseksi tarvitaan digitoija, joka muuttaa sähkösignaalin analogisesta digitaaliseksi. Tätä kutsutaan AD-muunnokseksi. (Huotari 2005, 14.)



KUVIO 1. Konenäköjärjestelmän toiminta (Halinen 2007, 3.)

Kun havainnoitavasta ilmiöstä on saatu kuva, se täytyy tarpeellisen tiedon saamiseksi esikäsitellä. Esikäsitelyssä kuvasta poistetaan virheitä ja myös kuvan kontrastia voidaan parantaa. Esikäsitellystä kuvasta oleellinen tieto, kuten hahmot, värit ja kirkkaus saadaan piirteiden irroituksella. Nämä tiedot siirtyvä luokittimeen, joka tekee kuvalle luokittelun ja antaa luokittelutuloksen, jotka perustuvat erilaisiin algoritmeihin. Luokittelutulosta voidaan hyödyntää prosessien ohjauksessa. (Kämäräinen 1999.)

3.3 Kamera

Konenäköjärjestelmän sensorina toimii kamera (KUVIO 2), joka optiikan avulla siirtää kohteen kuvan vastaanottimen kennolle. Tavallisesti kaksiulotteisen kuvan muodostamiseen käytetään matriisi- tai viivakameraa. Kamera voi olla esimerkiksi CCD-väri- tai mustavalkokamera. (Suomi 1992, 43.) Myös älykamerat ovat yleistyneet konenäköjärjestelmissä Firewire ja USB- väylien yleistymisen myötä. Älykamerat eivät vaadi erillistä tietokonetta ja liitäntäkorttia, vaan ne voidaan liittää suoraan konenäköjärjestelmään.

Tunnetuimpia valmistajia ovat AVT, Basler, Cognex, Dalsa, Hitachi, JAI/Pulnix, Lumenera, Prosilica, Sony, Toshiba, Teli, TVI, UNIQ ja Yamaha.



KUVIO 2. Konenäkökameroita (Orbis Oy 2011.)

3.3.1 Analoginen kamera

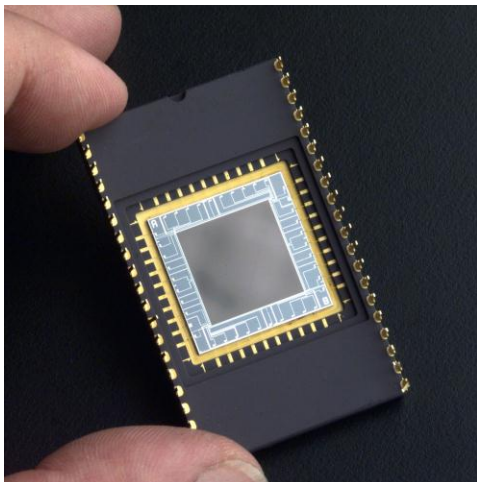
Perinteisesti konenäkösovelluksissa käytetään niin sanottua komposiittivideokameraa. Kamera tuottaa analogisen videosignaalin, joka sisältää kaiken kuva- ja synkronointi-informaation. Yleisesti käytössä on myös kamerat, joissa synkronointisignaalit ovat omissa johtimissaan. Tällaisilla kameroilla kuvan muodostus voidaan aloittaa ulkoisella pulssilla. (Huotari 2005, 13.)

3.3.2 Digitaalinen kamera

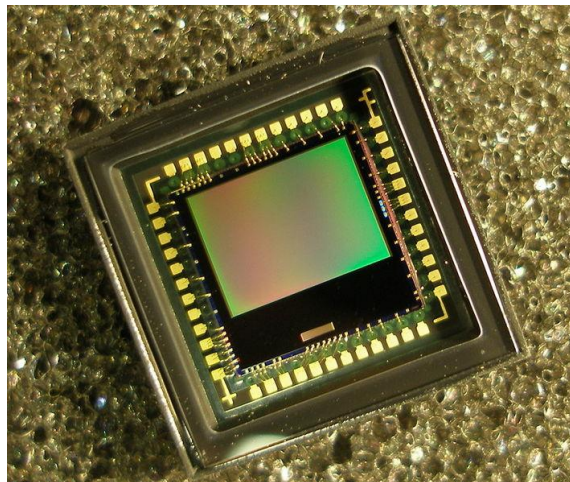
Digitaalisen kameran etuja ovat yksinkertaisempi kaapelointi, pienemmät liittimet, parempi resoluutio sekä kuvataajuus. Uudet kamerat siirtävät tiedon kameran kuvankaappauskortille. Digitaalisten kameroiden kaapelointia ei ole standardoitu, tästä syystä kamerat eivät ole vaihtokelpoisia vaikka liityntästandardi olisi sama. Joissain digitaalikameroissa liityntä tapana käytetään FireWire IEEE1394-standardin mukaista liittymää, halvimmat kamerat käyttävät USB-liityntää. Suurta tiedonsiirtonopeutta vaativissa digitaalikameroissa suositaan Camera Link- väylää. (Huotari 2005, 13.)

3.3.3 Kennotekniikka ja kuvanmuodostus

Kuvasensorina käytettyjä kennotekniikoita ovat Charge-Coupled Device (CCD) (KUVIO 3) ja Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) (KUVIO 4). CCD- ja CMOS -piirien perusero on käytetty puolijohdetekniikka, mutta merkittävimmät erot tulevat tuotannon nykytilasta. CMOS-tekniikkaa käytetään kaikissa yleiskäyttöisissä piireissä, kuten mikroprosessoreissa ja muisteissa. Tuottajia on monia ja piiriä kehitetään edelleen voimakkaasti kun taas CCD-piireistä suurin osa tulee muutamasta Sony:n tehtaasta. (Digi Info 2010.)

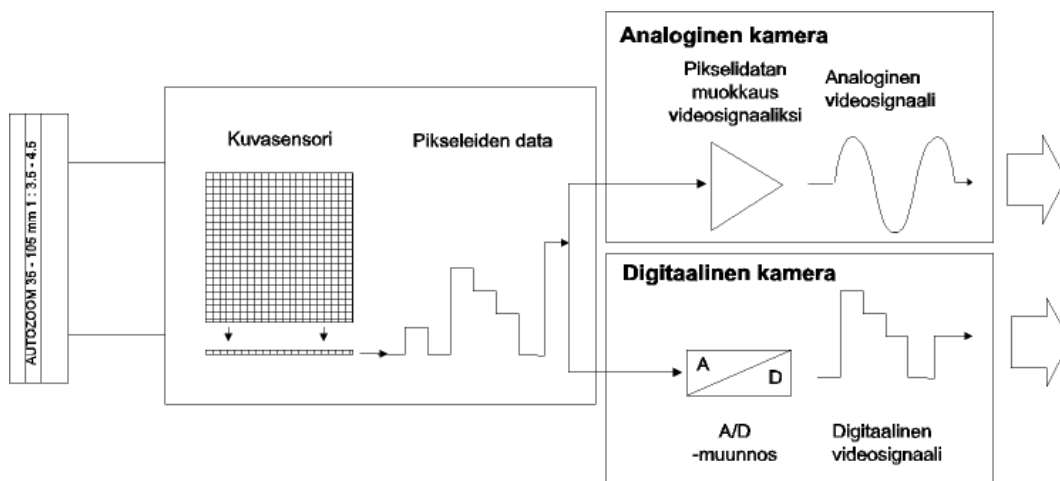


KUVIO 3. CCD-kenno.



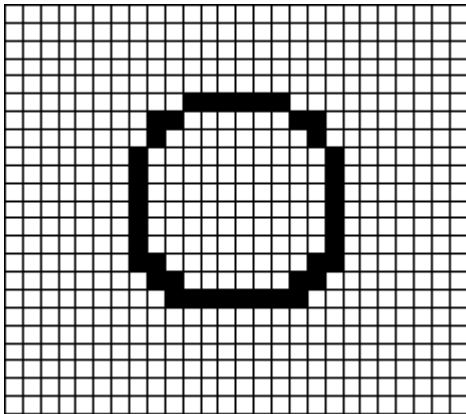
KUVIO 4. CMOS-kenno.

CCD-kennot muodostuvat kuvaelementeistä eli pikseleistä. Nämä ovat valoherkkiä piikkenoja, joita voi olla kennossa miljoonia. Kennot toimivat kun fotonit aiheuttavat piissä valo-sähköisen reaktion, jossa vapautuu elektroni. Elektronit ovat varauksellisia hiukkasia ja ne varautuvat valon vaikutuksesta. Analogiseksi signaaliksi varaus muutetaan varaus/jännitemuuntimella. (Huotari 2005, 14.) CMOS-kennoissa varaus muutetaan jännitteeksi jo pikseleissä, signaalia vahvistetaan ja myös AD-muunnos tehdään kennopiirissä. Tämä vähentää muiden piirien tarvetta ja sen myötä myös virran kulutusta. (Kämäräinen 1999.)



KUVIO 5. Kameran toimintarakenne yksinkertaistettuna. (Halinen 2007, 4.)

CCD-kameroita on saatavissa laaja valikoima eri tarkoituksiin. Hinnat vaihtelevat niiden ominaisuuksien mukaan. Käyttötarkoituksesta riippuen haluttuja ominaisuuksia voivat olla resoluutio, nopeus, valoherkkyys ja haluttu kontrasti sekä lineaarisuus mittauksissa. Tarkkoihin mittauksiin käytetään suuremman resoluution kameraa. (Kämäräinen 1999.) CMOS-tekniikan etu on vähäisempi virrankulutus sekä edullisempi hinta. (Halinen 2007, 4.)



KUVIO 6. Kuvamatriisi (Kämäräinen 1999.)

Resoluutio, eli erottelutarkkuus kertoo montako pikseliä matriisissa on ja miten ne ovat jakautuneet x- ja y-akselilla. Kuvamatriisin resoluutio on 23x26 (KUVIO 6), eli 23 pikseliä pystysuunnassa ja 26 sivusuunnassa. Pikseli on digitaalisen kuvan pienin yksikkö. Kameran tarkkuus voidaan ilmoittaa pikseleillä, nykyiset yleisimmät taskukamerat ovat vajaan 10 megapikselin luokkaa. Binäärinen pikseli tarkoittaa, että sillä on vain kaksi arvoa, 1 ja 0, musta ja valkoinen, kuten kuvan matriisissa (KUVIO 6). Jotta kuvasta saataisiin luonnollisempi, pikseleillä täytyy olla enemmän arvoja kuin binäärisessä. Arvot annetaan kirkkauden mukaan. Harmaatasokuvassa arvoja on 255, joka voidaan ilmaista myös 8 bittisenä (2^8). Harmaatasokuva ei nimensä mukaisesti vielä sisällä värejä, vaan koostuu mustasta ja valkoisesta, sekä harmaan sävyistä näiden välistä. (Kämäräinen 1999.)

Värikuvien edellytyksenä on, että jokaisessa pikselissä on useampia arvoja. Esimerkiksi RGB-kuvissa pikselillä on kolme arvoa, R punainen, G vihreä, B sininen. CCD-kennoilla arvot saadaan käyttämällä värisuodattimia. Värejä yhdistelemällä saadaan kaikki tarvittavat värisävyt luonnollisen kuvan tuottamiseen. Monikomponenttikuvilla eli spektrikuvilla saavutetaan tarkin esitys värille, mutta ne eivät ole vielä yleisesti käytössä teollisuuden kuvankäsittelyjärjestelmissä. Sijoittamalla pikseleistä koostuvia valoherkkiä elementtejä matriisiin muotoon voidaan muodostaa kuvamatriisi kamerassa. Neliösenttimetrillä voi olla elementtejä yli 500 000 kappaletta. (Kämäräinen 1999.)

Standardeja sensoriresoluutioita ovat:

VGA = 640 x 480

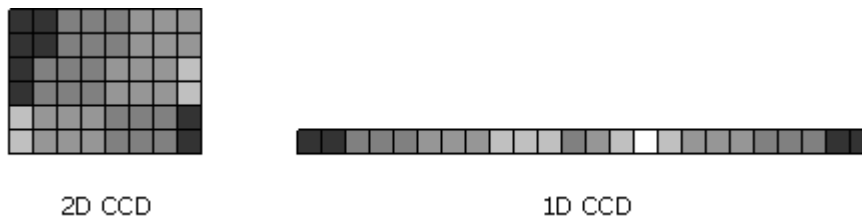
SVGA = 800 x 600

XGA = 1024 x 768

SXGA = 1280 x 1024

3.3.4 Matriisi- ja viivakamera

Matriisikamerassa olevat CCD- tai CMOS- kennon kuvaelementtejä, eli pikseleitä $m \times n$ kappaletta matriisissa (KUVIO 7). Kuvankäsittelyn nopeus hidastuu, mitä enemmän pikseleitä on. Kuvien tarkkuus eli resoluutio kasvaa suuremmilla kennoilla, koska pikseleiden lisääntyessä voidaan toistaa pienempiä yksityiskohtia. Toisin kuin matriisikameroissa, viivakameroissa pikselit ovat jonossa (KUVIO 7). Tämä menettely parantaa tarkkuutta ja nopeuttaa kuvankäsittelyä, koska pikseleitä käsitellään kerralla vähemmän kuin matriisikameroissa. Viivakamerat soveltuvat hyvin liikkuvien kohteiden kuvaamiseen, esimerkiksi ratojen seurantaan. Hinnaltaan viivakamerat ovat kalliimpia kuin matriisikamerat ja ne myös vaativat paremman voimakkaamman valaistuksen. (Halinen 2007, 4.)



KUVIO 7. Matriisi- ja viivakameran matriisit (Alroth 2010.)

3.3.5 Älykamera

Älykamerassa (KUVIO 8) on integroituna kuvankaappauskortti ja prosessori, näin kamera kykenee suoriutumaan kuvanoton tahdituksesta, valonohjauksesta, kuvanotosta, kuvankäsittelystä ja mittatiedon käsittelystä ilman erillistä tietokonetta. Lisäksi älykamerassa on tarvittavat liitännät teollisuustason 24V I/O-linjan käyttölaitteisiin. Kooltaan laite on samaa luokkaa normaalin teollisuuskameran kanssa. Joissain malleissa kaikki ominaisuudet ovat samassa kotelossa, mutta yleensä kamera, käsittely-yksikkö ja ulkoinen I/O ovat erillään. Kameran konfigurointi tapahtuu kameran mukana toimitettavalla ohjelmistolla, jolla kameralle määritetään kohteesta tunnistettavat piirteet. Älykamera voidaan ohjelmoida graafisen käyttöliittymän avulla, jolloin ei tarvita ohjelmointikielen osaamista. (Orbis 2011; Jääskeläinen, Solehmainen & Tuunainen 2010.)



KUVIO 8. Älykamera (Orbis 2011.)

TAULUKKO 2. Eri järjestelmien ominaisuuksien vertailua. (Jääskeläinen ym. 2010.)

	Älykamerat	PC-pohjainen	Sulautettu
Päivitettävyys	Huono	Hyvä	Huono/hyvä
Muokattavuus	Huono	Hyvä	Erittäin hyvä
Kameroita/prosessointiyksikkö	1-4	1-n.	1-n.
Ohjelmoinni helppous	Helppo	Kohtalainen	Työläs
Ohjelmoinnin joustavuus	Huono	Hyvä	Kohtalainen
Vaadittu asennustila	Pieni	Suuri	Pienin

3.3.6 3D-kamera

3D-kameralla ja -ohjelmistolla saadaan tarkka ja reaaliaikainen 3D-paikkatieto, jolla voidaan parantaa konenäön suorituskykyä tilanteissa, joissa 2D-työkalut eivät yksin riitä. Yhdellä 3D-kameralla voidaan korvata useampi 2D-kamera, esimerkiksi tilanteessa joissa on pystyttävä kuvaamaan muotoja ja piirteitä pinnasta. 3D-kamerat myös mahdollistavat päällekkäin tai kallellaan olevien kappaleiden käsittelyn automaatiolaittein. Automaatio linjaston kiinteät kamerat voidaan myös korvata yhdellä linjastolla liikkuvalla 3D-kameralla, joka pystyy suoriutumaan mitoituksesta, lajittelusta ja keräilystä. (Cognex Corporation 2011.)

3.3.7 Värianturi

Värianturit (KUVIO 9) eivät ole kuvaa tuottavia kameroita, mutta niiden toiminta perustuu samaan kennotekniikkaan. Värianturit hyödyntävät erityistä kolmivärimenetelmää, jossa kohteeseen lähetetään punaista, vihreää ja sinistä valoa (RGB). Heijastuneesta säteilystä lasketaan RGB-suhde ja tuloksia verrataan tallennettuihin referenssiarvoihin. Jos arvot ovat toleranssirajojen sisällä, kytkentä aktivoituu. (SICK 2011.) Värianturissa voi olla useampia lähtökanavia, joille voidaan opettaa jokaiselle haluttu väri, sekä määrittää värisävyntoleranssirajat. (Sensorola 2011.)



KUVIO 9. Värianturi (Sensorola 2011.)

3.4 Tiedonsiirto

Valoherkän elementin tuottama signaali voi olla PAL-, NTSC-, tai SECAM-standardin mukainen. Tämä on kuitenkin vielä konvertoitava digitaaliseksi, jolloin se on tallennoitavissa tietokoneen muistille. On myös olemassa erikoiskameroita, jotka tuottavat standardoimattomia signaaleja. Uusissa kameroissa voi olla digitaalinen ulostulo, mutta vielä on yleistä että signaali viedään analogisena kuvankaappauskortille. (Halinen 2007, 5.)

Analogisen signaalin siirtotapoja:

- RGB
- S-VHS
- Composite video

Digitaalisen signaalilla ei ole standardoitua tiedonsiirtotapaa tai kaapelointia. Usein tieto siirretään kuvankaappauskortille RS422- tai EIA644-standardien mukaisella tiedonsiirtotavalla. Näillä tavoilla siirretty tieto altistuu helposti häiriöille, mikäli tiedonsiirtoa nopeutetaan rajusti. (Huotari 2005, 18.)

Yleisimmin käytettyjä tiedonsiirtotapoja on IEEE1394-standardin mukainen FireWire. FireWiressä käytetään differentiaalitekniikka, jota myös hyödynnetään parikaapelilähiverkoissa. Tieto saadaan kahden yhteen kierretyn johtimen jännityksen erotuksesta. Tämä auttaa pääsemään eroon kaapeliin indusoituvan tasajännitteen aiheuttamista virheistä. Firewiressä on saapuvalla ja lähtevällä tiedolle oma pari. Siirtonopeus kyseisellä menetelmällä on 400 Mb/s. (Huotari 2005, 19.)

USB-tekniikassa (Universal Serial Bus) käytetään myös differentiaalitekniikkaa. USB:ssa on vain yksi tietosignaalin muodostama pari. Saapuva ja lähtevä tieto kulkevat parin puoliskoilla vastakkaisiin suuntiin. Tiedonsiirron aikana aiheutunut häiriö poistetaan summaamalla käänteisvaiheinen signaali vastaanottopäässä. USB 2.0-liittymällä siirtonopeus voi olla 480 Mb/s. (Huotari 2005, 19.) Konenäkösovelluksiin parhaiten soveltuva liittymä on Camera-Link väylä. Tätä käytetään etenkin silloin kun tarvitaan suurta resoluutiota ja/tai suurta kuvausnopeutta. (Huotari 2005, 19.)

3.5 Mikrotietokone

Mikrotietokoneeseen (PC) asennetaan kameraliitintä ja kuvanottoa varten kuvankaappauskortti, jota käsitellään tarkemmin luvussa 3.6. CCD-kameralla saatu kuva siirtyy tämän kautta tietokoneen muistille. PC:llä voidaan suorittaa ohjelmistojen avulla kuvankäsittelyä, analysoida ja suorittaa erilaisia jatkotoimia. (Ruuti 2002, 24.)

3.6 Kuvankaappauskortti

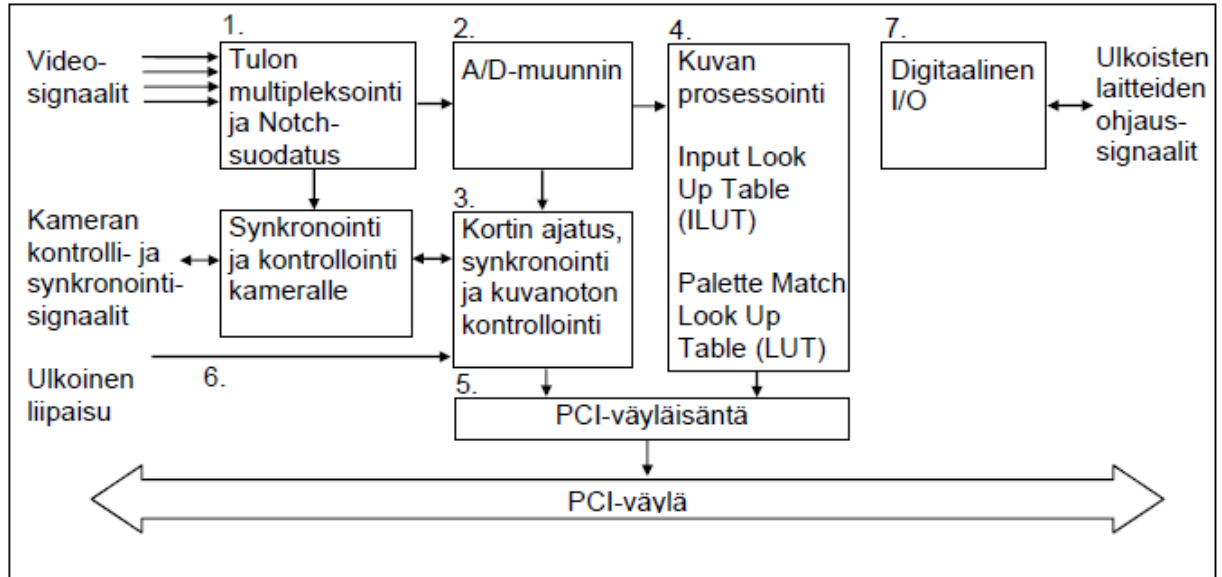
Kuvankaappauslaitteella tuodaan kuva järjestelmän käsiteltäväksi. Tämä voi olla erillinen tai kameraan integroitu kortti. Nopean tiedonsiirron mahdollistamiseksi muistiin ja näytölle, useimmat kuvankaappauskortit liitetään PC:n PCI-väylään. Ennen kuin tieto voi siirtyä muistiin on suoritettava AD-muunnos. Tästä syystä kaapattu kuva ei vastaa täysin kuvasensorin pikseleitä. (Halinen 2007, 8.)

Digitaalinen videosignaali sopii sellaisenaan, mutta riippuen tiedonsiirtotavan standardista, PC voi vaatia erillisen kortin. Esimerkiksi, jotta kuva voidaan siirtää FireWirella, täytyy asentaa erillinen kortti, ellei tietokoneen emolevyssä ole integroitua FireWire-liitäntää. (Halinen 2007, 8.)

Digitaalisen signaalin tuottamat pikselit vastaavat kuvasensorin pikseleitä, joten se sopii erinomaisesti konenäkösovelluksiin. Muita hyötyjä ovat suurempi päivitystaajuus, pienemmät häiriöt ja suurempi resoluutio. Hinnaltaan digitaalikamerat ja -kortit ovat hieman kalliimpia. Analogisien korttien etu on, että niihin voidaan kytkeä useampi kamera. Useimpiin analogisiin kortteihin voidaan liittää 2 - 4 tai useampi kamera samanaikaisesti (Halinen 2007, 9.)



KUVIO 10. MicroEnable IV AQ4-GE-kuvankaappauskortti.



KUVIO 11. Erään kuvankaappauskortin lohkokaaeviorakenne. (Pitkälä 2004, 10.)

Kuvion 11 kuvankaappauskortissa videosignaali tulee korttiin liitospinnan kautta (1). Jos kameroita on useampia, voidaan käytettävä kamera valita multipleksisoimalla. Värikameran PAL-signaalista poistetaan krominanssitieta Notch-suodatuksella. Seuraavassa moduulissa (2) tapahtuu AD-muunnos, tämä tapahtuu osana synkronointipiiriä olevan synkronointi- ja ohjausmoduuliin avulla (3). Kyseisessä moduulissa on kideoskillaattori kello, jonka avulla kuvankaappauskortti synkronoidaan kameralta saapuvien ajoituspulssien kanssa. (Pitkälä 2004, 10; Korhonen 2008, 9.)

Synkronointipiiri voi olla analoginen tai digitaalinen. AD-muunnoksen yhteydessä digitaaliselle signaalille asetaan myös ylä- ja alarajat eli referenssi ja offset. Seuraavassa moduulissa (4) voidaan tehdä alustavaa kuvankäsittelyä, tyypillisiä toimintoja ovat suodatus ja kynnystys, joista enemmän luvussa 4. Tietokoneen muistille signaali siirtyy PCI-väylää (5) pitin. Moduuli (6) on lähettää kameran signaaleita kameran kontrollointiin. Moduulin (7) avulla kuvankaappauskortti voidaan liittää muihin laitteisiin. (Pitkälä 2004, 10; Korhonen 2008, 9.)

3.6.1 Väri- ja harmaasävykortti

Kuvankaappauskortteja saa väri- ja harmaasävykortteina. Värikortit soveltuvat teolliseen käyttöön tilanteissa, joissa kuvattavasta kohteesta halutaan saada piirteet värien avulla esille. Värikortit tuottavat paljon tietoa ja prosessointiaika on pitkä. Yleisimmin värikortteja käytetään multimediajärjestelmissä. Harmaasävykortit sen sijaan ovat yleisimpiä teollisissa- ja tieteellisissä järjestelmissä, joissa vaaditaan tarkkoja mittauksia. (Skinnari 2005, 19.)

3.6.2 Digitointitarkkuus

Analogisen signaalin muuttaminen kuvankaappauskortissa digitaaliseksi kuvaninformaatioksi, tapahtuu digitoimalla kuva diskreeteiksi kuvaelementeiksi eli pikseleiksi. Interpoloimalla voidaan saada kuvan mittatarkkuudeksi jopa 1/10 pikseliä. Kappaleen ja taustan välisestä kirkkauserosta voidaan havaita kappaleen reuna. Pikselit interpoloivat reunan jollekin alueelle. Tässä menetelmässä pienet virheet reunapikseleiden asemassa aiheuttavat värinäksi kutsuttavaa paikan vaihtelua. Järjestelmä synnyttää kohinaa AD-muunnoksessa, jota kuvankaappausjärjestelmissä kutsutaan harmaasävykohinaksi. Kontrastieron ollessa pieni kappaleiden ja taustan välillä kuvankaappauskorttien aiheuttama 0-0,7 harmaasävyeron kohina voi aiheuttaa ongelmia. (Skinnari 2005, 21.)

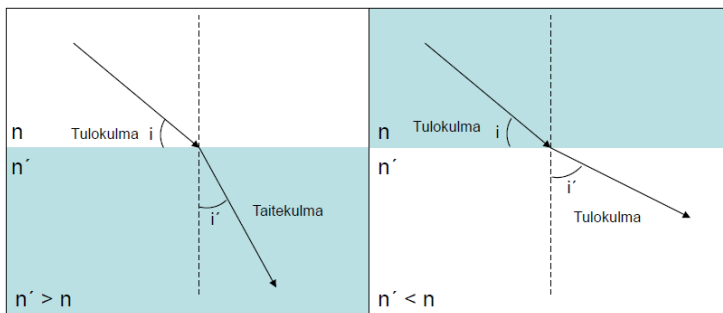
3.7 Optiikka

Optiikalla ohjataan valon käyttäytymistä, valon ja aineen keskinäistä vuorovaikutusta hyödyntäen. Valonsäde taipuu kahden aineen välisessä rajapinnassa aineille ominaisten taitekertoimien mukaan. Linsseillä voidaan ohjata valonsäteitä hajoittavasti tai keskittävästi, eli suurentavasti tai pienentävästi. (Mielonen 2007, 12.) Valon taittuminen voidaan esittää Snellin lakina tunnettuna yhtälönä

$$\frac{\sin i}{\sin i'} = \frac{n'}{n} \Rightarrow n \sin i = n' \sin i' \quad (1)$$

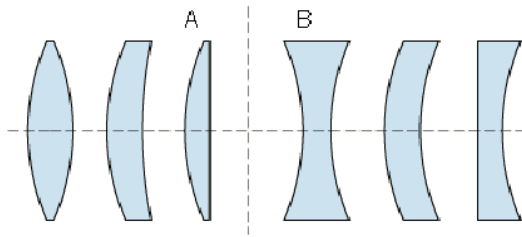
missä i on tulokulma
 i' on taitekulma
 n on aineen taitekerroin
 n' on aineen taitekerroin

Kuviossa 12 aineiden n ja n' läpi kulkeva valo taittuu yhtälössä (1) esitetyn Snellin lain mukaisesti.



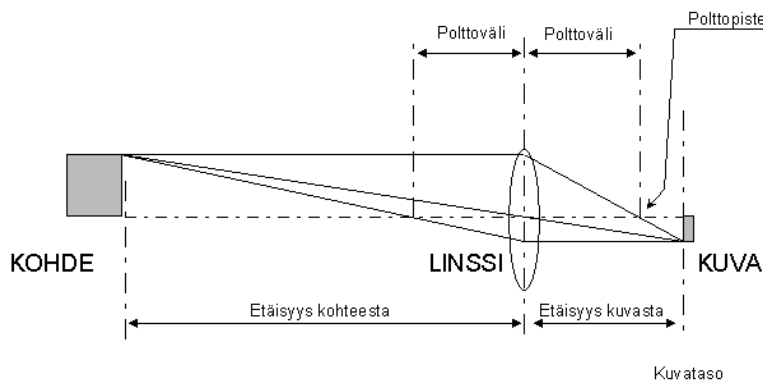
KUVIO 12. Valo taittuu aineessa.

Hyvä kuvanlaatu edellyttää oikeanlaisen optiikan, koska optiikalla kuva projisoidaan filmille tai kennolle. Vääränlainen optiikka aiheuttaa vääristymiä kuvaan. Optiikalla vaikutetaan väriherkkyyteen, kuvakulmaan ja kuvan terävyyteen. Kameran tarkennusetäisyys, kuvausaukon koko ja kameran etäisyyden muutokset aiheuttavat muutoksia myös kuvaustulokseen. Mikäli muutoksia asetuksissa tapahtuu, pitää järjestelmä kalibroida uudestaan. (Halinen 2007, 6.)



KUVIO 13. Yleisimmät linssimallit ovat kuperia ja koveria. (Mielonen 2007, 12.)

Objektiivilla eli linssijärjestelmällä muodostetaan optinen kuva kohteesta. Objektiivit muodostuvat kahdesta tai useammasta kuvassa (KUVIO 13) esiintyvistä linssistä. Objektiivit valitaan niiden käyttötarkoituksen ja kuvattavan paikan mukaan. (Mielonen 2007, 12.)



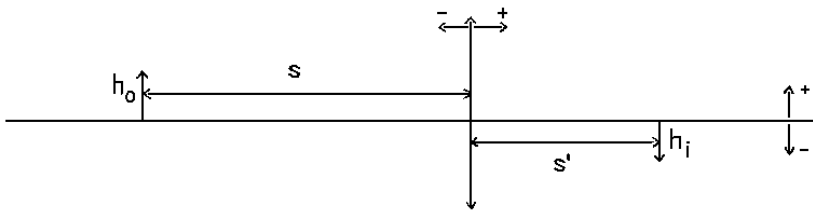
KUVIO 14. Yksinkertaistettu kuva kameran optiikasta. (Halinen 2007, 6.)

3.7.1 Polttoväli

Sopivaa linssiä mitoitettaessa pitää lasketa polttoväli. Gaussin kuvayhtälön (2) mukaisesti esineen ja kuvan etäisyys sekä objektiivin polttoväli ovat riippuvaiset toisistaan (Somero 2008, 11.) Tämä voidaan laskea Gaussin kuvausyhtälöllä

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

missä s' on kuvan etäisyys objektiivista
 s on esineen etäisyys objektiivista
 f on objektiivin polttoväli



KUVIO 15. Gaussin kuvayhtälön merkkikoventiot (Korhonen 2008, 4.)

Suurennos voidaan laskea kaavalla

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{s'}{s} \quad (3)$$

missä m on suurennos
 h_i on kuvan korkeus
 h_o on kohteen korkeus

Yhtälö (3) antaa negatiivisen vastauksen, koska kuva on ylösalaisin.

3.7.2 F-luku

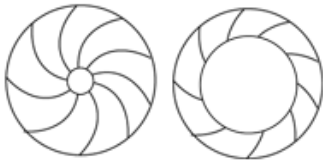
Lisäksi on olemassa f-luku (focal length) joka kuvaa objektin valovoimaa, mikä on valotusajan kannalta oleellista. Mitä pienempi f-luku on, sitä lyhyempi on valotusaika. Toisin sanoen

paljonko valoa pääsee läpi kun himmennin on täysin auki, eli paljonko linssien läpi pystytään viemään valoa filmille tai kennolle. (Huotari 2005, 12.) F- luku voidaan määrittellä kaavalla

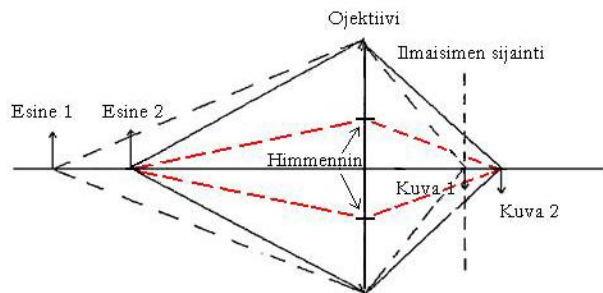
$$F\text{-luku} = \frac{\text{(efektiivinen polttoväli)}}{\text{(tulopupillin halkaisija)}} \quad (4)$$

3.7.3 Aukkoluku

Aukkoluku taas kertoo valotuksen ja himmentimen suhteesta. Aukkoluku määritetään samalla tavalla kuin f-luku, mutta himmennin ei ole täysin auki. f-luku merkitään esimerkiksi f:2.8 tai f/2.8. Pieni luku tarkoittaa suurta aukkoa. Himmentimen aukkoa säätämällä vakiutetaan kuvan syväterävyyteen, pieni aukko tuottaa terävämmän kuvan pidemmällä matkalla. Suuri aukko kohdistusetaisyuden edessä ja takana tuottavat sumeamman kuvan. Aukkolukua säädetään yleensä manuaalisesti kameras objektiivista käsin. Himmentimen aukon koko muutetaan yleensä 2:n kerronnaisina (1,1.4, 2 , 2.8, 4...). (Huotari 2005, 12.)



KUVIO 16. Yksi käytetyimmistä himmenninaukko-ratkaisuista (Huotari 2005, 12.)



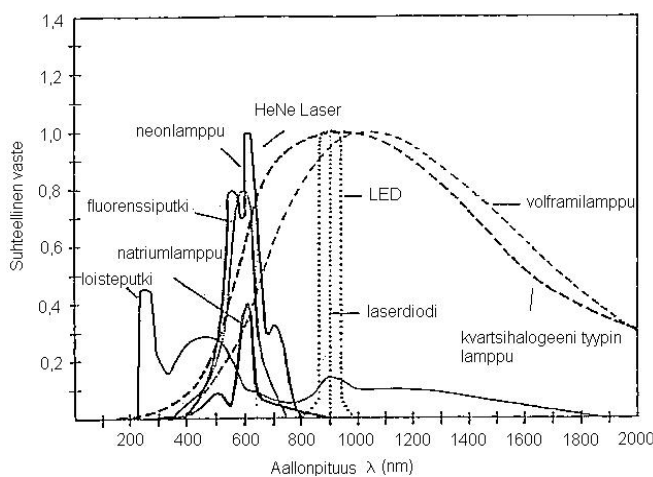
KUVIO 17. Aukkoluvun vaikutus (Korhonen 2008, 5.)

3.8 Valaistus

Valaistus on tärkeä osa konenäköjärjestelmää. Valaistuksen toteutuksessa on huomioitava oikeanlaisen valonlähteen lisäksi myös tilanteeseen sopiva tausta. Valaistus voidaan toteuttaa eri tavoin, useimmin käytetään jatkuvaa valonlähdettä esimerkiksi loisteputkia ja lasereita. Taustalla taas voidaan lisätä kohteen kontrastia, joka helpottaa mittauksia. Vääränlainen valaistus voi aiheuttaa kuvaan häiriöitä. (Suomi 1992, 43.)

3.8.1 Valo

Konenäköjärjestelmä perustuu kykyyn havaita valon eri aallonpituuksia (KUVIO 18). Eri aallonpituudet näkyvät eri väreinä. Tätä kutsutaan sähkömagneettiseksi spektriksi. Silmän havaitsemat aallonpituudet ovat noin 400 – 780 nm (sininen, vihreä, keltainen, punainen). Eri materiaalit absorboivat eri aallonpituuksia ja heijastavat loput pois. Näin eri materiaalit saavat eri värin. Jos aine heijastaa sinistä valoa, mutta absorboi muut värit, kappale nähdään sinisenä. Ihmisen silmällä ei havaita ultravioletti säteilyä 200 - 400 nm, eikä infrapunasäteilyä, joka on yli 780 nm. CCD-kenno näkee laajemman aallonpituus alueen kuin ihminen, myös hieman Infrapuna (IP)-aluetta. (Omron 2002.)



KUVIO 18. Eri valaisimien spektrialueet (Konttinen 2008, 6.)

3.8.2 Eri valonlähteitä

Valonlähteet voidaan jakaa valon interferenssikuvioiden tuottamiskyvyn mukaan koherentteihin ja ei-koherentteihin valonlähteisiin. Laserit ovat koherentteja ja muut valonlähteet ei-koherentteja. Diffuusista valonlähteiden tuottamat valonsäteet lähtevät tasaisesti kaikkiin avaruuskulmiin. Kollimoitu valo on yhdensuuntaista, tämä tuotetaan sijoittamalla pistemäinen valonlähde valaisuoptyikan polttopisteeseen. (Konttinen 2005, 15.).

Laserdiodit ovat koherentteja, kollimoitua valoa tuottavia ja pienen valotehon omaavia valonlähteitä. Laserdioideita voidaan käyttää strukturoidussa valaisussa, jolla voidaan tarkkailla kappaleen korkeuseroja. Laajojen pintojen valaisuun ne eivät sovellu. Laserdiodit ovat mekaanisesti kestäviä ja niiden käyttöikä on pitkä. (Skinnari 2005, 19.)

Vakiohehkulamput soveltuvat huonosti konenäköjärjestelmiin, koska niiden valoteho vaihtelee jännitteen mukana ja niiden hyötysuhde on huono. Halogeenilamput soveltuvat vakiohehkulamppuja paremmin konenäköjärjestelmiin, koska kuvun sisäinen korkea paine estää volframia kertymästä vakiohehkulamppujen tapaan. Tämä estää valaisimen kupua tummumasta ja valo on stabiilimpi. Halogeenilamppujen valotehokkuus on myös vakiohehkulamppuja noin 50% suurempi. Halogeenilampuilla voidaan valaista kohde suoraa tai ohjaamalla valoa kuituoptyikan avulla haluttuun kohteeseen. Halogeenilamput soveltuvat kohteisiin, joissa tarvitaan suuria valomääriä. (Skinnari 2005, 19.)

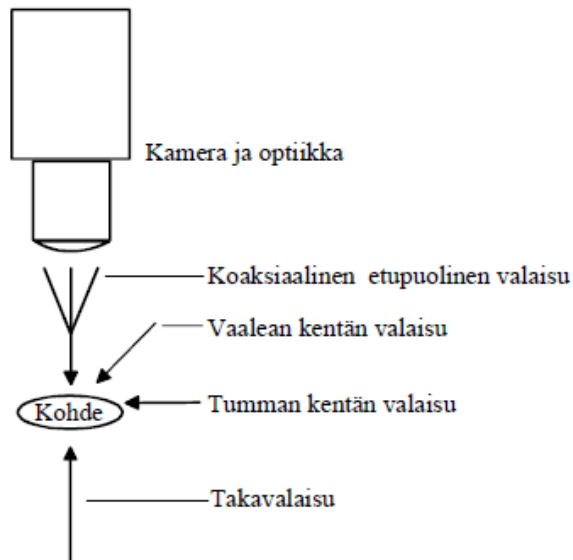
Loistevalaisimia käytetään konenäköjärjestelmissä yleensä tasaisen hajaheijastavan valon tuottamiseen. Loistelamppujen valontuottokyky vaihtelee, riippuen loisteaineiden tehokkuudesta muuttaa elohopean UV-säteily näkyväksi valoksi. Myös valon väriominaisuudet vaikuttavat loistelampun valotehoon. Loistelamput ovat hyvin soveltuvia konenäköjärjestelmien valaisimiksi, sillä ne ovat helposti muokattavia käyttötarkoituksen mukaisiksi. (Skinnari 2005, 18.)

LED-valaisimet muodostavat suuren intensiteetin omaavan, väikkymättömän valaistuksen. Näitä on myös saatavilla eri väreissä. Valaisimista voidaan rakentaa suurempia kokonaisuuksia ja rakenteita. LED-valaisimista voidaan rakentaa esimerkiksi taustavalo, valaistus sivulta ja ylhäältä sekä aikaan saada diffusoituva valaistus. (Huotari 2005,18.)

Ksenonvalaisimilla voidaan tuottaa voimakas valo, laajalla spektrillä ja hyvällä väritasapainolla. Ksenonpolttimoihin perustuvia malleja saa jatkuvatoimisina, sekä yleisemmin pulssitettuna strobo- tai salamavalona. (Konttinen 2005, 17.)

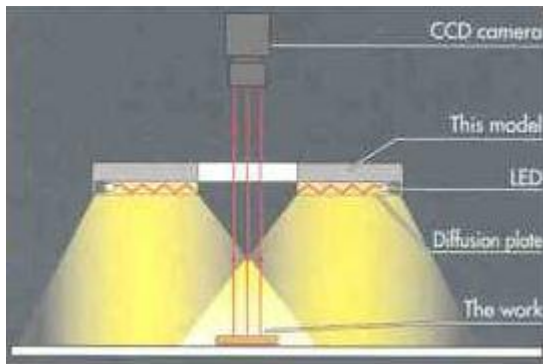
3.8.3 Valaistusgeometriat ja -menetelmät

Tarkasteltavan kappaleen valaisuun käytettävät valaisumenetelmät voidaan jakaa useaan päätyyppiin riippuen siitä, mitä piirteitä kuvauksella haetaan. Menetelmistä on lisäksi useita variaatioita. (Konttinen 2005, 15.)



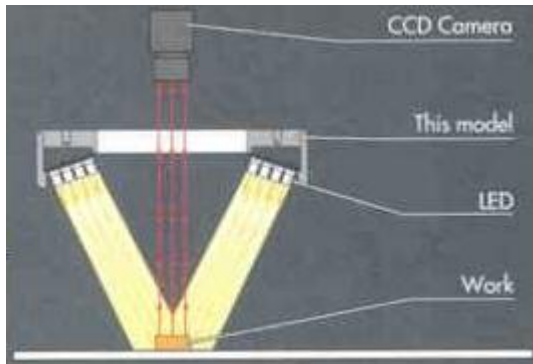
KUVIO 19. Valaistuksen kulmia (Konttinen 2005, 16.)

Hajaheijastettua etuvaloa (KUVIO 20) voidaan hyödyntää monissa eri tapauksissa ja onkin yleisimmin käytetty menetelmä. Valo voidaan tuottaa CDI-valaisimella (cloudy day illuminator), heijastavien apupintojen avulla, kuituvalaistuksella tai rengasmaisilla loisteputkivalaisimilla. Valaistus on pehmeää, tasaista ja suuntaamatonta. Hajavalo vähentää varjoja, kontrastia ja saattaa sumentaa kuvattavan kohteen reunoja. Valo ei myöskään heijastu kohteesta yhtä voimakkaasti kuin kollimoitu valo. (Ruuti 2002, 16.)



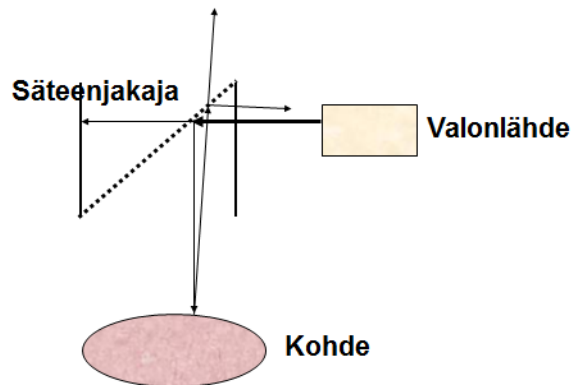
KUVIO 20. Diffusiivinen etuvalo (Omron 2002.)

Suunnattu valaistus (KUVIO 21) toteutetaan suuntaamalla valo kohteeseen kollimoidusti. Kuituoptiikka mahdollistaa moninaisten rakenteiden toteutuksen. Menetelmällä voidaan valaista hyvin kohteesta tarkkailtavia yksityiskohtia ja piirteitä. Menetelmä synnyttää varjoja, joita voidaan hyödyntää tietyn suuntaisten urien ja kolojen kuvaamisessa. Joissain tapauksissa valonlähteenä voidaan käyttää myös diffuusivisia valonlähteitä. Menetelmän haittapuolena voi olla epätasainen valaistus ja ei-haluttujen varjojen syntyminen. (Omron 2002; Konttinen 2005.)



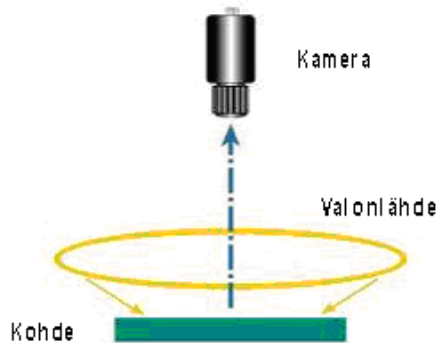
KUVIO 21. Suunnattuvalaistus (Omron 2002.)

Koaksiaalisessa valaistuksessa (KUVIO 22) käytetään suunnattua valaistusta siten, että kollimoitu valo on tarkassa suunnassa kameran objektiiviin nähden. Valaistuksen muodostamiseen käytetään erityistä objektiivia, jossa on säteenjakaja. Menetelmä saattaa aiheuttaa spekulaarista heijastusta ja ylivalottumista kirkkailla pinoilla. Valaistus on tasainen koko alalla ja eliminoi varjot. Menetelmä soveltuu esimerkiksi korkeiden kohteiden ja reikien kuvaamiseen. (Konttinen 2005, 17; Koljonen 2010.)



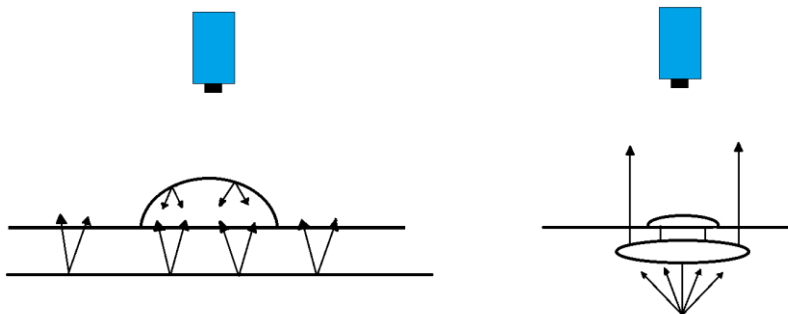
KUVIO 22. Koaksiaalinen valaistus (Koljonen 2010.)

Sivuvalaistuksella (KUVIO 23) voidaan tahallisesti synnyttää voimakkaita varjoja ja heijastumia, valaisemalla kollimoidulla valolla kohdetta hyvin pienestä kulmasta. Valo heijastuu kameraan vain kuvattavan kohteen pinnan epätasaisuuksista. Näin voidaan havaita naarmuja ja koholla olevia kohtia. (Koljonen 2011.)



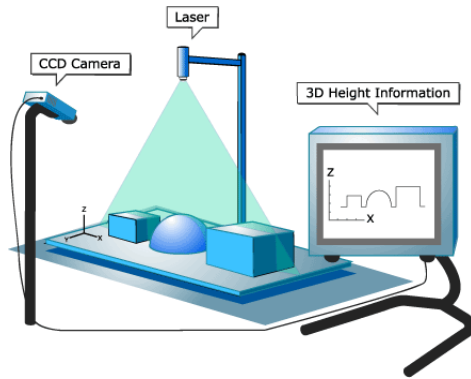
KUVIO 23. Sivuväläistus (Alroth 2010.)

Taustavalo (KUVIO 24) muodostaa kuvattavasta kohteesta silhuetin, luomalla suuren kontrastin vaalean taustan ja tumman kappaleen välille. Diffuusinen taustavalo on helposti toteutettava, mutta kollimoitu taustavalo muodostaa tarkemman kuvan reunoista. Diffuusinen taustavalo voidaan kuitenkin suunnata linssin avulla. Menetelmä soveltuu kappaleiden koon ja reikien mittaukseen. (Konttinen 2005, 17; Ruuti 2002, 13.)



KUVIO 24. Diffuusiiivinen ja kollimoitu taustavalo

Rakenteellinen valaistus (KUVIO 25) eli strukturoitu valaistus muodostetaan kollimoituja valonlähteitä käyttäen. Eri valonlähteistä tulevat valonsäteet suunnataan leikkaamaan samassa kohdassa. Menetelmällä voidaan hyödyntää kappaleen kolmiulotteisessa mittaamisessa ja tarkastelussa. Yleisesti menetelmässä käytetään valonlähteenä laseria ja vastaanottajana paikkaherkkää anturia tai CCD-kameraa. (Ruuti 2002, 12.)



KUVIO 25. Rakenteellinen valaistus (Alroth 2010.)

Salamavalo soveltuu nopeasti liikkuvien kappaleiden valaisuun. Valonlähteenä voidaan käyttää stroboa, jonka valopulssi mitoitetaan ohi menevien kappaleiden kanssa samaan rytmiiin. Menetelmällä saavutetaan edellytyksenä tarkalle kuvalle oleva riittävän suurin valon intensiteetti. (Skinnari 2005, 20.)

3.8.4 Valaisimen valinta

Sopivaa valaisinta valittaessa on huomioitava lämpösäteily, spektri, käyttöaika, valon stabiilisuus ajan kuluessa ja kustannukset. Myös ympäristön aiheuttamat räsäykset on huomioitava, esimerkiksi tärinä ja lika. Valolla olisi hyvä olla tasainen intensiteetti ja laatu koko käyttöiän. Kuvattava kohde asettaa valaisimelle omat vaatimuksensa. Peilimäinen, kaareva ja epäsäännöllinen pinta, epämääräiset reunat ja rajapinnat, läpinäkyvyys ja monivärisuus ovat seikkoja jotka vaikuttavat valaisimen valintaan. (Skinnari 2005, 19-20.)

Muita ominaisuuksia on esimerkiksi liikkuvuus, liikkuvaa kohdetta kuvataan muun muassa rajoittamalla kameran integrointiaikaa ja pulssitetulla valolla. Suunniteltaessa on selvítettävä, miltä kappale näyttää eri valaistuksessa ja miten saadaan parhaiten halutut piirteet esille. Suunnittelussa on huomioitava intensiteetin määrä, kuinka tasaista valaistusta haetaan, tarvitaanko varjoja vai polarisoitua valoa ja mitkä ovat valon spektrille (KUVIO 18) asetetut vaatimukset. (Skinnari 2005, 19-20.)

Kuvankäsittely helpottuu huomattavasti, mikäli kohteeseen vaikuttava valaistus pysyy muuttumattomana. Valaistus on toteutettu oikein kun kuva on mahdollisimman yksinkertainen, mutta antaa riittävän informaation tehtävän kannalta. (Halinen 2007, 7.)

3.9 Ohjelmistot

Ohjelmistoilla on suuri vaikutus järjestelmän toimintaan. Kuvankaappauskorttien valmistajilla on omat ohjelmansa, joiden työkalukirjastot vaikuttavat suuresti kortin suorituskykyyn. Näiden ohjelmistojen avulla mahdollistetaan kuvan ottaminen ja sen siirtäminen tietokoneen muistiin. Työkalukirjastojen avulla kuvaa voidaan monipuolisesti käsitellä ja analysoida. (Koljonen 2010.) Mittausohjelmistojen avulla saatuja tuloksia voidaan hyödyntää syöttämällä ne ohjausjärjestelmään. Näiden tietojen avulla ohjausjärjestelmä tekee esimerkiksi laatu- ja lajittelupäätöksiä. Ohjausjärjestelmä voi olla logiikassa tai tietokoneesta, se voidaan myös liittää toiseen ohjausjärjestelmään tai suoraan toimilaitteeseen. (Opetushallitus 2004.)

4 KUVANKÄSITTELY

4.1 Esikäsittely

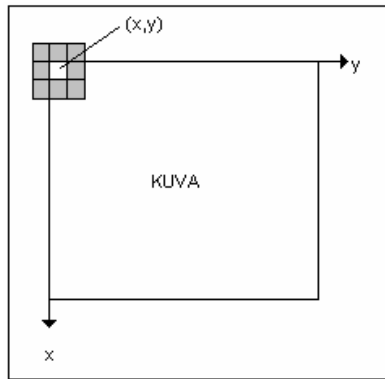
Ennen kuin kameran tulevaa kuvaa voidaan käyttää, sitä saatetaan joutua esikäsittelemään virheiden poistamiseksi, myös kontrastia voidaan pyrkiä korostamaan esikäsitteilyllä. Virheitä voi syntyä mm. kameran valoherkkyydestä, jota voidaan korjata gamma-korjauksella. Muita kameran aiheuttamia virheitä ovat mm. linssivääristymä, valoherkkien elementtien malli, kameran elektroniikan kohina ja kvantisointikohina AD-muunnoksessa. Kameran asentoa suhteessa kuvattavaan kohteeseen voidaan joutua korjaamaan koodinaattimuunnoksella. Kohteen valaistus ja johtimen häiriöt voivat myös aiheuttaa virheitä. (Kämäräinen 1999.)

Kohinat ovat usein syynä kuvissa ilmeneviin virheisiin. Kohinoita on erityyppisiä ja ne aiheutuvat eri lähteistä. Näiden vähentämiseksi on kehitetty erilaisia menetelmiä. Teollisessa ympäristössä on paljon lähteitä jotka indusoivat häiriöjännitteitä ja joskus kohinanpoistomenetelmät eivät näitä saa poistetuksi. Mahdollisimman lyhyiden analogisten johtimien käyttö ja optisten signaalien käyttö auttaa karsimaan haitallista kohinaa. (Kämäräinen 1999.)

Suodatuksella poistetaan kuvassa esiintyvää kohinaa ja muita häiriöitä. Suodatus tehdään joko spatiaali- tai taajuusalueessa. Yleisimmät käytettävät suodattimet ovat keskiarvo- ja mediaanisuodattimet. Koska suodatuksessa menetetään aina kuvainformaatiota, pitäisi kuvanmuodostuksessa pyrkiä niin hyvään kuvaan, ettei sitä tarvitsisi enää suodattaa. (Sieppi & Kivikoski 1997, 30.)

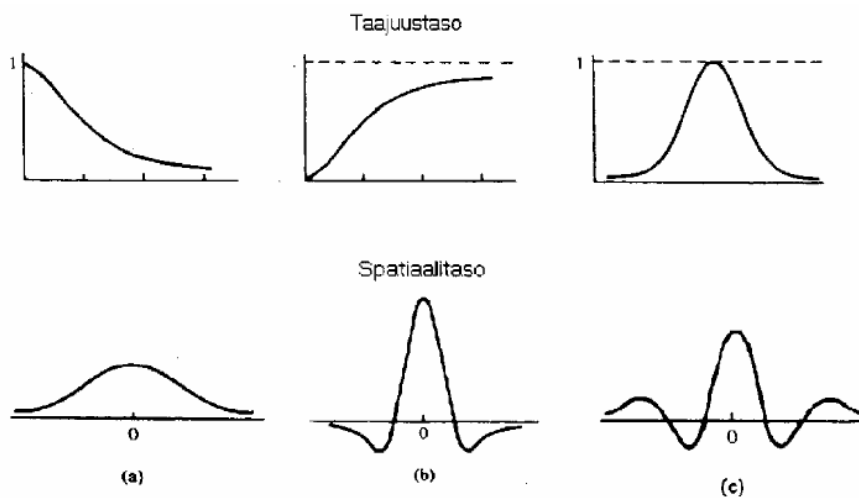
Spatiaalialisuodatuksessa käytetään maskiksi kutsuttuja matriiseja, joiden painokertoimet määrittävät suodatuksen lopputuloksen. Maskien koko vaihtelee 2x2-maskista 64x64-maskiin. Yleisemmin käytettyjä maskeja ovat 3x3 ja 5x5. Operaatioon tulisi valita laskentatehokkuuden vuoksi pienin sopivin maski. Suodatus tehdään ajamalla sopiva maski kuvan yli, jolloin pikselille annetaan uusi arvo, esimerkiksi maskin alueella olevien pikseleiden keskiarvon tai mediaanin mukaan. Maski asettuu kuvamatriisiin päälle siten, että maskin rivit ja sarakkeet

ovat kuvamatriisin kanssa samansuuntaiset. (KUVIO 26). Maskin ensimmäinen alkio on muutettavan pikselin päällä. (Sieppi & Kivikoski, 30; Huotari 2005, 25.)



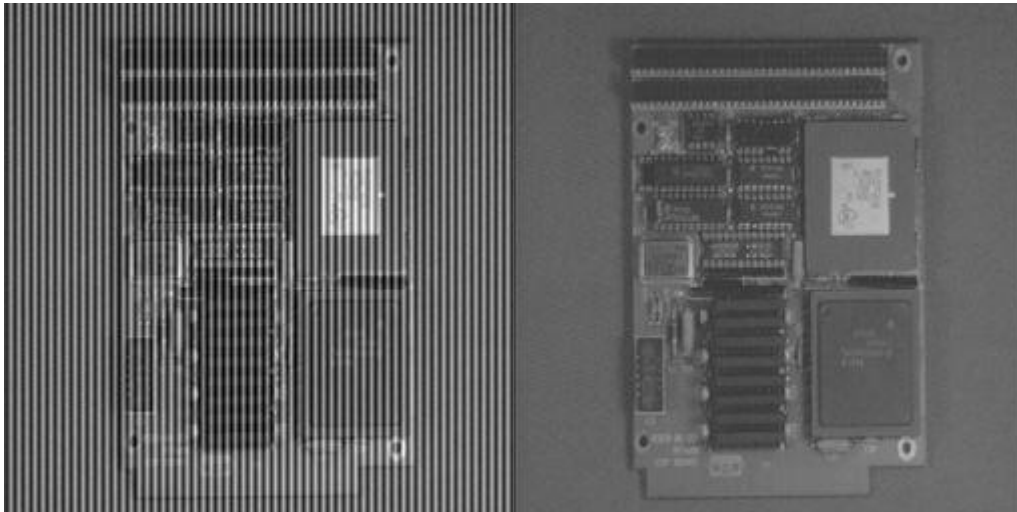
KUVIO 26. Maskin asettuminen kuvamatriisin päälle. (Huotari 2005, 25.)

Spatiaalisia suodattimia voidaan muodostaa taajuustason suodattimien kaltaisesti (KUVIO 27). Tavallisimpia ovat (a) alipäästö-, (b) ylipäästö-, ja (c) kaistanpäästösuodattimet. (Skinnari 2005, 23; Sieppi & Kivikoski 1997, 31.)



KUVIO 27. Taajuus- ja spatiaalitason suodattimia. (Skinnari 2005, 23.)

Taajuusalueessa tehtävä suodatus perustuu Fourier-muunnokseen. Muunnos tehdään muuttamalla kuva taajuustasoon, jossa voidaan vaimentaa tai korostaa haluttuja taajuuksia. Tämän jälkeen kuva muutetaan takaisin paikkatasoon. Menetelmä on periaatteeltaan yksinkertainen ja havainnollistava, mutta toteutukseltaan mutkikas ja laskennallisesti raskas. (Sieppi & Kivikoski 1997, 30.)



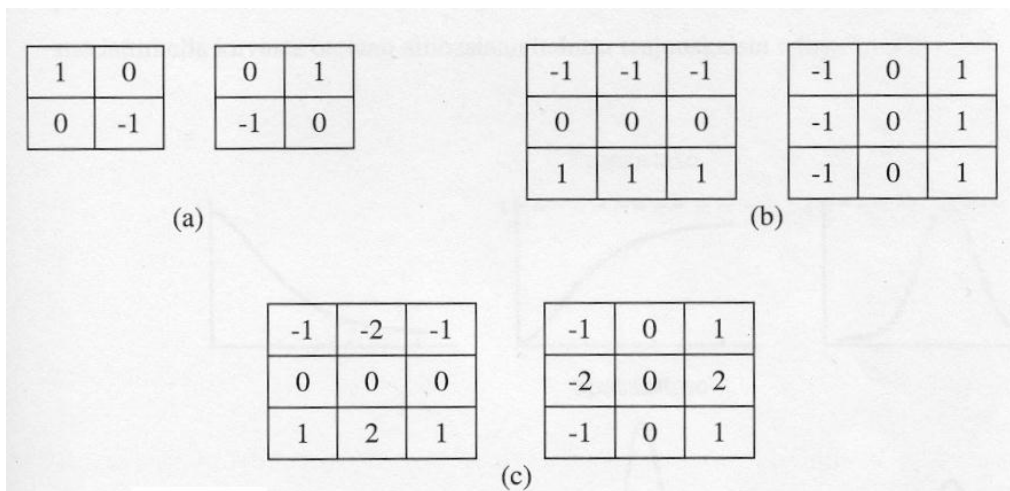
KUVIO 28. Kuva ennen ja jälkeen Fourier-muunnoksen avulla tehdyn suodatuksen (Halinen 2007, 10.)

4.2 Segmentointi

Kuvan esikäsittelyn jälkeen kuva segmentoidaan. Segmentoinnilla pyritään jakamaan kuva sellaisiin osiin, että siitä pystytään erottamaan halutut yksityiskohdat, esimerkiksi erottamaan kuvattava kohde taustasta. Segmentointitekniikoita on eri lähtökohdista kehitetty useita erilaisia. (Sieppi & Kivikoski 1997, 32.)

4.2.1 Alueiden reunojen ilmaisu

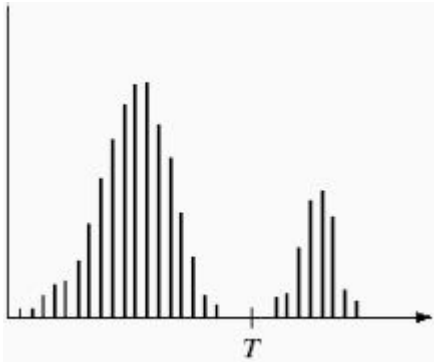
Reunat ovat kahden erilaiseen alueen rajoja, jotka eivät useinkaan ole teräväpiirteisiä. Reunoja pyritään ilmaisemaan gradientin avulla, osoittamalla maksimimuutoksen suunta. Gradientin laskemiseksi on kehitetty erilaisia maskeja (KUVIO 29). Sobelin operaattorilla (KUVIO 29c) on etuna, että se derivoinnin lisäksi myös tasoittaa kuvaa. (Sieppi & Kivikoski 1997, 33.)



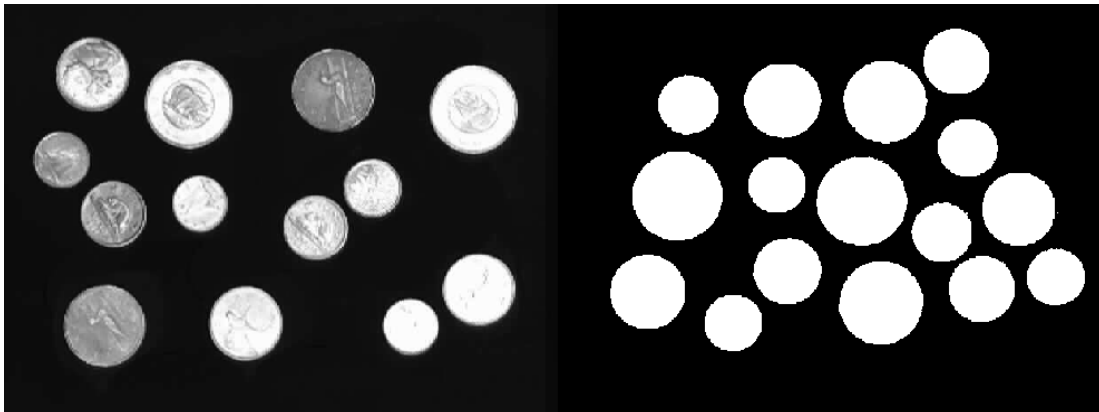
KUVIO 29. Reunaetsintämaskeja (a) Roberts (b) Prewitt (c) Sobel (Skinnari 2005, 23.)

4.2.2 Alueiden ilmaisu

Kynnystämällä muodostetaan binäärikuva, jonka osat ovat kohde ja tausta. Menetelmässä määritetään harmaasävyn arvo (KUVIO 30), joka toimii kynnyksenä. Arvon ylittäneet pikselit luetaan kohteeseen kuuluvaksi ja matalammat pikselit vastaavasti luetaan taustaan kuuluviksi. Kynnysarvoja voi olla useampia, mutta se on yhden kynnyksen menetelmää epäluotettavampaa. Yhdellä muuttuvalla kynnyksellä päästään parhaisiin tuloksiin, joskin kynnyksen valitseminen on tällöin vaikeampaa. (Sieppi & Kivikoski 1997, 34; Huotari 2005, 26.)



KUVIO 30. Kynnysarvon (T) perusteella voidaan kuva jakaa kahden tyyppisiin alueisiin. (Konttinen 2005, 26.)



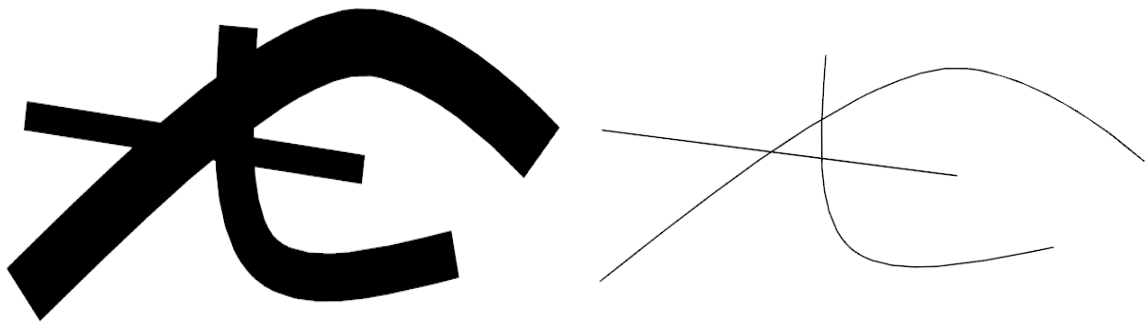
KUVIO 31. Kuva ennen ja jälkeen kynnistyksen. Mustaa korkeamman intensiteettiä omaavat pikselit on muutettu valkoiseksi. (Halinen 2007, 10.)

4.3 Piirteiden irrotus mittaus ja tulkinta

Piirreirrotuksessa halutaan kuvasta löytää ja mitata tehtävän kannalta oleellisia piirteitä, joita esimerkiksi teollisuusprosessi voi käyttää ohjaukseen tai laadunarviointiin (Kämäräinen 1999). Segmentoinnin tuloksena saatu reunapikseleiden joukko tai alueeseen kuuluvien pikseleiden joukko kuitenkin sisältää edelleen niin paljon tietoa, että sitä pyritään tiivistämään. (Sieppi & Karukoski 1997, 36.)

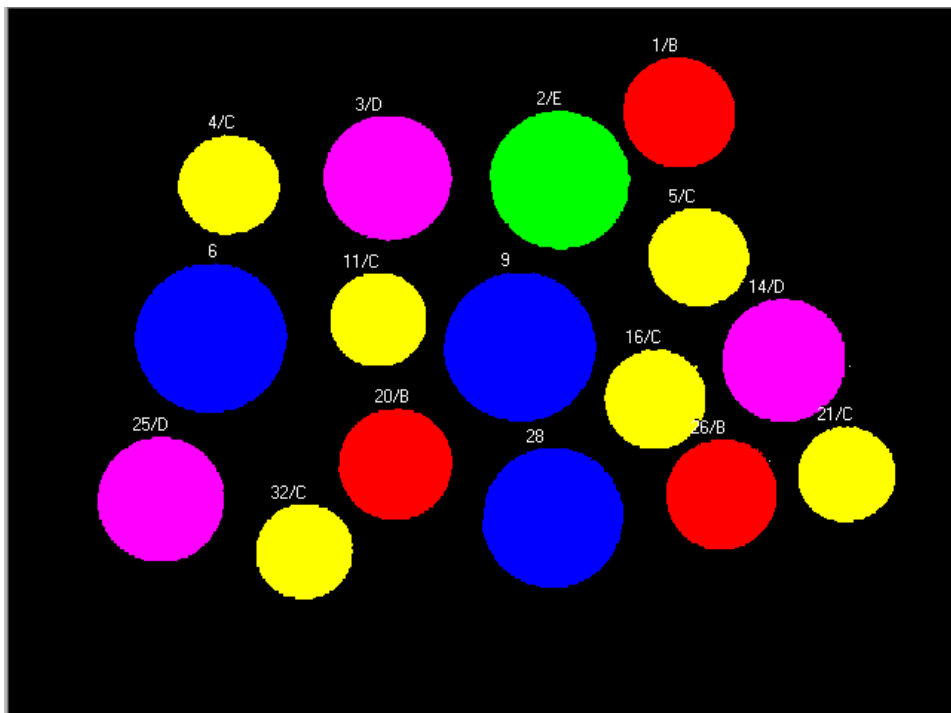
Kynnystyksessä syntynyttä binäärikuvaa voidaan analysoida eri tavoin. Kuvasta voidaan laskea alueiden määrä, kullakin alueella olevien pikseleiden määrä, tarkastella alueiden muotoa yms. (Koljonen 2010). Tähän käytetään morfologisia operaatioita, joissa käytetään maskin kaltaista strukturointielementtiä. Strukturointielementtiä myös liikutellaan maskin kaltaisesti, mutta strukturointielementin ja alla olevien pikseleiden tulee täyttää jokin looginen ehto (AND, OR, XOR,...). Näin määritetään kohdepikselille arvo. (Korhonen 2008, 10; Konttinen 2005, 27.)

Yleisimpiä perusoperaatioita ovat eroosio joka supistaa, dilaatio joka laajentaa sekä hit-miss jolla voidaan etsiä kohdetta. Näitä voidaan muodostaa erilaisia kombinaatioita, esimerkiksi opening/closing operaatio, joilla voidaan liittää erottaa heikosti liittyneet alueet tai liittää ne yhteen. Joidenkin kombinaatioiden toteuttamiseen tarvitaan alkuperäinen kuva. (Korhonen 2008, 10; Konttinen 2005, 27.)



KUVIO 32. Kuvan kohteelle on käytetty luuranko (skeleton) menetelmää, jolla etsitty kohteen keskiviivat. (Aalto-yliopisto 2011.)

Operaatioilla voidaan suorittaa tunnistusta (pattern matching), jolloin saatua kuvaa verrataan referenssikuvaan. Mikäli kuva on riittävän samankaltainen ja pysyy määrättyjen toleranssien sisällä se tunnistetaan. Toinen tapa on tulkinta (analysis), tällöin kuvaa tutkitaan ja siitä erotetaan piirteitä esimerkiksi muotoja, mittoja ja kokoa. (Aalto-yliopisto 2011.) Esimerkiksi laskemalla jonkin segmentoidun alueen sisältämät pikselit voidaan määrittellä alueen pinta-ala. Pinta-alan ja resoluutionin avulla voidaan mitat muuttaa SI-yksiköihin. Tätä voidaan hyödyntää myös hahmojen pituuksien mittaamisessa. (Skinnari 2005, 25.)



KUVIO 33. Kolikot ovat lajiteltu koon mukaan. (Halinen 2007, 11.)

5 KONENÄÖN HYÖDYNTÄMISEN MAHDOLLISUUDET

5.1 Potentiaaliset sovelluskohteet tuotantoprosessissa

Potentiaalisimmat kohteet konenäön hyödyntämiselle Lintula Oy:ssa ovat liimalevyn rimojen lajittelu ennen liimausta, leveänauhahiomakoneen laaduntarkkailu ja pintakäsittelyn laaduntarkkailu. Kaikissa kolmessa kohteessa on korkea käyttöaste ja ne ovat keskeisessä asemassa laadun kannalta. Koska valmistettavat sarjat ovat pieniä, eikä erillisiä linjoja eri tuotteille ja näiden osille ole, tulee konenäköjärjestelmän asetteiden olla helposti muokattavissa. Tuotantoprosessissa on vaiheita, jotka edellyttävät laajempaa investointia automaatioon, jotta konenäköjärjestelmän tuottamaan luokittelutulosta voidaan täysimääräisesti hyödyntää.

5.1.1 Liimalevyn rimojen lajittelu

Yrityksessä valmistetaan liimalevyä männystä ja koivusta. Liimalevyiksi liimattavat rimat lajitellaan pituuden mukaan, jonka jälkeen ne höylätään. Höyläyksen jälkeen rimat kulkevat linjastoa pitkin lajittelupisteelle, joissa höylätyt rimat lajitellaan kahden työntekijän voimin laadun mukaan. Lajittelussa huomioidaan myös liimalevystä koneistuksessa poistettava osuus, johon voidaan jättää laadultaan poikkeavia kohtia materiaalin käytön optimoimiseksi.

Konenäön hyödyntäminen edellyttäisi muutoksia linjastoon, riippuen kuinka laajasti konenäköä halutaan hyödyntää. Yksinkertaisin ratkaisu olisi toteutus, joka ohjaisi höyläämisen jälkeen huonolaatuisimmat rimat suoraan hakkuriin menevälle linjalle. Laajempi lajittelu edellyttäisi makasiineja, joihin rimat ohjattaisiin luokituksen mukaan ja josta ne voitaisiin ohjata makasiini vuorollaan liimattavaksi.

5.1.2 Leveänauhahiomakoneen laaduntarkkailu

Levenauhahiomakoneeseen on yhdistetty kaksi konetta peräkkäin, joista ensimmäinen hioo kappaleen alapuolelta ja toinen pinnan yläpuolelta. Linjan perässä on kuljetin, jossa on myös pinkkaaja. Leveänauhahiomakoneella hiotaan suurin osa kaikista kalusteisiin tulevista puuosista. Osien koko vaihtelee suuresti aina kaksi metriä pitkistä ja reilun metrin levyisistä pöydän kansista 20 cm pitkiin ja 5cm leveisiin pirttikalusteiden kiilatappeihin. Tämän johdosta leveänauhahiomakoneen perässä olevaa pinkkaajaa joudutaan siirtelemään, sillä se ei pysty pienimpiä kappaleita kuljettamaan. Levyjä pinkkaaja pystyy pinoamaan yhteen pinoon, lajiteltaessa levyt petsattaviin ja lakattaviin työ tehdään käsin. Tämä on suurempien pöydänkansien kohdalla hidasta ja raskasta, joka osaltaan vaikuttaa laaduntarkkailuun.

Kohteessa voidaan hyödyntää esimerkiksi 3D-kameraan perustuvaa sovellusta, jonka tuottaman luokittelutuloksen perusteella kappaleet lajiteltaisiin haluttuihin luokkiin, esimerkiksi petsattaviin ja lakattaviin. Sovellus kuitenkin edellyttäisi muutoksia kuljettimeen siten, että pystyisi kuljettamaan myös pienempiä kappaleita, jolloin olosuhteet olisivat stabiilimmat ja muutokset kuvausetaisyysissä eivät radikaalisti muuttuisi. Kuljettimen pinkkaajan olisi pystyttävä pinoamaan hiottavat kappaleet useampaan pinoon, jolloin konenäön hyödyntäminen olisi myös taloudellisesti kannattavampaa. Näin sarjan hiomisesta ja laaduntarkkailusta selvittäisiin yhdellä työntekijällä. Käytössä oleva tila kuitenkin asettaa reunaehjoja kuljettimen koolle. Kohteessa tulisi kiinnittää erityistä huomiota myös riittävään pölynpoistoon ja laitteiston suojaukseen.

5.1.3 Pintakäsittelyn laaduntarkkailu

Pintakäsittely suoritetaan kahdella käsiruiskulla ja yhdellä ruiskuautomaatilla. Pintakäsittelytiloissa ei ole kuljettimia vaan kappaleet kuljetetaan kärryissä. Sävyeroja syntyy pintakäsittely aineita sekoituksessa, lisäksi pintakäsiteltävä materiaali ja siinä mahdollisesti olevat laatuvirheet vaikuttavat työn lopputulokseen.

Pintakäsittelyn laaduntarkkailu konenäön avulla edellyttäisi hyvin stabiilit olosuhteet, oli kyse sitten koko tuotannon testauksesta tai koevärjäyksen yhteydessä tehtävästä testauksesta. Lakkapinnan naarmut, kuplat, roskat jne. voidaan tunnistaa konenäöllä hyödyntäen sivuvalaisua. Maalipintojen värisävy voidaan lukea värianturein. Petsin vaihtelevan värisävyn lukeminen edellyttää konenäköjärjestelmää, joka pystyy tunnistamaan yleissävyn niin sanotun globaalivärin ja poikkeamat siinä. Ominaisuus löytyy esimerkiksi Baumerin ColourBrain-teknologiasta.

5.2 Suunnittelun lähtökohdat

Konenäköjärjestelmän suunnittelu lähtee mittauskohteen optisista ominaisuuksista ja niiden vaihtelusta, sekä siitä miten tarkasti tunnistaminen halutaan tehdä. Tärkeimpiä tietoja kappaleen ominaisuuksista ovat koko, väri, pinta ja muoto. Kuvausetäisyys ja optiikan valinta riippuu kappaleen koosta. Kappaleen muoto, väri ja heijastuvuus taas vaikuttaa valaistuksen suunnitteluun. Suunnitteluun vaikuttaa myös montako mittausta sekunnissa on tehtävä ja millaisessa liikkeessä kappale on. (Koljonen 2008; Mäenpää, Niskanen, Pylkkö, Ropponen & Silven 2008, 31.)

Ympäristöolosuhteista valaistus ja valon vaihtelu vaikuttaa valaistukseen ja mahdolliseen hajavalon suojaus tarpeisiin. Ilman epäpuhtaudet voivat vaikuttaa häiritsevästi kuvaan ja aiheuttaa tarpeen objektiivin suojaukselle. Suuret sähkölaitteet taas voivat aiheuttaa häiriötä konenäköjärjestelmän tiedonsiirtoon. Kameran kennokoko/resoluutio, optiikan valinta ja kuvausetäisyys riippuu halutusta tunnistustarkkuudesta. Muita reunaehtoja asettavia asioita ovat mm. konenäköjärjestelmän integrointi muihin järjestelmiin, henkilökunnan osaaminen, kehitysaika ja kustannukset. (Koljonen 2008; Mäenpää ym. 2008, 31.)

5.2.1 Ominaisvaatimukset konenäköjärjestelmälle Lintula OY:ssä

Konenäköjärjestelmän hyödyntäminen perustuu konenäköjärjestelmän luoman luokittelutuloksen hyödyntämiseen. Luokittelutulos määritetään kuvattavan kappaleen laadun mukaan. Konenäköjärjestelmän edellytyksenä onkin, että sillä kyetään havaitsemaan ja tunnistamaan nämä laatuun vaikuttavat tekijät. Lintula Oy:ssä tämä tarkoittaa lähinnä puun luonnollisia laatuvirheiksi luokiteltavia ominaisuuksia sekä tuotantoprosessin aikana aiheutuvia vikoja.

Puun luonnolliset laatuluokitteluun vaikuttavat ominaisuudet:

- oksien koko
- oksien määrä
- oksien sijoittuminen
- pihkataskut
- vinosyisyys
- sävyerot
- sydänjuova
- laho

Tuotantoprosessin aikana aiheutuvia vikoja:

- lohkeamat
- painaumat ja kolhut
- vajaasärmäisyys
- puutteellinen profiili
- liimasaumat
- työstöjäljet
- palaneet kohdat
- halkeamat

Pintakäsittelyssä esiintyvät laatuvirheet voidaan jakaa sävyeroihin ja pinnassa esiintyviin virheisiin kuten kuplat ja roskat lakkapinnassa. Pintakäsittely voi myös tuoda esiin poikkeamia puun laadussa sekä työstössä mahdollisesti syntyneitä virheitä, joita ei ilman pinnan kostuttamista havaita, esimerkiksi hiomajäljet.

- sävyerot petsissä
- sävyerot maalissa
- eri sävyiset läikät
- kuplat lakkapinnassa
- muut pinnan epätasaisuudet

5.2.2 Valmiit laadunvalvontajärjestelmät

Markkinoilla on erilaisia valmiita konenäköön- ja ohjelmistohallintajärjestelmään perustuvia laadunvalvontajärjestelmiä, joiden mahdollisuuksiin on hyvä tutustua. Esimerkiksi Baumerin Inspection Systems. Nämä ovat valmiita linjastoihin liitettäviä laaduntarkkailu- ja prosessinohjausyksiköitä, joilla on useita eri sovelluskohteita. Kyseiset yksiköt perustuvat ColourBrain® värikuvankäsittely proseduriin ja automaattiseen värikalibrointiin. Laitteisto mittaa jatkuvasti pinnan värisävyä ja terävyyttä. Kyseinen teknologia jäljittelee ihmisen tapaa tarkkailla koristeellisia pintoja ja oppii hyvän ja huonon eron esimerkkien avulla. (Baumer 2008.)

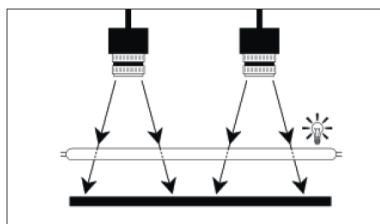
Laitteisto lukee esimerkiksi väriheittoja, paikallisia virheitä ja syykuvion virheitä. (LIITE 2-3) Järjestelmää ohjataan graafisen käyttöliittymän avulla, jonka valikoiden avulla järjestelmälle voidaan opettaa uusia tuotteita, asettaa toleransseja ja analysoida ilmenneiden vikojen yleisyyttä tilastoin ja kuvin vioista. Reunan tarkistusyksiköt perustuvat sarjaan kameroita, joissa on integroitu LED-valaistus. (Baumer Inspection 2008.) Hintaan vaikuttaa mm. linjaleveys, käytettävien kameroiden määrä ja ohjelmistot. Hinnat liikkuvat haarukassa 60 000 – 120 000€, reunan tarkistukseen tarkoitettut yksiköt voivat olla edullisempia (Nyman 2011).



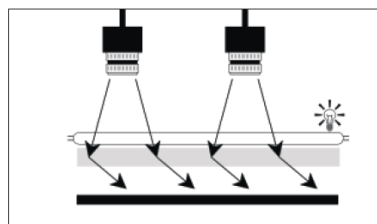
KUVIO 34. Surface ja Edge Inspection (Baumer 2008.)

Sovelluskohteita:

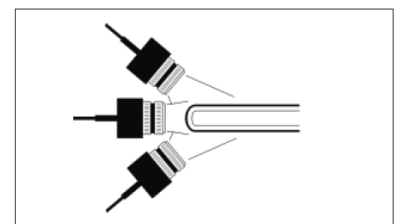
- lattiaparketin tuotanto
- huonekalujen osat
- reunalistoituksen laatu ja kiinnitys
- huonekaluteollisuuden raaka-ainelevyt (vaneri, viilu yms)
- rakennusteollisuuden raaka-ainelevyt
- lattialaminaatin tuotanto
- paperipinnoitteet, kalvot
- laattojen valmistus



Colour modules



Reflex modules



Edge modules

KUVIO 35. Laaduntarkkailujärjestelmän moduuleita. (Baumer 2008.)

5.3 Konenäön hyötyjä

Konenäöllä saavutetaan taloudellista hyötyä useimmiten välillisesti, hyötyjen kokonaisvaltainen mittaaminen on hankala toteuttaa. Konenäkö korvaa ihmisen tekemän työn, joka on kallista, hidasta, epäjohdonmukaista ja epätarkkaa. Työvoimakustannukset ovatkin yleinen syy konenäön käyttöön. Saavutettu etu voidaan tällöin laskea säästyneinä palkkakuluina. Konenäkö on myös ihmistä nopeampi tekemään tarvittavan päätöksen ja tilanteissa, joissa ihmisen tekemä tarkastus ja jälkikäsitteily on ketjun pullonkaula, tällöin voidaan konenäöllä saavuttaa huomattava lisä kokonaistuotantoon. (Mäenpää ym. 2008, 30.)

Ihmisen työn tulos on riippuvainen kokemuksesta, vireydestä ja motivaatiosta. Konenäkö taas pystyy suorittamaan samaa tehtävää objektiivisesti ja väsymättä, sekä mukautuu viiveettömästi vaihtuviin standardeihin. Laadun paranemisesta koituvaa hyötyä on vaikea mitata. Joitakin indikaattoreita asiakastyytyväisyydestä saadaan toki reklamaatioiden määrässä ja markkinaosuuksissa. Tuotteiden laatu vaikuttaa koko yrityksen imagoon. (Mäenpää ym. 2008, 30.)

6 LOPPUPÄÄTELMÄT

Opinnäytetyöni tavoitteena oli, että työni selventäisi konenäön toimintaa siinä määrin, että antama tietopohja toisi konenäön ja sen tuomat mahdollisuudet osaksi tuotannon kehittämistä. Tähän olen pyrkinyt tarjoamalla kattavasti perustietoa konenäköjärjestelmistä ja sen komponenttien toiminnasta, sekä konenäkösovellusten suunnitteluun keskeisesti vaikuttavista tekijöistä. Näiden tietojen valossa voidaan ymmärtää miten luokittelutulos konenäköjärjestelmässä syntyy, mitkä ovat sen edellytykset ja miten sitä voidaan hyödyntää.

Konenäköjärjestelmän hyödyntäminen Lintula Oy:n huonekalutehtaalla edellyttäisi investointeja linjastoihin ja niiden automatisointiin, jolloin luokittelutulosta voitaisiin käyttää prosessinohjauksessa. Konenäön hyödyntämisen mahdollisuudet tehtaassa pitkälti riippuukin siitä, kuinka laajoja muutoksia voidaan tehdä ja millaisella aikataululla. Opinnäytetyöni tarkoitus onkin toimia apuna pidempi aikaisessa tuotannon kehityksessä, tuomalla konenäön mahdollisuudet osaksi tätä prosessia.

Uusia opinnäytetöiden aiheita asian tiimoilta varmasti saisi. Ammattikorkeakoulun opinnäytetöitä ei yritykseen olla aikaisemmin tehty, joten toivon että työni antaa positiivisen vaikutelman ja aiheita opinnäytetöihin syntyy jatkossakin.

LÄHTEET

- Aalto-yliopisto. 2011. Automaation signaalikäsittelymenetelmät. Luentomateriaali. Www-dokumentti. Saatavissa: http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c_teoria.pdf. Luettu 30.5.2011
- Aimonen, P. Konenäön sovelluksia. Ohutlevy 1/2010. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ohutlevy.com/index.htm>. Luettu 30.5.2011.
- Alroth, H. 2010. Oy Delta-Enterprise Ltd. Konenäkö. Aalto-Yliopiston insinööritieteiden korkeakoulu. Luentomateriaali. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/as-116.1100/luennot/AS-116_1100_luentokalvot_konenako.pdf. Luettu 30.5.2011.
- Baumer Inspection. 2008. ColourBrain Inspection. Automatic optical inspection and process monitoring. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.baumerinspection.com/fileadmin/user_upload/media/Baumer_Inspection/Broschuren/CB_Inspection_Machines_en.pdf. Luettu 28.8.2011.
- Cognex Corporation. 2011. 3D Machine Vision with 3D-Locate. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.cognex.com/ProductsServices/VisionSoftware/default.aspx?id=6466>. Luettu 15.08.2011.
- Halinen, M. 2007. Konenäkö robotin ohjauksessa. Aalto-yliopisto. Luentomateriaali. Saatavissa: http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c_teoria.pdf. Luettu:
- Huotari, T. 2005. Puun dimensioiden määrittäminen konenäöllä. Opinnäytetyö. Kajaanin Ammattikorkeakoulu.
- Itävuori, A. 2010. Konenäkö avusteinen robotiikka elintarviketeollisuudessa. Kandidityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- Jääskeläinen, E., Solehmainen, K. & Tuunainen, A. 2010. Uudet innovaatio hitsausautomaatiossa. HitSavovia II hankkeen loppuraportti. Savonia-ammattikorkeakoulu.
- Koljonen, J. 2010. AUTO3110 Konenäkö. Luennot 1-7. Luentomateriaali. Vaasan yliopisto.
- Konttinen, S. 2005. Sellumassan mittaaminen konenäöllä. Insinöörityö. Kajaanin ammattikorkeakoulu.
- Korhonen, A. 2008. Jäysteen mittaaminen konenäkösovelluksen avulla. Opinnäytetyö. Kajaanin ammattikorkeakoulu.
- Kurkioja, A. 2008. Konenäkölaitteisto. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Kämäräinen, J. 1999. Teräksen vakuumikäsitteilyn visuaalinen laadunarviointi. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. tekniikan diplomityö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www2.it.lut.fi/project/52105/thesishtml/thesishtml.html>. Luettu 30.5.2011.

Laapotti, J. 2004 Työohje Omron F150 – Koneäköjärjestelmälle. Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Ylivieskan yksikkö.

Lintula Oy. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.lintula.fi/> Luettu: 30.5.2011.

Mielonen, J. 2007. Koneäkösovellus paperirullien hylsyjen sijainnin tutkimisessa. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kone- ja automaatiotekniikka.

Mäenpää, T., Niskanen, M., Pylkkö, H., Ropponen, S., & Silven, O. 2008. Koneäköön hydyntämisenmahdollisuudet teiden ylläpidossa ja hoidossa. Tiehallinnon selvityksiä 26/2008.

Nyman, V. 2011. Puhelin keskustelu. 31.8.2011. Projecta OY

Omron Vision koulutus CD v.1.0. 2002. CD-ROM. Omron Corporation.

Opetushallitus. 2004. Koneäkö [viitattu 2.2.2011]. Saatavissa: <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/automaatio/konenako/index.html>

Orbis Oy. Kotisivut. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.orbis.eu/default.asp?docId=17096&productGroupId=12386&lang=fi>. Luettu 15.7.2011.

Orbis Oy. Kotisivut. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.orbis.eu/default.asp?docId=17096&subGroup1=12386&productGroupId=18312&lang=fi> Luettu 15.7.2011

Pikkarainen, H. 2004. Koneäkö elintarviketeollisuuden työkaluna. Kehittyväelintarvike. Nro 4. s.26-27

Pitkälä, S. 2004. Harmaasävykameran liittäminen graafiselle LCD-näytölle- Opinnäytetyö. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala.

Rinne, O. 2010. Digi Info. Www-dokumentti. Saatavissa: http://digifaq.info/digi_omat/kennot.html. Luettu 28.8.2011

Ruuti, Marko. 2002. Koneäköön hyödyntäminen Scanfillin mekaniikantehtaalla. Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Kokkolan yksikkö.

Sensorola Oy. 2010. Kotisivut. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.sensorola.fi/optinen_anturi.html. Luettu 28.8.2011.

Sieppi, E. & Kivikoski, M. 1997. Elektroniikan tuotanto ja konenäkö. Raportti 4-97. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Sähkötekniikan osasto. Elektroniikan laitos.

Skinnari, T. 2005. Konenäön soveltaminen pintaviilun leikkauksessa. Opinäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Somero, J. 2008 Konenäön soveltuvuus korroosion tutkimiseen hylsystä. Opinäytetyö Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Ylivieskan yksikkö.

Suomi, S. 1992. Automaattinen tunnistus. Espoo, Vation teknillinen tutkimuskeskus.

LIITE 1/1**LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSIÄ**

Lyhenne	Sanoista	Selitys
AD	Analog/Digital	Analoginen/Digitaalinen
AI	Analog Input	Analogiatulo
AO	Analog Output	Analogialähtö
ASI	Actuator Sensor	Interface ASI-väylä
CAD	Computer Aided Desing	Tietokoneavusteinen suunnittelu
CCD	Charge-Coupled Device	Kenno
CD	Compact disc	Levyke
CP	Communication unit	Kommunikaatioyksikkö
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor	Kenno
CPU	Central Processing Unit	Ohjausyksikkö
DB	Data Block	Tiedostoyksikkö
DI	Digital Input	Digitaalitulo
DO	Digital output	Digitaalilähtö
EIA-644	Liittimen standardi	Liitin (LVDS)
FB	Function Block	Toimintayksikkö
FBD	Function Block Diagram	Logiikkakaavio
FC	Function (Ohjaus)	Toimintayksikkö
FMS	Fild Message Specification	Tietojen tarkennus
I/O	Input/output	Tiedon siirräntä
IEEE 1394	Liittimen standardi	Liitin (Fire wire)
IFM	Integral Functions	Integroituja toimintoja
LAD	Ladder Logic	Relekaavio
LVDS	Low-voltage differential signaling	Liitin
LED	Light-Emitting Diode	Hohtodiori

LIITE 1/2








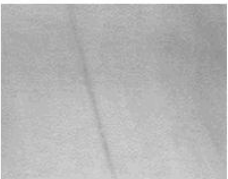

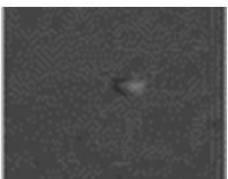

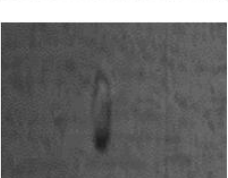
MDI	Manual Data Input	Manuaalinen datan syöttö
MPS	Modular Process System	Moduloitu prosessilaitteisto
NTSC	National Television System Committee	Analoginen videosignaali
OB	Organization Block	Organisaatioyksikkö
PAL	Phase Alternating Line	Analoginen videosignaali
PC	Personal Computer	Tietokone
RS422	Liitin standardi	Liitin – vastakappaleen standardi usein RS644
RS644	Liitin standardi	Liitin – vastakappaleen standardi usein RS422
SM	Signal Module	Signaaliyksikkö
STL	Statement List	Käskylista
USB	Universal Serial Bus	Liitin
RGB	Red, Green, Blue	Punainen, vihreä, sininen
SCART		Euro-AV -liitin
SCSI	Small Computer System Interface	Liitin-standardi tiedonsiirtämiseksi
SECAM	Sequential Color with Memory	Analoginen videosignaali
SVGA	Super Video Graphics Array	Näyttöstandardi
SXGA	Super Extended Graphics Array	Näyttöstandardi
VAC	Alternating Current	Vaihtovirta
VDC	Direct Current	Tasavirta
VGA	Video Graphics Array	Näyttöstandardi
XGA	Extended Graphics Array	Näyttöstandardi

(Lähde: mukailen Kurkioja 2008.)





LIITE 2

ColourBrain® Pinnantarkistus

Tyypillisiä vikoja

	rako / taite		Piste		Läikkä		Hiontaviat		Väriäikkä		Väripiste
	Himmeä alue		Kirkas alue		Kolhu		Muhkura		Likaa		Reiät, kuopat yms. viat

ColourBrain® Reunan tarkistus Tyypillisiä vikoja

				
Pitkittäiset murtumat	Muhkurat	Näppyvät	Naarmut	Lista irti, liimaa yms.
				
Kiilto	Kolhut	Painumat, reiät	Vajaa pinnoite	Poikittaiset halkeamat

