

Tuomo Suutari

Konenäköjärjestelmien päivittäminen robottisoluissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

10.10.2014

Tekijä Otsikko	Tuomo Suutari Konenäköjärjestelmien päivittäminen robottisoluissa
Sivumäärä Aika	37 sivua 10.10.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Kappaletavara-automaatio
Ohjaajat	Tekninen suunnittelija Stefan Hildén Yliopettaja Jouni Jokelainen
<p>Insinööriyön tavoitteena oli päivittää kolmessa robottisolussa olevat konenäköjärjestelmät Ido Kylpyhuone Oy:n Tammisaaren tehtaassa. Kohteena olevat järjestelmät ovat tulleet elinkaarensa loppuun sekä ohjelmistojen että tekniikan suhteen. Toiminnan varmistamiseksi tulevaisuudessakin järjestelmät vaativat uudistamista.</p> <p>Työn teoriaosassa tutustuttiin konenäköjärjestelmien toimintaan, rakenteeseen ja erilaisiin tekniisiin ratkaisuihin. Lisäksi tutkittiin erilaisia kuvankäsittelyyn liittyviä tekniikoita ja niiden taustalla olevaa matematiikkaa. Työn toteutusosassa kerrotaan uusien järjestelmien valinnasta, asennuksesta ja käyttöönotosta.</p> <p>Työn tuloksena kaikkiin konenäköjärjestelmiin hankittiin uudet komponentit ja ohjelmistot. Uudet järjestelmät asennettiin kahteen robottisoluun. Ne saatiin asennettua ja toimintaan halutussa aikataulussa. Kolmannen järjestelmän asentaminen jouduttiin siirtämään tuotantotilanteen vuoksi myöhäisempään ajankohtaan.</p>	
Avainsanat	konenäkö, tietokonenäkö, kuvankäsittely

Author Title	Tuomo Suutari Updating of the Machine Vision Systems in Robot Cells
Number of Pages Date	37 pages 10 October 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering
Specialisation option	Manufacturing Automation
Instructors	Stefan Hildén, Technical Designer Jouni Jokelainen, Principal Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's Thesis was to update three machine vision systems. These systems are located in robotised glazing cells at Ido Bathroom Ltd. Tammissaari plants. The life cycle of these systems, regarding components and programs, are approaching their end. For securing the continuous working of these systems, they need to be updated.</p> <p>Operation, structure and techniques of machine vision systems are presented in the theoretical section of this thesis. Image processing and analysis were studied alongside with related mathematics. Choosing the equipment, installation and starting up the systems are explained in the practical section of this thesis.</p> <p>As a result of this project new components and software to three machine vision systems were achieved. Two of these systems were installed and implemented in the desired schedule. Due to the production situation, implementation of third system had to be moved to a later occasion.</p>	
Keywords	machine vision, computer vision, image processing

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Konenäkö	2
2.1	Tietokonenäkö ja konenäkö	2
2.2	Konenäköjärjestelmän rakenne	3
2.3	Konenäön sovellusalueita	3
3	Kuvan muodostus	4
3.1	Kamerat	5
3.1.1	Kuvasensorit	5
3.1.2	Liitännät	7
3.2	Optiikka	8
3.2.1	Ohuen linssin yhtälöt	9
3.2.2	Vääristymät	11
3.3	Valaistus	12
3.3.1	Valaisintyytit	12
3.3.2	Valaistustekniikat	13
4	Kuvankäsittely ja -analyysi	14
4.1	Digitaalinen kuva	14
4.2	Kuvan esikäsittely	15
4.3	Segmentointi	20
4.4	Kohteentunnistus ja luokittelu	21
5	Päivitettävät konenäköjärjestelmät	22
5.1	Robottisolujen toiminta ja laitteisto	23
5.2	Järjestelmien historia	24
5.3	Komponentit	24
5.4	Ohjelmat	25
6	Työn kuvaus	25
6.1	Esiselvitys ja uuden järjestelmän valinta	25
6.2	Uuden järjestelmän komponentit	27
6.3	Tietokoneiden asennus ja testaus	28

6.4	Mekaaninen asennus ja käyttöönotto	29
7	Yhteenveto	33
	Lähteet	35

Lyhenteet

AD	Analog Digital. Analogia-digitaalimuunnos.
CAT-6	Ethernet-kaapelistandardi, joka tukee 250 MHz kaistanleveyttä ja 1000BASE-T -sovelluksia.
CCD	Charge Coupled Device. Digitaalikameran kennotyyppi.
CCIR	Videostandardi mustavalkoiselle kovalle.
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor. Digitaalikameran kennotyyppi.
DOF	Depth of Field. Syvyysterävyysalue. Valokuvauksessa käytettävä termi alueesta, jolla kohde on tarkentuneena.
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol. Verkkoprotokolla, joka jakaa IP-osoitteet verkkoon liitetyille laitteille.
FOV	Field of View. Näkyvä alue. Valokuvauksessa käytettävä termi alueesta, joka nähdään.
GigE Vision	Vuonna 2006 julkaistu rajapintastandardi konenäkökameroille.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Kansainvälinen tekniikan alan järjestö, joka määrittelee standardeja.
IP	Internet Protocol. Yhteysosoite, jolla yksilöidään verkkoon liitetty laite.
I/O	Input/Output. Tulo ja lähtö. Yleinen nimitys tietotekniikassa kommunikointille.
JIIA	Japan Industrial Imaging Association. Japanilainen konenäköön keskittyvä järjestö.

MIL	Matrox Imaging Library. Matroxin kehittämä ohjelmistotyökalu konenäkösovelluksiin.
MTBF	Mean Time between Failures. Vikaantumisväli. Keskimääräinen aika laitteen valmistuksesta tai kunnostuksesta siihen kunnes se vikaantuu.
NTSC	National Television Standards Committee. Videostandardi, joka on käytössä Amerikassa.
PAL	Phase Alternating Line. Videostandardi, joka on käytössä Länsi-Euroopassa, Australiassa ja Kiinassa.
PCI	Peripheral Component Interconnect. Tietokoneväylä, jonka avulla liitetään lisälaitteita tietokoneeseen.
PCI Express	Peripheral Component Interconnect Express (PCIe). Suurinopeuksinen tietokoneväylä, jonka avulla liitetään lisälaitteita tietokoneeseen.
PoE	Power over Ethernet. Virransyöttö ethernet-kaapelia pitkin.
RGB	Red, Green, Blue. Värimalli, jonka avulla voidaan esittää kaikki muutkin värit.
RS-170	Videostandardi mustavalkoiselle kuvalle.
SECAM	Sequentiel Couleur A Memoire. Eurooppalainen videostandardi, joka on käytössä Ranskassa ja Itä-Euroopassa.
SVGA	Super Video Graphics Array. Grafiikkastandardi, jonka tarkkuus on 800x600.
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol. Tietoliikenteessä käytettävä protokollastandardi.
USB	Universal Serial Bus. Sarjaliitännästandardi.

- VGA Video Graphics Array. IBM:n kehittämä grafiikkastandardi, jonka tarkkuus on 640x480.
- XGA Extended Graphics Array. Grafiikkastandardi, jonka tarkkuus on 1024x768.

1 Johdanto

Tämä insinööriyö tehdään Ido Kylpyhuone Oy:lle. Ido Kylpyhuone kehittää, valmistaa, markkinoi ja myy kylpyhuonekalusteita, kuten wc-istuimia, pesualtaita ja kaapistoja. Ido kylpyhuone on osa kansainvälistä Sanitec-konsernia. Sanitec-konsernilla on 18 tuotantolaitosta ympäri Eurooppaa ja se työllistää noin 6200 henkilöä. Koko Sanitec-konsernin liikevaihto oli vuonna 2013 703 milj. euroa, josta Ido Kylpyhuoneen osuus oli 75 milj. euroa. [1; 2.]

Ido Kylpyhuoneen historia ylettyy aina 140 vuoden päähän, jolloin saniteettiposliinin valmistus alkoi Helsingissä Arabian posliinitehtaalla. Tämä oli pitkään Pohjoismaiden ainoa saniteettiposliinia valmistava tehdas. Helsingin tehtaan tilojen käytyä pieneksi perustettiin Tammisaaren uusi tehdas. Oy Wärtsilä Ab, Tammisaaren Posliini nimellä avattiin tehdas vuonna 1969. Ido Kylpyhuone Oy nimi otettiin käyttöön 1992 ja samalla aloitettiin IDO-brändin rakentaminen vanhan Arabia-brändin tilalle. [3.] Edelleen Tammisaarella sijaitseva tehdas on Suomen ainoa saniteettiposliinin valmistaja, joka työllistää noin 250 henkilöä. Tehdas on pitkälle automatisoitu muun muassa modernien tuotantolinjojen, 40 teollisuusrobotin ja vihivaunujen avulla. [4.]

Insinööriyön tavoitteena on päivittää kolmen robottisolun konenäköjärjestelmät. Konenäköjärjestelmien päivittäminen tuli ajankohtaiseksi, kun Microsoftin tuki loppuu tietokoneissa käytössä olevissa Windows XP -käyttöjärjestelmissä. Lisäksi järjestelmän kuvankaappauskorttien valmistus on loppunut ja niiden kanssa on esiintynyt yhteensopivuusongelmia asennettaessa niitä uusiin tietokoneisiin. Korvaavien järjestelmien karitoitus ja uuden valinta on tehty aiemmin. Investointipäätöksen hyväksymisen jälkeen uuden järjestelmän komponentit tilattiin ja tämän insinööriyön tekeminen aloitettiin.

2 Konenäkö

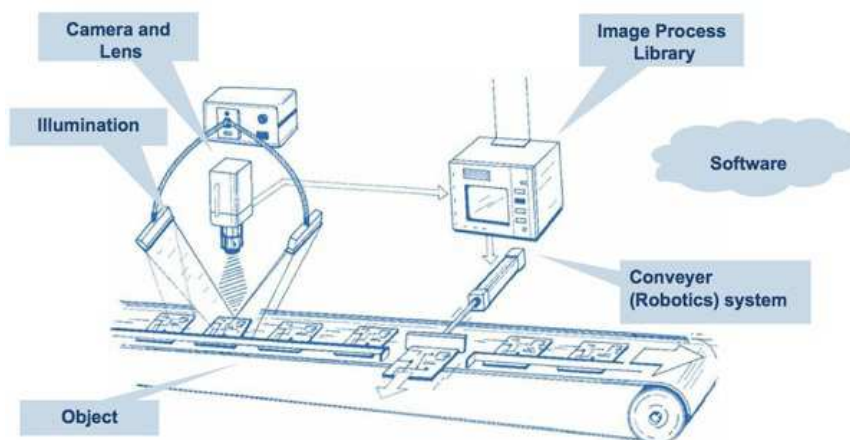
Konenäkö on laitteisto, jonka tarkoituksena on optisesti ja ilman kosketusta tehdä automaattinen kuvan tai näkymän analysointi ja tulkitseminen. Tämän tiedon perusteella tehdään päätöksiä, ohjataan prosesseja ja koneita, kuten robotteja. [5]. Konenäön avulla yritetään matkia ihmissilmän ja aivojen toimintaa. Tämä on vaikeaa toteuttaa, koska silmän joustavuutta ja aivojen oppimiskykyä ei pystytä tekemään tekniikan avulla. Tämän takia yleispätevää, kaikkialla toimivaa konenäköjärjestelmää ei ole onnistuttu kehittämään. [6 s. 11.]

2.1 Tietokonenäkö ja konenäkö

Yleisesti puhutaan tietokonenäöstä (computer vision) ja konenäöstä (machine vision) tarkoittaen samaa asiaa. Batchelorin [7] mukaan termeillä on kuitenkin eri merkitys:

Tietokonenäkö on tieteellinen ja tutkimuksellinen lähestymistapa kuvankäsittelyyn ja -analyysiin. Sen sisäänmeno on tiedosto, jossa kuva on. Kuvaa käsitellään ja tutkitaan matemaattisilla menetelmillä.

Konenäkö on taas enemmän monipuolinen ja laaja järjestelmätekniillinen ala, johon kuuluu systeemisuunnittelua ja vaatii laaja-alaisempaa tietämystä esimerkiksi anturi-tekniikasta, valaistuksesta ja optiikasta. Konenäön sisäänmenona on esimerkiksi jokin hihnalla oleva tuote ja ulostulona laitteen tai prosessin ohjaus (kuva 1).

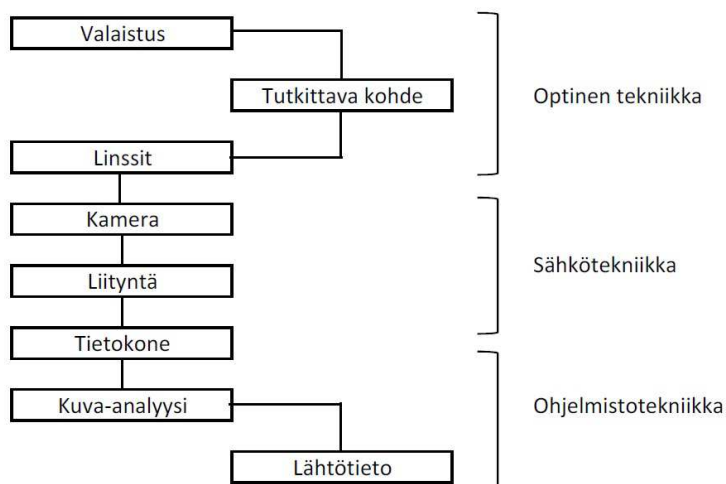


Kuva 1. Periaatekuva yksinkertaisesta konenäköjärjestelmästä [8].

2.2 Konenäköjärjestelmän rakenne

Hornbergin [9] mukaan konenäköjärjestelmän prosessiketju on kuvan 2 mukainen. Kuvassa näkyy myös jaottelu eri tekniikan osa-alueisiin. Näiden alojen lisäksi tarvitaan mekaanista suunnittelua kameroiden ja valaistusten asentamiseen.

Konenäköprosessissa ensimmäisenä vaiheena on kuvanmuodostus, joka tapahtuu kameran, optiikan ja valaistuksen avulla. Näin saatu signaali siirretään tietokoneelle. Seuraavana on kuvankaappaus, jossa kameralta tuleva signaali muutetaan tietokoneen ymmärtämään muotoon. Riippuen signaalista ja järjestelmästä, kuvankaappaus tehdään erillisellä kuvankaappauskortilla tietokoneessa, suoraan kamerassa tai ohjelmallisesti tietokoneella. Tietokoneessa tehdään kuvankäsittely ja -analyysi, jonka tulokset siirretään eteenpäin ohjaamaan prosessia.



Kuva 2. Konenäköjärjestelmän prosessiketju [9].

2.3 Konenäön sovellusalueita

Alun perin konenäköjärjestelmät kehitettiin teollisuuden käyttöön, mutta laitteistojen kehittyessä konenäköä on alettu soveltaa monilla muillakin aloilla. Yleisimmin sovelluksia käytetään teollisuudessa yksitoikkisissa, tarkkuutta ja nopeutta vaativissa sekä vaarallisissa tehtävissä. Konenäöllä voidaan suorittaa tehtäviä myös sellaisilla aallonpituuksilla, mihin ihmisen näkökyky ei riitä. Etenkin elektroniikka- ja metallialoilla konenäön käyttö on yleistä laatu- ja kustannussyiden takia, joissa sitä käytetään laadun-

tarkastuksissa ja kokoonpanotehtävissä. Puu- ja paperiteollisuudessa konenäköä käytetään pintavirheiden havaitsemiseen. Paikoitussovelluksissa konenäkö etsii kohde-kappaleen, mittaa sen paikan ja orientaation. Tämä tieto lähetetään eteenpäin kappaletta käsittelevälle laitteelle, joka on usein teollisuusrobotti. Mittaussovelluksissa kappaleista mitataan haluttuja tietoja, kuten etäisyys, pinta-ala, tilavuus ja kaarevuus. Esimerkiksi elintarviketeollisuudessa käytetään koodilukua, jossa tarkistetaan parasta ennen päiväys. [6, s. 11–13; 10, s. 1–2.]

Lääketieteessä konenäköä käytetään rutiinitehtävissä kuvien analysoimisessa. Tällaisia tehtäviä on esimerkiksi mikroskopiaan perustuvat soluanalyysit sekä röntgen- ja ultraäänikuvien tulkitseminen. Muita lääketieteellisiä sovelluskohteita ovat verisolujen laskenta, kromosomien luokittelu, verisuonitutkimukset sekä röntgenkuvien muokkaus, jotta ihmisen on helpompi diagnosoida kuvaa. [11, s. 2.]

Kohteiden seurantaan perustuvia järjestelmiä käytetään esimerkiksi urheilupaikkojen ja yleisötapahtumien henkilömäärien laskemiseen, liikenteen laskemiseen sekä turvallisuussovelluksissa videovalvontaan. Muissa turvallisuussovelluksissa konenäköä käytetään biometriseen henkilötunnistukseen sormenjälkien, kasvojen, käsialan ja silmän iiriksen tunnistamisen perusteella. [11, s. 3.]

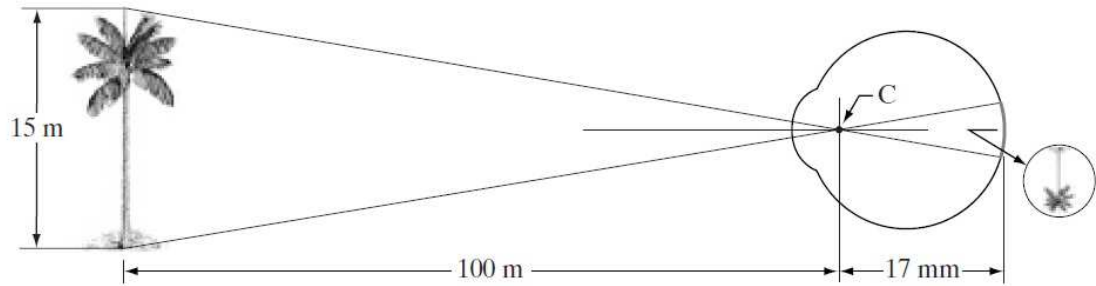
Uudemmissa autoissa on paljon konenäköön perustuvia avustajia. Tällaisia ovat esimerkiksi kaistavalvonta, pysäköintiavustaja, aktiivinen vakionopeussäädin, vireystilan ja liikennemerkkientunnistaja. [12.]

Älypuhelimissa löytyy kasvontunnistusohjelma, QR-koodien lukija ja erilaisia kielenkääntäjiä, jotka tunnistavat tekstiä. Nämäkin toiminnot perustuvat konenäköön. [13.]

Prosessiteollisuudessa konenäköä käytetään tuotteen laadun tarkkailuun sen näkyvien ominaisuuksien perusteella. Tällainen voi olla sokerin kiderakenteen tutkiminen. Tulosten perusteella säädetään tarvittaessa prosessia. [10, s. 2.]

3 Kuvan muodostus

Ihmissilmän näkemä kuva syntyy, kun valonlähteestä tuleva valo heijastuu tai absorboituu näkymästä ja heijastuu linssin läpi verkkokalvolle (kuva 3).



Kuva 3. Kuvan muodostuminen verkkokalvolle. Piste C on linssin optinen keskipiste. [14, s. 61.]

Digitaalinen kuva muodostetaan siten, että kamerassa olevalle kuvasensorille projisoidaan optiikan kautta kuvattava näkymä. Digitaalisella kuvauksella voidaan kuvata myös näkyvän valon ulkopuolelle jääviä sähkömagneettisen spektrin alueita, kuten röntgensäteitä. [14, s. 68.]

3.1 Kamerat

Kamera koostuu kuvasensorista eli kennosta, rajapintaliitännästä ja optiikan kiinnityksestä [15, s. 362–363]. Kameratyypit voidaan luokitella kuvasensorin rakenteen (matriisi/viiva), tyypin (väri/harmaasävy), tekniikan (CCD/CMOS) ja liitännän (analoginen/digitaalinen) mukaan [10, s. 3–5].

Niin sanotut älykamerat ovat myös yleistyneet. Niiden käyttö erityisesti yksinkertaisissa järjestelmissä on kustannustehokasta. Älykamerassa on integroituna optiikka, valaistus ja kuvankäsittely, tällöin ulkopuolista tietokonetta tai kontrolleria ei tarvita. [16.]

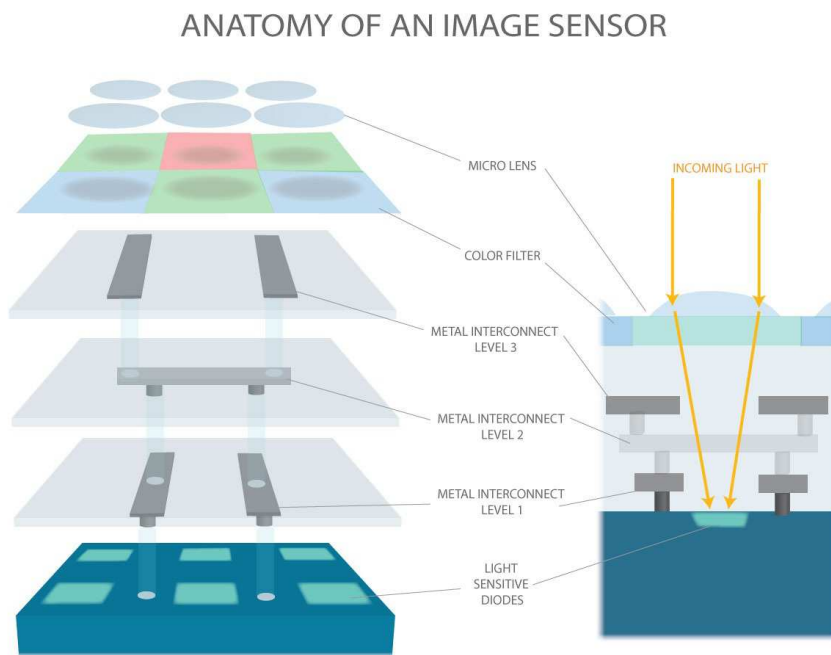
3.1.1 Kuvasensorit

Kuvasensori on puolijohdekomponentti, joka muuntaa objektiivin muodostaman optisen kuvan sähköiseen muotoon. Kuvasensori koostuu fotodetektoreista, joita on yksi jokaista pikseliä kohti. Uusissa 20 megapikselin kuvasensoreissa pikselikoko on ainoastaan 1,2 μm . Pikselien pienentyessä niitä saadaan mahtumaan suurempi määrä sensoriin. Tämä heikentää herkkyyttä, jota kompensoidaan mikrolinsseillä. Mikrolinssi (kuva 4) kohdistaa valon kohti pikseliä. [17, s. 54–64; 18.]

Yleisimmät kennotyypit ovat CCD ja CMOS. CMOS-tekniikan kehittyessä ja halventuessa, siitä on tulossa yleisempi kennotyyppi [19, s. 9]. Kennotyypit eroavat varauksen siirron, analogia-digitaalinen -muunnoksen eli AD-muunnoksen sekä valmistustekniikan osalta. Molempien kennotyyppien perustoiminta on sama. Kuvaa otettaessa fotodetektor kerää siihen valotusaikana tulevan valon intensiteetin, jonka jälkeen kerätty varaus vahvistetaan ja muunnetaan digitaaliseen muotoon.

CCD-kennossa fotodetektorien varaus siirretään rekisteriin, se vahvistetaan jännitteeksi ja muunnetaan digitaaliseksi signaaliksi. CMOS-kennossa vahvistus ja AD-muunnos tehdään itse pikselissä, jolloin sen toiminta on nopeampi ja virrankäyttö on vähäisempää.

Kuvasensorit eivät tunnista eri värejä, vaan se tehdään suodattimilla, jotka päästävät tietyn värin läpi. Yleisin käytetty värimalli on RGB, jolloin kolmen päävärin (punainen, vihreä ja sininen) yhdistelmällä saadaan esitettyä kaikki värit. [20, s. 44–46; 21, s. 45–98.]



Kuva 4. Kuvasensorin rakenne [22].

Matriisi- ja viivakamera

Matriisikamerassa on suorakulmainen sensori, jonka pikselit ovat asetettu matriisiin. 4:3 kuvasuhteen kennojen tarkkuuksia ovat esimerkiksi VGA, SVGA sekä XGA ja niiden vastaavat pikselimäärät ovat 640x480, 800x600 ja 1024x756. Konenäköjärjestelmissä käytetään myös 1:1 kuvasuhteen kennoja. Tällaisen kamerasensorin pikselimäärä voi olla esimerkiksi 1004x1004. Viivakamerassa sensorissa olevat pikselit ovat yhdessä jonossa. Viivakameroiden etuina on nopeus ja tarkkuus, mutta ne ovat kalliita ja vaativat paljon valoa. Viivakameralla kuvatessa joko kappaleen tai kamerasensorin on liikuttava, joten se sopii skannaukseen, pyörähdyskappaleiden ja liikkuvien kohteiden kuvaukseen. [23, s. 15; 24, s. 436.]

3.1.2 Liitännät

Kameroiden liitännät jaetaan signaalityypin mukaan analogisiin ja digitaalisiin. Analogiset standardisignaalit ovat värikuville NTSC, PAL ja SECAM, mustavalkokuville CCIR ja RS-170. Analogisia kameroita ei enää uusiin konenäköjärjestelmiin asenneta, mutta käytössä niitä on edelleen. Yleisimmät digitaaliset standardit ovat FireWire, GigE Vision, USB3 Vision, CameraLink ja CoaXPress. Uudet nopeat liitännät mahdollistavat suurempiresoluutioiset kuvat ja nopeamman kuvaussyklin. [10, s. 4–5; 24, s. 432–453.]

FireWire tunnetaan myös IEEE 1394 -standardina, joka julkaistiin joulukuussa 1995. Käytössä on kaksi versiota 1394a ja 1394b. Uudempi ja nopeampi 1394b-standardi on yhteensopiva vanhemman 1394a-standardin kanssa. Kamerakaapelin pituus on enimmillään 4,5 metriä, mutta käyttämällä optista kuitua pituus voi olla jopa 100 metriä.

GigE Vision perustuu ethernet-tekniikkaan. Koska kaikissa tietokoneissa on ethernet-portti, GigE Vision -kamera ei tarvitse erillistä kuvankaappauskorttia. Kamerakaapelina voidaan käyttää normaalia CAT-6 ethernet-kaapelia, jonka pituus voi olla 100 metriä. GigE Visionin nopeus on 1000 Mbit/s, joka on sama kuin uusimmissa lähiverkoissa. GigE Vision -kamerat voidaan kytkeä tehdasverkkoon, mutta aikakriittisissä sovelluksissa se ei latenssin takia ole suositeltavaa.

USB3 Vision on nopea ja edullinen ratkaistu kameraliitynnälle. USB3-standardin suurempi nopeus ja kaistanleveys verrattuna USB2-standardiin mahdollistavat sen käytön konenäkösovelluksissa. USB3 Vision tukee plug-and-play-toimintoa, jolloin käyttönot-

to nopeutuu. Kamerakaapelin pituus voi olla 3 metriä, mikä rajoittaa käyttöä. USB3 Vision on korvaamassa FireWireä, joka on tulossa elinkaarensa päähän muutaman vuoden sisällä.

CameraLink on suunniteltu konenäköjärjestelmiä varten ja siinä on omat liittimet sekä kaapelit. CameraLink vaatii kuvankaappauskortin, johon kamerat kytketään suoraan. CameraLink sopii aikakriittisiin sovelluksiin sen viiveettömyyden takia. Uusi CameraLink HS -standardi tukee jopa 16 GB/s nopeutta ja 1000 metrin kaapelipituutta käytettäessä valokuitua.

CoaXPress on Japan Industrial Imaging Associationin (JIIA) standardi erittäin nopealle kuvasiirrolle. Sen nopeus voi olla jopa 25 Gb/s käytettäessä rinnakkaista kaapelointia. CoaXPress on suosittu Aasialaisessa teollisuudessa, jossa sitä käytetään älypuhelinien, piirilevyjen ja näyttöjen tarkastukseen. [19, s. 9, 26–30.]

3.2 Optiikka

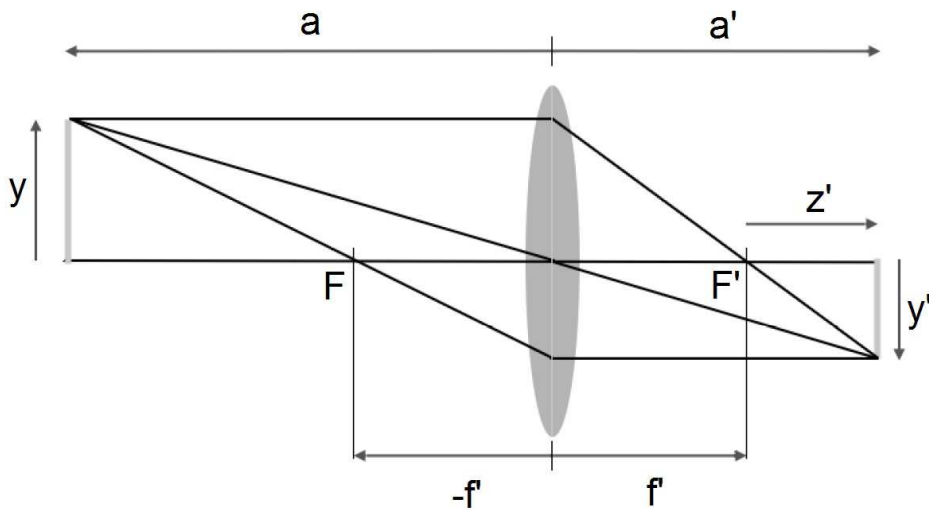
Optiikan tarkoituksena on kerätä valo tai muu sähkömagneettinen säteily kuvasensorille. Kameroiden yhteydessä tätä linseistä koostuvaa järjestelmää kutsutaan objektiiviksi. [23, s. 13.] Linsejä valmistetaan useista materiaaleista, kuten lasista, erilaisista muoveista ja optisista fluoriiteista. Infrapunalaitteiden linseissä käytetään piitä ja germaniumia. [25, s. 178–188.]

Konenäköjärjestelmän objektiivi valitaan kuvausalan, kohteen etäisyyden, kuvasensorin resoluution ja ympäristön valoisuuden perusteella. Yleisimmät objektiivien kiinnitystandardit ovat F-, C-, CS-mount. [26, s. 49.]

Teollisuuden konenäköjärjestelmissä käytetään lähes aina kiinteäpolttoväällisiä objekteja manuaalitarkennuksella. Markkinoille on tullut niin sanotulla auto iris -toiminnolla varustettuja konenäkökameroita, jotka säätävät aukkoa automaattisesti valaistuksen mukaan.

3.2.1 Ohuen linssin yhtälöt

Objektiivin tärkeimmät ominaisuudet ovat polttoväli, aukko ja syvyysterävyys. Vaikka objektiivit koostuvat lähes aina useista eri linseistä, voidaan alustavat laskennat tehdä käyttämällä ohuen linssin yhtälöitä. Ohuen linssin periaate näkyy kuvassa 5. [25, s. 42.]



Kuva 5. Ohuen linssin periaate [26, s. 48].

Polttoväli (focal length) tarkoittaa linssin ja kuvatason välimatkaa. Linssin polttoväli voidaan laskea Gaussin kuvauslain avulla kaavalla 1, jota kutsutaan myös ohuen linssin yhtälöksi. [26, s. 48.]

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

f' on polttoväli

a' on linssin keskipisteen ja kuvatason välimatka

a on kohteen ja linssin keskipisteen välimatka

Suurennus (magnification) lasketaan seuraavalla kaavalla [26, s. 48]:

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a} \quad (2)$$

β on suurennos

y' on kohteen koko kuvatasaalla

y on kohteen todellinen koko

a' on linssin keskipisteen ja kuvatason välimatka

a on kohteen ja linssin keskipisteen välimatka

Suurennos voidaan laskea myös kaavalla 3, jos tiedetään kuvausala (FOV, Field of the field) ja kuvasensorin koko [26, s. 49].

$$\beta = - \frac{\text{sensor size}}{FOV} \quad (3)$$

β on suurennos
sensor size on sensorin koko
FOV on tunnistettavan osan suurin koko + paikoi-
 tuksen tarkkuus + marginaali + sovitus kuvasensorin ku-
 vasuhteeseen

F-luku (F-number) on polttovälin ja linssin aukon halkaisijan suhde (kaava 4). Aukon kokoa voidaan rajoittaa himmentimellä, joka on linssien välissä tai takana oleva säädettävä aukko. Aukon koko vaikuttaa kuvasensorille päästettävään valon määrään, kuvan tarkkuuteen ja syvyysterävyyteen. Koska linssin reuna-alueet tuottavat vääristymiä, aukkoa pienentämällä tarkkuus paranee. [27, s. 254–255.]

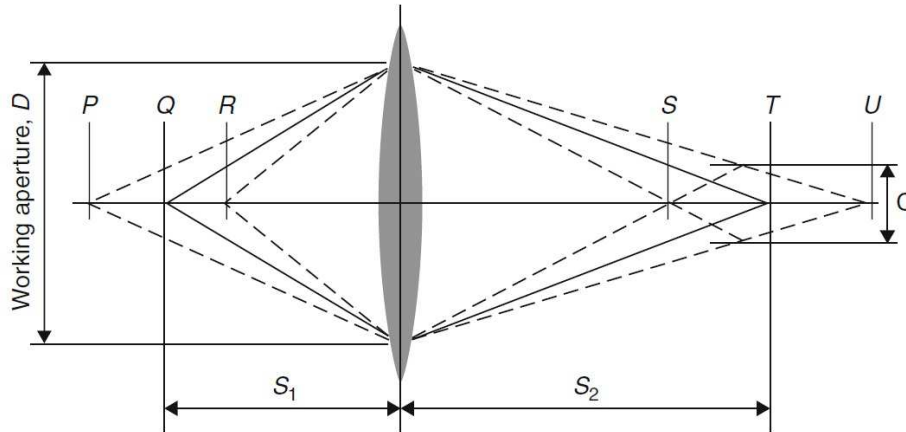
$$F = \frac{f}{D} \quad (4)$$

F on F-luku
 f on polttoväli
 D on aukon läpimitta

Syvyysterävyys (DOF, Depth of the field) on kohteen ja linssin välinen etäisyys optisella akselilla, jolla kohdetta voidaan siirtää sen pysyessä tarkentuneena. Kuvassa 6 tämä etäisyys on väli P-R, kun kohde on kohdassa Q. Syvyysterävyys lasketaan kaavalla 5. [28, s. 194–196.]

$$DoF = \frac{2NC_1f_2(S_1-f)}{f^4 - N^2C^2(S_1-f)^2} \quad (5)$$

DoF on Syvyysterävyyalue
 N on F-luku
 C on hajontaympyrä
 f on polttoväli
 S_1 on kohteen ja linssin keskipisteen välimatka



Kuva 6. Syvyysterävyys on kuvassa alue P-R, joka on katkoviivojen välissä [28, s. 196].

3.2.2 Vääristymät

Optiikka aiheuttaa vääristymiä johtuen linssien fysikaalisista ominaisuuksista ja laadusta. Osa virheistä voidaan myöhemmin korjata tietokoneella matemaattisesti. Osa vääristymisistä saa vähentymään säätämällä aukkoa pienemmäksi, mutta kaikkia vääristymiä ei saada yhtä aikaa pois. Kun toinen vääristymä paranee, niin toinen vääristymä huononee. [10, s. 6; 28, s. 196.]

Geometriset vääristymät johtuvat siitä, kun valo taittuu linssin reunoilla eri tavalla kuin keskellä. Vääristymiä ovat tynny- ja tynnyrivääristymä sekä niiden yhdistelmä. Kun kuva kaareutuu ulospäin sen keskikohdasta, kutsutaan sitä tynnyrivääristymäksi. Tynnyrivääristymä on yleisintä laajakuvaobjektiivilla. Kuvan kaareutuessa sisäänpäin vääristymää kutsutaan tynnyvääristymäksi. Tynnyvääristymää ilmenee teleobjektiiveilla.

Kun linssi ei taita reuna-alueille tulevia valonsäteitä polttopisteeseen, kuva muuttuu epätarkaksi ja pehmeäksi reunoilta. Tätä ilmiötä kutsutaan pallovääristymäksi. Ilmiötä voidaan poistaa asfäärillä linssillä, jonka reuna-alueet on hiottu käyriksi.

Hajataitoksi kutsutaan ilmiötä, kun valopiste projisoituu elliptisenä tai viivamaisena kuvatasolle. Hajataittoa voidaan vähentää pienentämällä aukkoa.

Optisen akselin ulkopuolelta heijastuneesta valopisteestä syntyy kuvaan pyrstötähteä muistuttava kuvio, jota kutsutaan komaksi. Komaa voidaan vähentää pienentämällä aukkoa, koska samalla rajataan pois linssin reuna-alueilta heijastuvia säteitä.

Eri väreillä on erilaiset taitekertoimet, joten ne taivuvat linssissä eri kulmissa. Tämä aiheuttaa kuvatasolle usean erivärisen kuvan kohteesta. Ilmiötä kutsutaan kromaattiseksi aberratioksi, jota voidaan vähentää akromaattisella linssillä. [28, s. 196–200.]

3.3 Valaistus

Valaistuksen tarkoituksena on korostaa tutkittavan kohteen piirteitä ja yksityiskohtia siten, että kohteen analysointi helpottuu [16]. Valaistus on erittäin tärkeä osa konenäköjärjestelmää, eikä se saa olla riippuvainen ympäröivistä valonlähteistä, kuten auringonvalosta tai yleisvalaistuksesta. Huono valaistus voi aiheuttaa varjoja, heijastuksia ja huonoa kontrastia. Epätasainen valaistus vaatii kuvankäsittelyohjelmistolta enemmän laskentaa ja on näin ollen hitaampi, kalliimpi ja epävarmempi. [29, s. 284–285.] Valaistuksen valinta tehdään yleensä kokemuseräisesti ja testaamalla. Olemassa on myös valintaa helpottavia ohjelmia, kuten Cognexin Lighting Advisor.

3.3.1 Valaisintyypit

Eri valonlähteillä on erilaiset aallonpituudet, eli värisävy. Riippuen valaistavasta kohteesta, tämä pitää ottaa huomioon. Värisävy tai valon kirkkaus ei saa muuttua valaisimen ikääntyessä. Mikäli näin tapahtuu, valaisimille pitää määritellä vaihtoväli.

Loisteputkivalaistus on edullisin tapa toteuttaa valaistus konenäköjärjestelmiin. Niiden avulla saadaan helposti valaistua suuria alueita. Haittana on hidas syttyminen ja valotehon heikkeneminen ikääntyessä. Loisteputket toimivat vaihtovirralla, joka aiheuttaa valon välkyntää. Ihmissilmä ei sitä näe, mutta konenäölle se on ongelma. Loisteputken kuristin voidaan vaihtaa hakkuritekniikkaan, jolloin taajuus nousee ja välkynnästä ei ole enää ongelmaa. Loisteputkia ei saa kuin rengasmallisina ja suorina, mikä rajoittaa mahdollisia käyttökohteita.

Halogeenivalaisimet tuottavat kirkasta ja tasaista valoa. Ne kestävät huonosti tärinää, lämpenevät voimakkaasti ja käyttöikä on lyhyt. Halogeenivalaisimia voidaan käyttää tasavirralla, jolloin valo ei välky kuten loisteputkissa.

Ksenonvalo on erittäin kirkas ja nopea syttymään. Ksenonvaloa käytetään liikkeen pysäyttämiseen, jolloin salamavallo ja kamera synkronoidaan. Ksenonvalot tarvitsevat

oman ohjauselektronikan niiden vaatiman korkeajännitteen vuoksi. Tämä tekee niistä kalliita ja ne vievät paljon tilaa.

Led-tekniikan nopean kehityksen ansiosta siitä on tullut konenäköjärjestelmien yleisin valaisintyyppi. Uusien valmistustekniikoiden ansiosta ledien väriskaala on laaja ja myös valkoista valoa tuottavia ledejä pystytään valmistamaan. Ledit ovat kestäviä ja valotehoonsa nähden pienikokoisia. Ledit eivät vaadi erillistä heijastinta, koska niissä on linsi sisäänrakennettuna. [29, s. 290–300; 30, s. 88–105.]

3.3.2 Valaistustekniikat

Valaistustekniikoiden suurimmat erot ovat suunnassa, jossa valo heijastetaan kuvattavaan kohteeseen. Yleisimmin valo heijastetaan samassa suunnassa missä kamerakin on. Valaistustekniikan valintaan vaikuttavat haluttu valon suunta, valokeilan leveys ja heijastukset. Erilaisia valaistustekniikoita ja niiden kohteen korostusta esitellään kuvassa 7.

Kirkaskenttävalaistuksella tarkoitetaan perinteistä valaistusta, jossa valonsäteet tulevat suuresta kulmasta kohteeseen. Tällaisia ovat esimerkiksi kohdevalaistus ja rengasvalaistus. Kirkaskenttävalaistus on helpoin ja yleisin valaistustekniikka konenäköjärjestelmissä. Kirkaskenttävalaistuksella saadaan aikaiseksi hyvä kontrasti, mutta kiiltävistä esineistä aiheutuu heijastuksia.

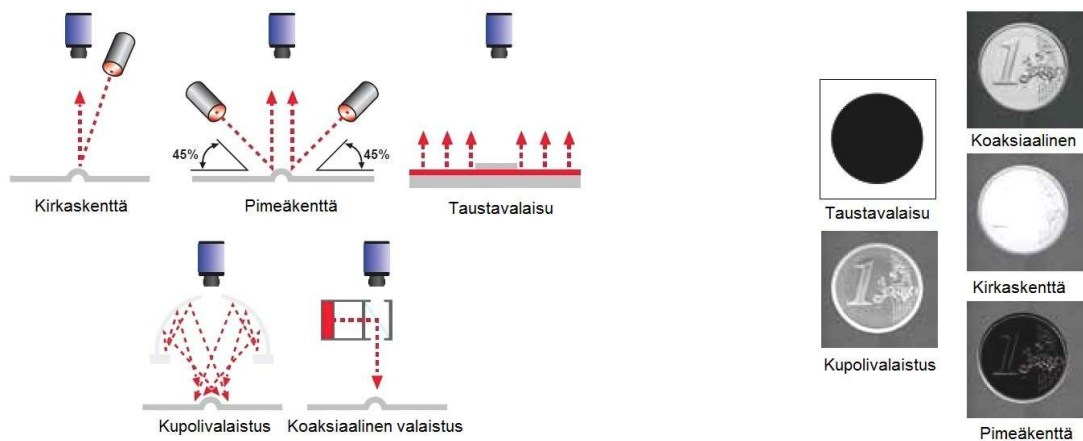
Pimeäkenttävalaistuksessa kohdetta valaistaan pienestä kulmasta, jolloin ainoastaan pinnanmuotojen poikkeamiin osuvat valonsäteet kohdistuvat kameraan. Tekniikka soveltuu pintavirheiden ja halkeamien etsimiseen pienissä kappaleissa. Valonlähteen on oltava lähellä kohdetta, jotta valonsäteiden kulma saadaan pieneksi.

Taustavalaistuksen periaatteena on valaista kohde sen takaa, jolloin sen ääriviivat tulevat näkyviin. Valo asennetaan kohteen alapuolelle optiselle akselille kohteen jäädessä valon ja kameran väliin. Taustavalaistuksella saadaan aikaan hyvä kontrasti ja se on immuuni ympäröivälle valolle. Valon pitää olla kohdetta suurempi, jolloin se ei sovellu suurille kohteille.

Kupolivalaistusta käytetään kiiltäville kohteille, jotka heijastavat valoa paljon. Kupolivalaistus tuottaa tasaisen valon, koska kupolin sisäpuolen pinta on heijastamatonta ja sen

sisällä olevat ledit valaisevat kupolia. Kupolin keskellä on aukko kameralle, joka aiheuttaa pimeämmän kohdan keskelle kuvausaluetta. Kupolin on oltava kuvattavaa kohdetta suurempi, mikä rajoittaa sen käyttökohteita.

Koaksiaalisella valaistuksella valaistaan kohdetta puoliläpäisevän peilin läpi. Näin saadaan valonsäteet osumaan kohteeseen samassa kulmassa missä kamera on. Koaksiaalinen valaistus sopii litteille ja heijastaville kohteille, koska se tuottaa tasaisen valon. [23, s. 22–27; 30, s. 160–180.]



Kuva 7. Erilaisia valaistustekniikoita [31, s. 29].

4 Kuvankäsittely ja -analyysi

Kuvankäsittely alkaa kaapatusta digitaalisesta kuvasta ja päättyy muokattuun digitaaliseen kuvaan. Kuvankäsittelyllä voidaan ehostaa (enhancing) tai entistää (restoration) kuvaa. Ehostamisen tarkoituksena on parantaa kuvan laatua sen saamiseksi visuaalisesti hyväksi. Entistämisen tarkoitus on kuvan virheiden poistaminen sen saamiseksi alkuperäistä näkymää vastaavaksi. Sekä ehostamista että entistämistä voidaan käyttää yhdessä. Kuva-analyysin tavoitteena on kuvan jakaminen sopiviin osiin ja sitä kautta löytää siitä halutut yksityiskohdat. [14, s. 23–24; 32, s. 113–114.]

4.1 Digitaalinen kuva

Todellisen maailman näkymät (kuvat) ovat analogisia, jatkuvia funktioita sekä paikan että intensiteetin suhteen. Jotta tietokone pystyisi käsittelemään kuvia, on ne digitalisoi-

tava eli muutettava digitaaliseen muotoon. Digitalisointi koostuu näytteistämisestä (sampling) ja kvantisoinnista (quantization). Näytteistämisessä jatkuva funktio $f(x,y)$ saa diskreetit koordinaattiarvot matriisissa $M \times N$. Digitaalikamerassa tämä matriisi on kuvasensori. Kvantisoinnissa intensiteetin jatkuva funktio muutetaan diskreeteiksi arvoiksi. Harmaasävykuvissa käytetään usein 8-bittistä kvantisointia, jolloin kuvassa voi olla 256 eri harmaasävyä. Digitalisoinnin jälkeen $M \times N$ digitaalinen kuva voidaan esittää matriisimuodossa seuraavalla kaavalla:

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Kaavan oikealla puolella on digitaalisen kuvan määritelmä. Jokainen matriisin elementti edustaa yhtä kuvan pikseliä. [14, s. 74–78; 32, s. 14–15.]

4.2 Kuvan esikäsittely

Esikäsittelyllä tarkoitetaan kuvaan kohdistuvia toimenpiteitä, jolla kuvasta saadaan eroteltua haluttua informaatiota analyysiä varten. Yleensä esikäsittelyllä hävitetään kuvan tietosisältöä, joten parasta olisi, että kuvasta saadaan riittävän hyvä muilla keinoilla, kuten kuvasensorilla, optiikalla ja valaistuksella. [32, s. 130.] Esikäsittelyoperaatiot voidaan jakaa usealla tavalla eri kategorioihin. Eräs niistä on jako spatiaalialue- ja taajuustasomenetelmiin. Spatiaalialuemenetelmät kohdistuvat itse pikseliin ja taajuusaluemenetelmät perustuvat kuvan muokkaukseen esimerkiksi fourier-muunnoksilla. [14, s. 126, 221–222.]

Harmaasävyoperaatiot

Harmaasävyoperaatiot ovat digitaalisen kuvan yksinkertaisimmat ehostustoimenpiteet. Yleisimmät harmaasävyoperaatiot ovat negatiomuunnos, kontrastin venytys, kynnyttäminen ja intensiteettitason viipalointi. Lisäksi käytetään logaritmisia- ja potenssi-muunnoksia sekä harmaasävyviipalointia.

Kaikki harmaasävyoperaatiot noudattavat yleistä kaavaa, joka on seuraava [14, s. 128]:

$$s = T(r) \quad (7)$$

s on pikselin $f(x,y)$ harmaatase alkuperäisessä kuvassa

r on pikselin $g(x,y)$ harmaatase muokatun kuvan vastaavassa paikassa

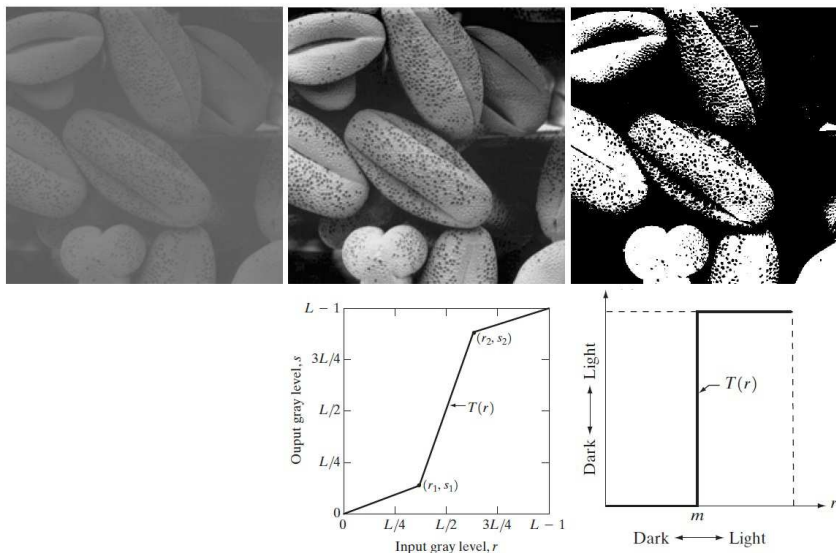
T on muunnosfunktio

Negaatiomuunnoksessa kuvasta, jonka intensiteetti on välillä $[0 - L-1]$, saadaan negatiivi kaavalla [14, s. 130]:

$$s = L - 1 - r \quad (8)$$

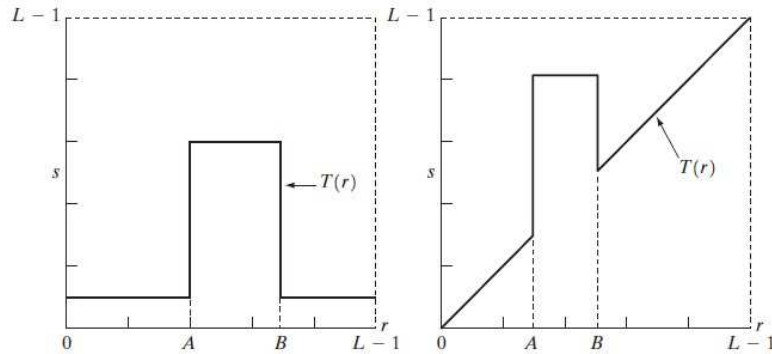
Kontrastin venytys laajentaa kuvan intensiteettijakaumaa ja sillä voidaan korjata valaistuksesta, kuvasensorin dynamiikasta tai optiikan säädöistä johtuvaa kuvan huonoa kontrastia. [14, s. 128.] Kuvassa 8 näkyy muunnosfunktio ja korjattu kuva.

Kynnistäminen eli binäärisointi muuttaa halutun intensiteettitasen alapuoliset pikselit mustiksi ja yläpuoliset valkoisiksi. Muutoksen jälkeen kuvassa ei ole kuin mustia ja valkoisia pikseleitä, tästä esimerkki kuvassa 8 oikealla. [14, s. 129.]



Kuva 8. Esimerkki harmaasävyoperaatiosta. Vasemmalla on alkuperäinen huonokontrastinen kuva, keskellä sama kuva venytetyllä kontrastilla ja oikealla kuva kynnystettynä. [14, s. 128, 138.]

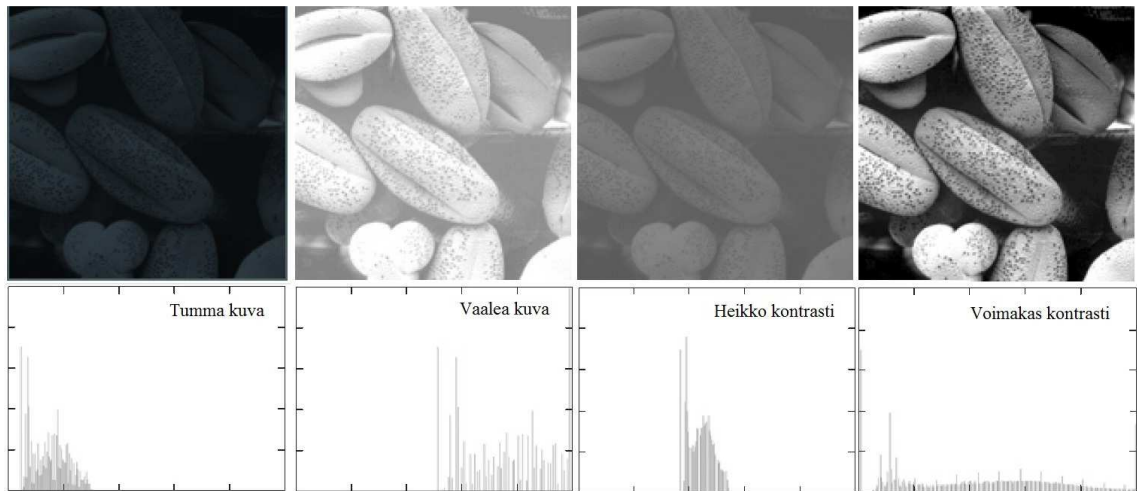
Intensiteettitason viipaloinnilla voidaan korostaa kuvan tiettyä harmaatasoaluetta. Kaksi yleisintä tapaa näkyy kuvassa 9. Vasen muunnosfunktio tekee kuvasta binäärisen voimistamalla välillä A-B olevat harmaasävyt ja vakioimalla muut. Oikealla oleva muunnosfunktio voimistaa harmaasävyt välillä A-B ja pitääen muut ennallaan. [14, s. 137–138.]



Kuva 9. Intensiteettitasoviipaloinnin muunnosfunktiot [14, s.138].

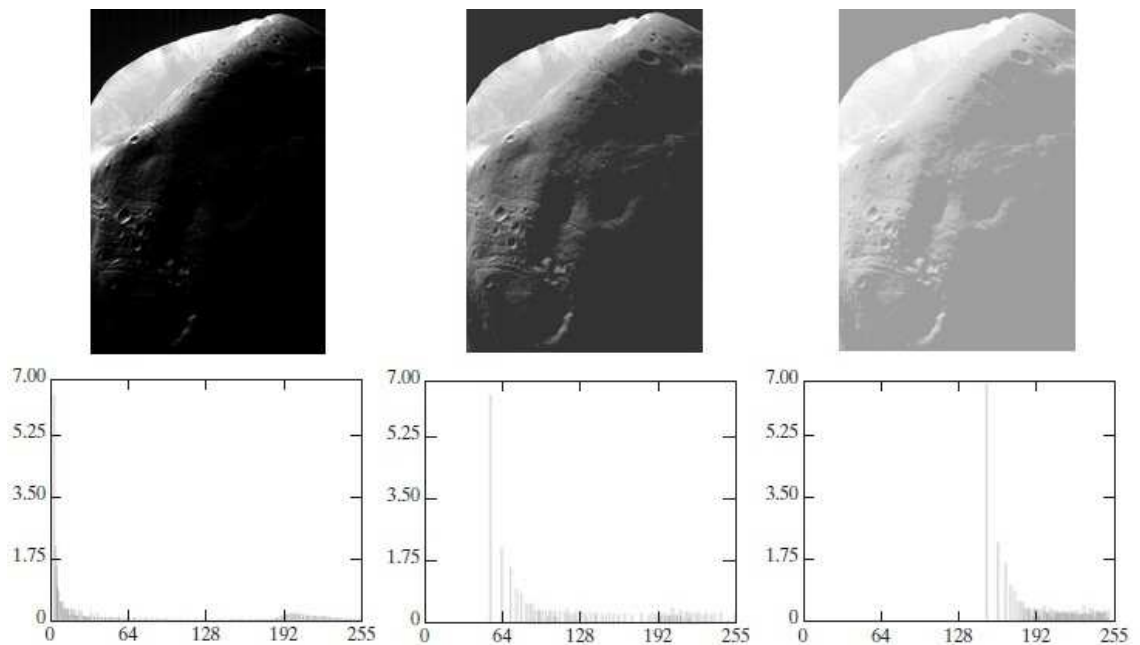
Histogrammi

Kuvassa esiintyvien pikseleiden jakautuminen eri intensiteettitasoille ilmaistaan histogrammikaaviolla. Histogrammin avulla voidaan analysoida kuvan valotusta, kontrastia ja mahdollisia ehostuksen tarpeita. Histogrammit ovat perustana monessa spatiaalitaason kuvanmuokkauksessa. Histogrammioperaatiota käytetään tehokkaana kuvan ehostuskeinona ja sen voi kohdistaa vain osaan kuvasta. Kuvassa 10 on neljä harmaasävykuvaa ja niiden alla kuvaa vastaava histogrammi. Histogrammikaavion vaakakselilla on harmaasävyn arvo, vasemmalla musta ja oikealla valkoinen. Pystyakselilla on harmaasävyn esiintymistiheys. Tummassa kuvassa histogrammin komponentit keskittyvät tummaan päähän. Vastaavasti taas vaaleassa kuvassa vaaleaan päähän. Matalakontrastisessa kuvassa histogrammi on kapea ja harmaasävyjä esiintyy ainoastaan keskellä. Korkeakontrastisessa kuvassa histogrammi on leveästi jakautunut koko harmaasävyasteikolle ja eri harmaasävyn esiintymistiheydet ovat samantasoisia. [14, s. 142; 33, s. 516–518.]



Kuva 10. Neljä perustyyppin kuvaa: tumma, vaalea, heikko kontrastinen ja voimakas kontrastinen, sekä niiden histogrammit [14, s. 148].

Histogrammia voidaan muuntaa tasoittamalla ja määräämällä. Histogrammin tasoitus tarkoittaa harmaasävyarvojen tasoittamista koko sävyalueelle. Määräyksellä muunnetaan harmaa-arvojakauma halutuksi. Kuvassa 11 on esimerkit histogrammin tasoituksesta ja määräyksestä. Molempia muuntotapoja voidaan käyttää yhdessä tai erikseen riippuen halutusta lopputuloksesta. [14, s. 144.]



Kuva 11. Histogrammin muokkaus tasoittamalla ja määräämällä. Vasemmalla alkuperäinen, keskellä tasoitettu ja oikealla määrätty kuva. [14, s. 151.]

Aritmeettiset ja loogiset operaatiot

Aritmeettisilla ja loogisilla operaatiolla muokataan koko kuvaa pikseli pikseliltä. Kuvan käsittelyssä käytettäviä aritmeettisiä operaatiota ovat peruslaskutoimitukset yhteen-, vähennys-, kerto- ja jakolasku. Yhteenlaskua voidaan käyttää kohinan poistoon ja vähennyslaskua staattisen taustan poistamiseen kuvasta. Kerto- ja jakolaskua käytetään kuvien intensiteettivaihteluiden korjaamiseen. Loogisia operaatiota JA, TAI ja komplementti voidaan käyttää ainoastaan binäärikuviin. Niiden avulla voidaan kuvasta pysäyttää liike tai poistaa haluttu alue. [14, s. 96–106.]

Morfologia

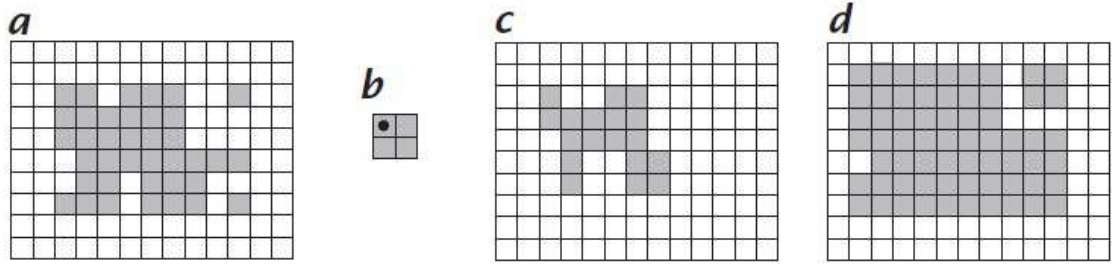
Matemaattisen morfologian avulla kuvasta erotetaan haluttuja muotoja. Usein morfologisissa operaatioissa käytetään apuna erilaisia struktuurimaskoja, joiden avulla muokataan kuvaa. Sopiva struktuurimaski pitää löytää kokeilemalla. Morfologiaa käytetään yleisesti kynnystettyihin binäärikuviin, mutta sitä voidaan käyttää myös harmaasävykuviin rajaamalla operaatiot tietylle intensiteettitasolle. Useimmat morfologiset operaatiot perustuvat kahteen perusoperaatioon dilaatioon ja eroosioon, joiden toiminta näkyy kuvassa 12. Muita morfologisia operaatioita ovat avaus ja sulkeminen, ohennus ja paksunnos sekä hit-or-miss. [34, s. 126; 35, s. 628–629.]

Dilaatio eli täyttö kasvattaa kohdetta ja poistaa siitä aukkoja. Määritelmä joukko A :n dilaatiolle joukolla B on [36, s. 604]:

$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} (A)_B \quad (9)$$

Eroosio eli pienennys pienentää kohdetta poistaa yksityiskohtia. Määritelmä joukko A :n eroosiolle joukolla B on [36, s. 605]:

$$A \ominus B = \bigcap_{b \in B} (A)_{-B} \quad (10)$$

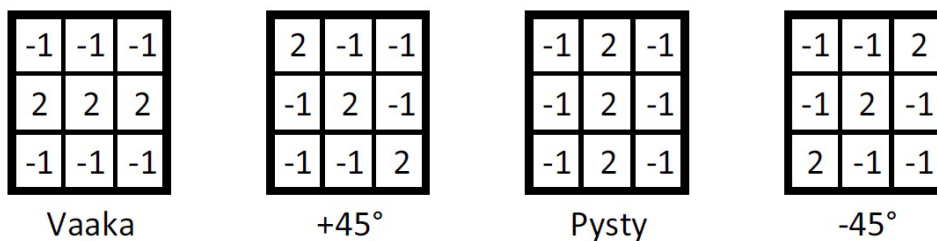


Kuva 12. Eroosio ja dilaatio tehtynä 2x2 maskilla, jonka origo on vasemmassa yläkulmassa. a on alkuperäinen kuva, b on maski, c on eroosion jälkeen ja d on dilaation jälkeen. [35, s. 638.]

4.3 Segmentointi

Segmentoinnin tehtävänä on löytää pikseliryhmiä, jotka kuuluvat yhteen. Segmentointi on tärkeä osa kuva-analyysiä ja sen onnistumisesta riippuu myös varsinainen kohteen-tunnistuksen onnistuminen. Täydellistä kuvan segmentointia ei välttämättä kannata edes yrittää sen vaikeuden takia, eikä se yleensä ole tarpeellista. Kuvassa olevan taustan ja kohteen ollessa samansävyisiä segmentointi vaikeutuu. Tätä voidaan korjata valaistuksella. Myös kohteiden ollessa päällekkäin segmentointi on vaikeaa. Yleisimmät segmentointiperiaatteet perustuvat epäjatkuvuuksien tai samankaltaisuuksien etsimiseen. [11, s. 5–6; 37, s. 8.]

Epäjatkuvuuksia, joita ovat taustasta erottuvat pisteet, viivat ja reunat, etsitään kuvasta erilaisilla maskeilla. Pisteiden havaitsemiseen käytetään laplace-maskia, joka vahvistaa yksittäistä pikseliä. Koska tämä operaatio huomioi vain tasaisella taustalla olevat yksittäiset pisteet, se ei ole kovin käytännöllinen eikä se ole yleisesti käytetty. Viivojen havaitsemiseen käytetään kuvan 13 mukaisia maskeja. Nämä maskit vahvistavat kuvassa olevia suoria. [14 s. 718–722.]



Kuva 13. Viivojen havaitsemiseen käytettäviä maskeja [14, s.721].

Reunan havaitseminen, kuten muutkin epäjatkuvuuksia etsivät operaatiot, toteutetaan tutkimalla paikallisia äkillisiä intensiteetin muutoksia. Nämä operaatiot perustuvat derivaatan laskentaan. Yleisimmät reunanhakuun käytettävät algoritmit ovat laplace- ja gradienttioperaatiot. Gradienttioperaatiota ovat esimerkiksi Sobel-, Prewitt- ja Roberts-maskit. [36, s. 583–585.]

Samankaltaisuuksien etsimisen tarkoituksena on jakaa kuva ennalta määrättyjen kriteerien perusteella osiin. Tällaisia operaatiota ovat esimerkiksi kynnystäminen, alueiden jakaminen ja yhdistäminen sekä alueen kasvattaminen.

Segmentoinnissa käytettävä kynnystäminen tapahtuu samalla tavalla kuin kuvan esikäsittelyssä, jossa histogrammin perusteella määrättyssä intensiteettitasossa pikseleitä muutetaan mustiksi ja valkoisiksi. Segmentoinnissa kynnystäminen voidaan kohdistaa vain tiettyyn kuvan kohtaan tai siinä voidaan käyttää muuttuvia arvoja kuvan eri kohdille.

Alueiden jakaminen ja yhdistäminen (split-and-merge) alkaa kuvan jakamisella. Kuva jaetaan neljään osaan. Mikäli tällainen alue ei ole homogeeninen, se jaetaan edelleen neljään osaan. Kun on päästy haluttuun tasoon tai kuva ei enää jakaannu, aloitetaan yhdistäminen. Yhdistäminen tehdään päinvastaisessa järjestyksessä kuin jakaminen. Kuvasta yhdistetään vierekkäiset samanlaiset alueet kunnes yhdistettäviä alueita ei enää löydy.

Alueiden yhdistäminen perustuu siemenpisteiden valintaan ja alueen kasvattamiseen niiden ympärillä ennalta määrättyjen ehtojen mukaisesti. [14, s. 714–721; 34, s. 176–178, 225–233.]

4.4 Kohteentunnistus ja luokittelu

Kun kuva on segmentoitu, aloitetaan kohteentunnistus. Kohteentunnistuksen tavoitteena on löytää kuvasta kohde, joka on tallennettu mallitietokantaan. Kohteentunnistusjärjestelmän osa-alueet ja informaatiovirrat näkyvät kuvassa 14.

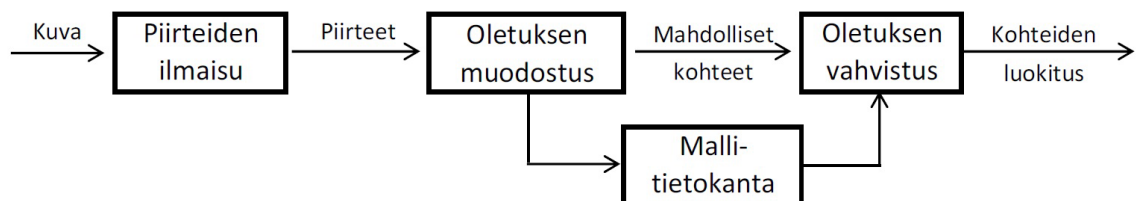
Mallitietokannassa (modelbase) on tallennettuna kaikki järjestelmän tarvitsemat tunnistettavat mallit. Mallien ominaisuudet, jotka tallennetaan, riippuvat tunnistusperiaattees-

ta. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi piirrevektorit, kuten pituus ja muoto sekä värit, kirkkaus ja pinta-ala.

Piirteiden ilmaisussa (feature detector) etsitään ja lasketaan kohteesta piirteitä, joiden avulla ne voidaan tunnistaa ja luokitella. Tällaisia piirteitä ovat muun muassa ulko- tai sisäreunan viivan pituus, viivojen orientaatio tai alueen sisällä olevien aukkojen lukumäärä ja koko.

Oletuksen muodostusta (hypothesis formation) käytetään hakualueen pienentämiseen poistamalla epätodennäköiset kohteet kohteentunnistusprosessista. Oletuksen vahvistus (hypothesis verification) valitsee parhaiten sopivan mallin tietokannasta. Osa kohteentunnistusjärjestelmistä käyttää ainoastaan oletuksen muodostusta ja valitsevat automaattisesti lähimmän sopivan kohteen. Esimerkkinä tällaisesta järjestelmästä on hahmonluokitus. Osa järjestelmistä taas käyttää ainoastaan oletuksen vahvistusta, kuten tekoälyyn perustuvat kohteentunnistukset.

Kun kuvattavasta kohteesta on olemassa useita eri malleja mallitietokannassa, käytetään oletuksen muodostukseen luokittelijaa. Luokittelijan tehtävänä on valita parhaiten sopiva malli tietokannasta, esimerkiksi tekstintunnistus. Luokittelutekniikoita on useita erilaisia, kuten lähin naapurisuus, bayesilainen luokittelija ja neuroverkkoihin perustuva luokittelija. [27, s. 459–481; 37, s. 9–11; 38.]



Kuva 14. Kohteentunnistuksen osa-alueet [27, s. 460].

5 Päivitettävät konenäköjärjestelmät

Työn kohteena on kolmessa robottisolussa olevat konenäköjärjestelmät. Näissä soluisissa on jokaisessa kaksi robottia ja konenäköjärjestelmä kahdella kameralla. Solujen konenäköjärjestelmät uusitaan vaihtamalla uudentyypiset kamerat, uudet päivitettyt

tietokoneet sekä kamerakaapelointi. Näiden lisäksi ohjelmistot uusitaan, jotta ne toimivat uusien kameroiden ja käyttöjärjestelmän kanssa. Näissä robottisoluiissa suoritetaan wc-istuinten lasitus ja lastaus polttoalustoille.

Lasituksessa esineen pintaan muodostetaan ohut kalvo, joka poltossa sulaa sileäksi ja kiiltäväksi pinnaksi. Esineiden poltto suoritetaan tunneliuuneissa, joissa lämpötila on 1350 °C. Wc-istuinten sisäpuolinen lasitus tehdään valutustekniikalla ja ulkopuolinen lasitus tehdään ruiskuttamalla.

5.1 Robottisolujen toiminta ja laitteisto

Sisälasitussolu

Tässä solussa suoritetaan esineiden siirto kuivauskasetilta tarkastukseen ja siitä edelleen sisälasitukseen. Sisälasituksen jälkeen esineet siirretään kuljettimelle, jossa ne jatkavat matkaa ruiskulasitussoluun.

Solussa on kaksi robottia, toinen robotti suorittaa esineiden siirrot ja toinen sisälasituksen. Koska sisälasituksessa toleranssit ovat pienet ja esineet eivät ole aina samassa paikassa, soluun on asennettu konenäköjärjestelmä. Solun kaksi kameraa ovat kiinteästi asennettuna sisälasitusasemien yläpuolelle. Esineen tullessa asemalle robotti pyytää kuvausta. Onnistuneen kuvauksen koordinaattitiedot lähetetään robotille. Robotti laskee esineen paikan sekä orientaation suhteessa referenssipaikkaan ja korjaa liiketataa kuvauksen mukaan.

Ruiskulasitussolut

Sisälasituksen jälkeen suoritetaan esineiden ulkopuolinen lasitus ja lastaus polttoalustoille. Lastaus on erittäin tarkka toimenpide johtuen hauraista esineistä. Tämän takia konenäköjärjestelmä on oikeastaan pakollinen laitteisto solussa. Näitä soluja on kaksi kappaletta ja ne ovat identtisiä.

Solun kiinteä kamera kuvaa sisälasitussolusta kuljetinta pitkin tulleen esineen. Jotta lastaus onnistuu hyvin, esine pitää saada nostotyökaluun oikeaan paikkaan. Kuljettimelta esine nostetaan ruiskutuskaappiin, jossa esineen ulkopuolelle ruiskutetaan lasi-

tekerros. Lasituksen jälkeen esine lastataan polttovaunulle. Esineiden tukemiseen polttovaunulla käytetään kahdenlaisia tukia. Lasituksen aikana pieni robotti käy kuvaamassa polttolevyjen päällä olevat polttotuet ja sijoittaa ne oikeisiin paikkoihin. Lastauksen aikana robotti asettaa toisen polttotuen samaan aikaan kun iso robotti asettaa esinettä polttotukien varaan.

5.2 Järjestelmien historia

Konenäköjärjestelmät asennettiin Idolle vuosina 2000 ja 2001, kun wc-istuinten lasittaminen ja lastaus polttoalustoille automatisoitiin. Järjestelmät toimitti RTS Cheos Espoosta. Nykyään yhtiön nimi on Cheos ja se toimittaa erilaisia komponentteja konenäkösovelluksiin. Konenäköjärjestelmien ohjelmistoja edustaa nykyään Master Automation, joka kuuluu Jot Automation konserniin.

Uutena järjestelmiin asennettiin teollisuus-PC:t ja niissä käytettiin Windows NT -käyttöjärjestelmää. Tietokonetekniikan nopean kehityksen ja kalliiden teollisuus-PC:iden ongelmien takia tietokoneiksi vaihdettiin normaalit toimisto-PC:t 2000-luvun puolivälissä. Vuonna 2007 päivitettiin tietokoneet ja käyttöjärjestelmät vaihdettiin Windows XP:hin. Tällöin myös konenäköohjelmisto vaati päivityksen uudempaan versioon.

5.3 Komponentit

Nykyisten järjestelmien kamerat ovat Sonyn analogisia CCD-kameroita, malliltaan XC-ST50CE. Kameroissa on Rainbow'n optiikat, joiden polttovälit ovat 6, 16 ja 25 millimetriä riippuen kuvausetäisyydestä. 6 millimetrin optiikka on kiinni robotin varressa olevassa kamerassa, muut kamerat ovat kiinteästi asennettuja. Kuvankaappauskortteina käytetään Matrox Meteor II -kortteja. Kortteihin voidaan kytkeä neljä kameraa. Kamerat vaativat omat erikoiskaapelit. Valaistuksena soluissa käytetään loisteputkia, lisäksi robotteihin kiinnitetyissä kahdessa kamerassa on koteloon integroitu ledirengas.

5.4 Ohjelmat

Robot Guidance

Robottisoluissa käytetään konenäköohjelmistona MAG Robot Guidancea, jonka versionumero on 3.02. Tämä versio on yhteensopiva ainoastaan Windows XP:n kanssa. Ohjelmisto on suunniteltu kappaleiden poimimiseen ja paikoittamiseen robottisovelluksissa.

Matrox Imaging Library (MIL)

Robot Guidance käyttää Matrox Imaging Library -ohjelmistotyökaluja hahmontunnistukseen, kameroiden ohjaukseen ja kameroiden parametrien säätämiseen. Tässä versiossa kameroiden parametrisäädöt tehdään tekstitiedostoja muuttamalla.

S4 Robot Driver

Robot Driver -ohjelmisto mahdollistaa ABB S4 -robottien ja konenäköohjelmiston kommunikaation TCP/IP-protokollaa käyttäen. Tämän ohjelman avulla konenäköohjelmisto siirtää löydetyn kohteen koordinaatit ja kiertokulman suoraan robotin paikkamuuttujiin. Käytettäessä tätä ohjelmaa erillistä kättelyä datan siirtoon ei tarvita.

6 Työn kuvaus

6.1 Esiselvitys ja uuden järjestelmän valinta

Vaikka esiselvitys on tehty jo ennen tämän insinööriyön aloittamista, kuuluu se olennaisena osana tähän projektiin ja siitä on työn selvyuden kannalta hyvä tietää.

Kun konenäköjärjestelmien tietokoneita uusittiin, törmättiin ongelmiin. Matrox Meteor II -kortit liitetään tietokoneen PCI-väylään, mutta uusissa standardi-tietokoneissa on siirrytty käyttämään uutta PCI-express -tyyppistä väylää. Erikoistilauksesta saatiin kuitenkin tietokone, jossa oli PCI-väylä ja kuvankaappauskortti saatiin kytkettyä. Tietokone ei kuitenkaan toiminut kortin asennuksen jälkeen. Lisäksi samaan aikaan Microsoftin tuki

Windows XP -käyttöjärjestelmälle oli loppumassa, joten uusia ratkaisuja aloitettiin kar-
toittamaan.

Robottien kommunikointi konenäköjärjestelmän ja toisiensa kanssa on toteutettu käyt-
tään ethernet-kaapelointia ja TCP/IP-protokollaa. Tätä ei haluttu lähteä muuttamaan,
koska se olisi vaatinut erillisiä I/O-kortteja robotteihin ja tietokoneisiin. Koska MAG Ro-
bot Guidance on ainoa ohjelmisto, joka tukee robottien suoraa kommunikaatiota kes-
kenään, päädyttiin jatkamaan MAG Robot Guidance -ohjelmistojen käyttöä. Jäljelle jäi
kaksi vaihtoehtoa.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa kuvankaappauskortit vaihdettaisiin Matrox Solios
-kortteihin, jotka ovat varustettu PCI-express -väylällä. Matrox Solios -kortit ovat yh-
teensopivia vanhojen kameroiden kanssa, mutta vaativat kameroille uuden kaapeloin-
nin ja ulkoisen virransyötön. Lisäksi Robot Guidance vaatisi päivityksen, koska van-
hemmassa versiossa ei ole tukea Matrox Solios -korteille.

Toisessa vaihtoehdossa kamerat korvataan GigE-kameroilla ja kaapelointi olisi nor-
maalia ethernet-kaapelia. Käyttämällä PoE-kytkimiä erillistä virtakaapelointia kameroille
ei tarvita, koska kameroiden virransyöttö tapahtuu ethernet-kaapelia pitkin. Uusissa
kameroissa on mahdollista käyttää vanhoja optiikoita. Tässäkin vaihtoehdossa Robot
Guidance vaatii päivityksen, koska vanhemmassa versiossa ei ole tukea GigE-
kameroille.

Uudeksi järjestelmäksi valittiin GigE-kamerat ja PoE-kytkimet. Syyt tähän valintaan
ovat

- Järjestelmässä ei tarvita kuvankaappauskortteja, jotka voivat olla epä-
varmuustekijöitä tietokoneiden vaihdon yhteydessä.
- Ei tarvita erillisiä virtakaapeleita kameroille.
- Kamerakaapeleina käytetään tavallista ethernet-kaapelia.
- Vanhojen kameroiden ilmoitettu MTBF eli vikaatumisväli on 70 600 tuntia,
mikä on jo ylitetty.
- Komponentit ja ohjelmistot saadaan samalta toimittajalta.

Tämä vaihtoehto tuli kalliimmaksi, mutta kokonaisuudessa se on parempi.

6.2 Uuden järjestelmän komponentit

Tietokoneiksi tulee normaalit toimisto-PC:t, jotka ovat DELLin Optiplex -sarjaa. Tietokoneen prosessori on Intel Core I5 ja muistia on 8 GB:ä. Käyttöjärjestelmänä on Windows 7 Pro. Nämä tietokoneet ovat konsernin standardi-PC:itä.

Kamerat ovat Saksalaisen Imaging Sourcen GigE Visionit malliltaan DMK23GP031. Kamerat ovat harmaasävykameroita CMOS-kennotekniikalla. Niiden tekniset tiedot ja eroavaisuudet vanhoihin Sony CCD-kameroihin näkyvät taulukossa 1.

Taulukko 1. Kameroiden tekniset eroavaisuudet.

Valmistaja	Sony	ImagingSource
Malli	XCST50CE	DMK23GP031
Tyyppi	Analoginen	Digitaalinen
Kennotyyppi	CCD	CMOS
Liitäntästandardi	CCIR	GigE
Resoluutio/pikseliä	768 x 494	2 592 x 1 944
Sensorin koko	1/2"	1/2,5"
Linssin kiinnitys	C-mount	CS-mount*

*Vakiovarusteena C S-> C muuntokappale

Kustannussyistä vanhoja optiikoita haluttiin käyttää myös uusien kameroiden kanssa. Uusissa kameroissa kuvasensori on pienempi, joten myös kuvausala pienenee. Ohuen linssin yhtälöitä (kaavat 1, 2 ja 3) muokkaamalla saadaan kaava 11. Tällä kaavalla voidaan laskea kuvausalue (FOV), kun tiedetään kuvausetäisyys, polttoväli ja kuvasensorin koko.

$$FOV = y' \times \left(\frac{a}{f'} - 1 \right) \quad (11)$$

y' on kuvasensorin koko

a on kohteen ja linssin keskipisteen välimatka eli kuvausetäisyys

f' on polttoväli

Taulukkoon 2 on laskettu kuvausalueet eri optiikoilla, kuvausetäisyyksillä ja molemmilla kameroilla käyttäen kaavaa 11. Lisäksi taulukosta näkyvät kuvausalueiden erot. Tilan-

ne tarkastettiin robottisoluissa, eikä kuvausalueiden pienennyksestä ollut haittaa. Näin ollen vanhoja optiikoita voitiin käyttää. Koska kameroiden optiikan kiinnitys on CS-mount -standardilla ja vanhat optiikat ovat C-mount -standardilla, piti optiikan ja kameran väliin asentaa mukana tuleva soviterengas.

Taulukko 2. Kuvausalueiden mitat.

	optiikka f' = 6 mm (robottikamera)				optiikka f' = 25 mm		optiikka f' = 16 mm	
	Sony		IS		Sony	IS	Sony	IS
Kuvausetäisyys/mm	425	570	425	570	1550	1550	1100	1100
Sensorin leveys/mm	6,4	6,4	5,76	5,76	6,4	5,76	6,4	5,76
Sensorin korkeus/mm	4,8	4,8	4,29	4,29	4,8	4,29	4,8	4,29
Kuvausalan leveys/mm	447	602	402	541	390	351	434	390
Kuvausalan korkeus/mm	335	451	300	403	293	262	325	291
Ero leveys/mm	45	60			39		43	
Ero korkeus/mm	36	48			31		35	

Uudessa järjestelmässä käytetään samoja ohjelmistoja kuin vanhassakin. Ohjelmien versiot ovat uudemmat, koska vanhoissa versioissa ei ole tukea Windows 7:lle, eikä GigE-kameroille. Robot Guidancen käyttöliittymä on samanlainen kuin vanhassakin versiossa, tästä johtuen järjestelmien käyttäjiä ei tarvitse kouluttaa. Ainoa ero Robot Guidancessa on lisäksi GigE-kameroiden asetusten muutoksiin.

6.3 Tietokoneiden asennus ja testaus

Ohjelmistot asennettiin tietokoneisiin etukäteen, jotta testaus voidaan suorittaa ilman tuotantosolun pysäyttämistä. Ohjelmistojen asentaminen on suhteellisen suoraviivaista ja kaikki konenäköjärjestelmään liittyvät kolme ohjelmistoa asennetaan samalta levykkeeltä peräjälkeen. Asennettaessa pitää valita oikeat kameratyypit, Robot Driverin tyyppi, MIL asennuksen laajuus ja mahdolliset tietokoneeseen liitetyt I/O-kortit.

Robot Driveriin laitetaan robottien nimet ja IP-osoitteet. Robotit eivät tue DHCP-protokollaa, eli automaattista IP-osoitteen asetusta. Tämän vuoksi niillä pitää olla asennettuna kiinteät IP-osoitteet. Robottien nimeämisessä kävi virhe, kun robottien nimet alkavat ROB0:sta. Robottien nimiksi asetettiin aluksi ROB1 ja ROB2, eikä yhteys robottien välillä toiminut. Tämä huomattiin testivaiheessa ja nimien muuttaminen ROB0:ksi ja ROB1:ksi korjasi tilanteen.

Matroxin ohjelmakirjasto vaatii USB-porttiin kytkettävän salausavaimen ja sille ajuriohjelman. Windowsin alue-asetuksista pitää muuttaa desimaalierotin pilkusta pisteeksi, muuten ohjelmat eivät toimi. Euroopassa oletusasetus on pilkku. Tietokoneita ei kytketä ulkopuoliseen verkkoon, joten virustorjuntaa ei tarvita ja Windowsin automaattiset päivitykset otetaan pois päältä. Robot Guidance tunnistaa kamerat automaattisesti, jos ne ovat kytketty ennen ohjelman käynnistystä. Ainoa muutettavaa asetus on valotusajan muutos.

6.4 Mekaaninen asennus ja käyttöönotto

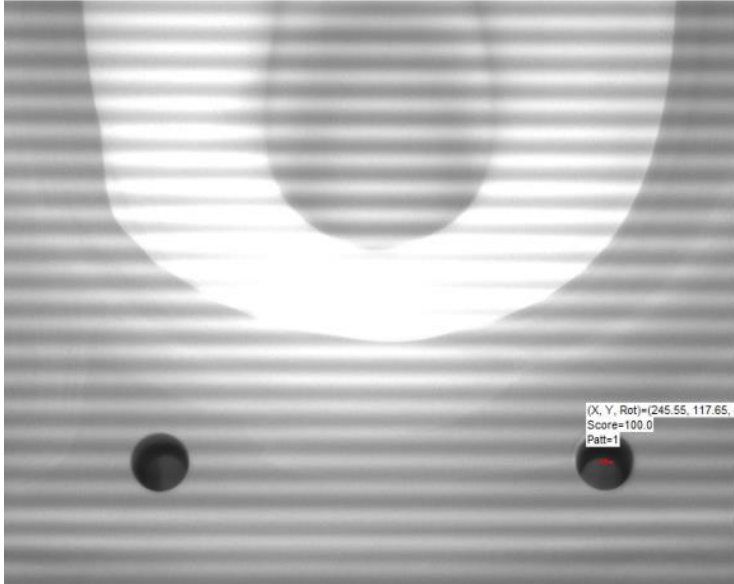
Kamerat ja valaistus

Kamerakaapelit asennettiin etukäteen solun huoltopäivänä, jotta varsinaisena järjestelmän asennuspäivänä se ei vie aikaa. Kamerat asennettiin vanhoihin koteloihin. Kotelot ovat IP66-suojaluokkaa, joten ne ovat pölyn ja vedenpitäviä. Uusien ja vanhojen kameroiden kiinnityspinnan ja optiikan keskipisteen väli on eri. Uusissa kameroissa se on pienempi, joten kameran ja kotelon kiinnityspintojen väliin jouduttiin laittamaan levy (kuva 15). Ilman levyä kamera näkee kotelon sisäpuolen.



Kuva 15. Uusi kamera asennettuna välilevyn avulla.

Valaistus jätettiin ennalleen. Se koostuu ledirenkaasta, joka on integroitu robotissa olevaan kamerakoteloon ja loisteputkivalaisimiin. Loisteputkivalaisimet aiheuttivat häiriötä kuvaan. Tämä näkyy 50 Hz:n välkyntänä livekuvauksessa ja viivoina stillkuviissa (kuva 16). Häiriötä saatiin pienemmäksi pidentämällä valotusaikaa.



Kuva 16. Loisteputkien aiheuttamaa häiriötä.

Järjestelmän kytkeminen

Koska järjestelmään valittiin PoE-kytkin, laitteistojen liittäminen oli yksinkertaista. Robotit, kamerat ja tietokone kytkettiin ainoastaan ethernet-kaapeleilla kytkimeen kiinni, muuta kaapelointia ei tarvita.

Optiikat

Optiikat siirrettiin vanhoista kameroista. Optiikoiden kiinnitysten jälkeen säädettiin aukko ja tarkennus. Tämä tehdään silmämääräisesti katsomalla kuvaa monitorista asettamalla kameraohjelmassa live-kuvaus päälle. Tätä voi verrata valokuvaukseen ennen digitaalikameroita, jolloin säädöt tehtiin manuaalisesti ennen jokaisen valokuvan ottamista.

Kalibrointi

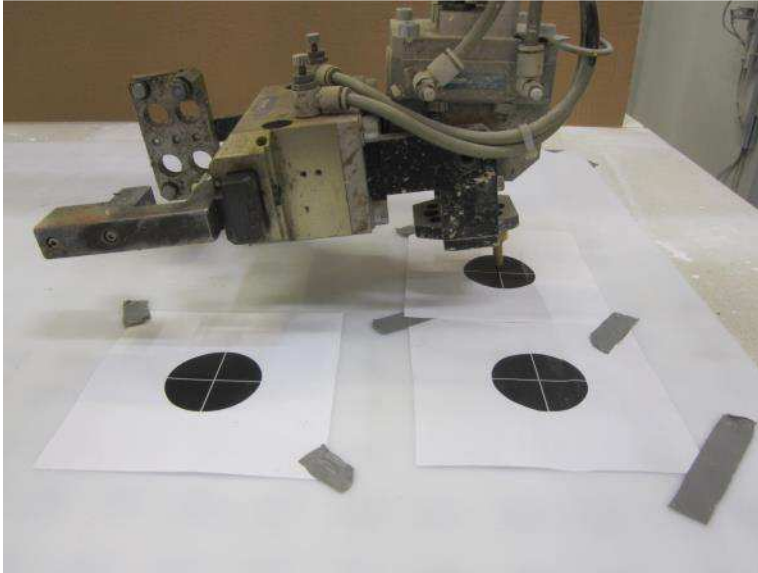
Järjestelmässä käytettävät optiikat aiheuttavat tynnyriväristymää kuvan reuna-alueilla. Robot Guidancessa on matriisikalibrintitoiminto, jolla tämä saadaan ohjelmallisesti korjattua. Kalibrointi suoritetaan erityisellä kalibrintikalvolla, joka on täynnä mustia ympyröitä. Kalvo asennetaan kuvauskorkeudelle ja otetaan kuva. Kalibrintitilanne näkyy kuvassa 17. Robot Guidance etsii ympyröiden keskipisteet ja laskee niiden perusteella korjauksen koordinaatistoon.



Kuva 17. Robottikameralla tehtävä matriisikalibrointi.

Digitaalisen kuvan koordinaatiston origo on vasemmassa yläkulmassa ja kuvaa käsitellään pikselettäin. Robotin origo on oikeassa alakulmassa ja paikoitus millimetreissä. Näiden kahden koordinaatiston saamiseksi yhdenmukaiseksi tehdään koordinaattikalibrointi. Koordinaattikalibroinnissa robotin ja konenäköjärjestelmän koordinaatistot yhdenmukaistetaan, jolloin konenäköjärjestelmän lähettämä koordinaattitieto on absoluuttinen verrattuna robotin koordinaatistoon. Tällöin robotilla ei tarvitse tehdä erillisiä laskutoimituksia konenäköjärjestelmän lähetettyä kuvaustietoja. Koordinaattikalibrointi suoritetaan kolmella pisteellä, jotka ovat asetettu suorakulmaisesti suhteessa kuvausa-

lueseen. Kalibrintikalvo asetetaan kuvauskorkeudelle ja otetaan kuva. Robotilla ajetaan opetuspiikin kanssa kaikkiin kolmeen pisteeseen (kuva 18), pisteiden arvot otetaan robotilta ylös oikeassa koordinaatistossa ja laitetaan kameraohjelmaan vastaavien pisteiden kohdalle.



Kuva 18. Robotilla tehtävä koordinaattikalibrointi.

Tuotteiden opettaminen

Tuotteiden mallikuvien opettaminen voitiin tehdä kalibroinnin jälkeen. Ennen tätä kuitenkin tehtiin vielä aukon ja valotusajan hienosäätö, jotta kuvan kirkkaus saatiin halutunlaiseksi. Tuotteen opetuksen yhteydessä määritellään käytettävä kamera, hakualgoritmi ja hakuparametrit. Tuotekuva voidaan myös tuoda muista projekteista. Tätä toimintoa käytettiin lasitussolu 2:n asennuksessa. Koska solut ovat identtisiä, niin tuotekuvat pystyttiin suoraan siirtämään ensimmäisenä tehdystä solusta. Tämä nopeutti käyttöönottoa.

Opetettavia mallikuvia oli yhteensä viisitoista kappaletta. Näistä kaksi ovat mustia ympyröitä, joita etsitään kynnystetystä kuvasta blob-search algoritmilla. Näille malleille ei tarvinnut tehdä muuta kuin kynnystystason säätäminen. Ohjelma laskee automaattisesti ympyrän keskipisteen, jonka koordinaattitiedot lähetetään robotille. Koska etsittävä tuote ei voi olla koko kamerasäädöksen kuvausalueella, kuvankäsittelyn nopeuttamiseksi pienennetään hakualuetta.

Kuvia opetettaessa määritettiin myös hakualue ja hakuraja-arvot, joiden sisällä haku tehdään ja hyväksytään. Hakuraja-arvoista tärkeimmät ovat hakuosuman tarkkuus (score) ja hyväksyttävä hakukulma (angle). Hakuosuman tarkkuus tarkoittaa, että monenko prosentin tarkkuudella kuvatus tuotteen pitää vastata mallitietokannassa olevaa tuotekuvaa. Hakukulma tarkoittaa kulmaa, missä kulmassa kuvattu tuote saa olla suhteessa mallitietokannan kuvaan. Muut arvot pidetään oletusarvoissa tai automaattisina. Mallikuvista määritellään hotpoint eli koordinaattitieto, joka lähetetään löydetyistä kuvasta robotille. Hotpoint asetetaan manuaalisesti haluttuun kohtaan. Mallikuvasta maskataan, eli peitetään epärelevantit kohdat. Tämä parantaa haun onnistumista ja myös nopeuttaa hakua, koska kuvan prosessointi on nopeampaa.

Mallikuvien opetuksen jälkeen testattiin kommunikaatio robottien ja konenäköjärjestelmien välillä. Kun yhteydet toimivat, aloitettiin testaus. Testauksen aikana hienosäädettiin hotpointeja, mikäli robotti ei poiminut esinettä oikeasta kohdasta. Kun kaikkien mallien kuvaukset oli testattu ja hienosäädetty aloitettiin tuotantoajo.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli hankkia ja asentaa kolmen solun konenäköjärjestelmät. Tämän lisäksi kirjalliseen osuuteen oli tarkoitus tutkia konenäön ja -analyysin teoriaa. Kaksi järjestelmää on asennettu, mutta viimeistä ei tuotantotilanteen takia ole vielä pystytty asentamaan. Tässä taloudellisessa tilanteessa asian voi ottaa positiivisena, koska tuotantoa pitää ajaa täydellä kapasiteetilla. Koska työskentelen yhtiössä kokopäiväisesti, suoritetaan asennus heti, kun tuotantotilanne sen sallii.

Asennukset ja käyttöönotot menivät pääpiirteittäin hyvin, eikä tuotantoa tarvinnut pysäyttää pitkiksi ajoiksi. Varasuunnitelmana oli, mikäli tulisi aikaavieviä ongelmia, vanhojen järjestelmien takaisinlaittaminen. Tähän ei onneksi tarvinnut turvautua.

Ensimmäisen järjestelmän asennuksessa ilmeni ongelma, kun kamerakotelon ulkokuori asennettiin. Kamera ei ollut keskellä kotelon lasia ja näki kotelon sisäpuolta. Kameroiden kiinnitys oli kyllä testattu aiemmin, mutta tämä seikka jäi huomaamatta. Asia korjattiin valmistamalla välilevy kameran ja kotelon väliin.

Soluissa olevat loisteputkivalaisimet aiheuttavat toisen kameran kuvaan häiriötä välkyntänä. Tätä ongelmaa ei ollut vanhan analogisen kameran kanssa. Kuvassa näkyvää häiriötä saatiin vähennettyä pidentämällä valotusaikaa. Koska tämän kameran kuvat kynnystetään binäärisiksi kuviksi, saatiin sopivalla kynnystysarvolla järjestelmä toimimaan. Valaisimiin tullaan asentamaan korkeataajuuskuristimet, jotta välkyntä saadaan kokonaan pois kuvasta.

Käyttöönoton viimeisessä vaiheessa testattiin kahden robotin välinen kommunikaatio. Se ei toiminut, robotit kytkeytyivät serveriin, mutta tieto ei liikkunut robottien kesken. Vika löytyi Robot Driverin asetuksista, jossa robotit olivat nimetty väärin. ROB0-osoitteen tilalla oli ROB1 ja ROB2-osoitteen tilalla ROB2. Vianhakua auttoi Robot Driverin logitiedostot, joita tutkimalla ongelma lopulta löytyi.

Työ oli mielenkiintoinen ja etenkin teoriaan syvennyin ja opin siitä paljon uutta. Aihe on erittäin laaja ja ensisijaisina lähteinä käytin useampaa noin tuhatsivuista kirjaa.

Lähteet

- 1 Sanitec – Home of the bathroom. 2014. Verkkodokumentti.
<<http://www.sanitec.com/AboutUs/About%20Us>>. Luettu 3.8.2014.
- 2 IDO tänään. 2014. Verkkodokumentti.
<<http://www.ido.fi/Corporate/Company/IDO%20Today.aspx>>. Luettu 3.8.2014.
- 3 IDO historia. 2014. Verkkodokumentti.
<<http://www.ido.fi/Corporate/Company/History.aspx>>. Luettu 3.8.2014.
- 4 Lemberg Henrik & Suutari Tuomo. 2014. ARUC - Seminaariesitys.
- 5 Kehittyvä elintarvike. 2004. Mitä on konenäkö? 4/2004, s. 26.
- 6 Mäenpää Topi, Niskanen Matti, Pylkkö Heikki, Ropponen Seppo & Silven Olli. 2008. Konenäön hyödyntämismahdollisuudet teiden ylläpidossa ja hoidossa. Helsinki: Tiehallinto.
- 7 Batchelor Bruce G. 1999. Coming to Terms with Machine Vision and Computer Vision: They're not the same! Advanced imaging 1/1999 s. 22-26.
- 8 Versatile LEDs Drive Machine in Automated Manufacture. 2012. Verkkodokumentti. <<http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2012/jan/versatile-leds-drive-machine-vision-in-automated-manufacture>>. Luettu 20.8.2014.
- 9 Hornberg Alexander. 2006. Esipuhe. Teoksessa Hornberg Alexander (toim.). Handbook of Machine Vision. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA.
- 10 Halinen Matias. 2007. Konenäkö robotin ohjauksessa. Aalto-yliopisto. Verkkodokumentti. <automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c_teoria.pdf>. Luettu 20.8.2014.
- 11 Pietikäinen Matti & Silven Olli. 2011. Johdatus konenäköön. Oulun yliopisto. Verkkodokumentti.
<<http://www.cse oulu.fi/CMV/AboutCMV?action=AttachFile&do=view&target=konenako.pdf>>. Luettu 29.8.2014.
- 12 Bayless Steven H., Guan Adrian, Son Patrick, P.E., Murphy Sean & Shaw Anthony. 2013. Connected Vehicle Insights: Trends in Roadway Domain Active Sensing. U.S. Department of Transportation. Verkkodokumentti.
<www.its.dot.gov/index.html>. Luettu 30.8.2014.

- 13 Kiimalainen Kimmo. 2014. Konenäkö näkee paremmin. *Reset-lehti* 1/2014, s. 32-33.
- 14 Gonzalez Rafael C. & Woods Richard E. 2007. *Digital Image Processing*. Third edition. New Jersey: Pearson Education International.
- 15 Mattfeldt Horst. 2006. *Camera Systems in Machine Vision*. Teoksessa Hornberg Alexander (toim.). *Handbook of Machine Vision*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA.
- 16 Aimonen Pertti. 2010. Konenäön sovelluskohteita. *Ohutlevy* 1/2010, s. 18-20.
- 17 Nakamura Junichi. 2006. *Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras*. Boca Raton: Taylor & Francis.
- 18 Sony. New Products Information. 2014. Verkkodokumentti. <http://www.sony.net/Products/SC-HP/new_pro/september_2013/icx801sqw_e.html>. Luettu 1.9.2014.
- 19 Machine Vision Yearbook 2013/2014. 2013. Euro Science. Verkkodokumentti. <<http://content.yudu.com/A2fqcq/VISIONYB2013/resources/index.htm?referrerUrl=>>>. Luettu 1.9.2014.
- 20 Eismann Katrin, Duggan Séan & Grey Tim. 2011. *Real World Digital Photography*. Third Edition. Berkeley: Peachpit Press.
- 21 Holst Gerald C. 1998. *CCD arrays, Cameras and Displays*. Second edition. Cove Trail: JCD Publishing.
- 22 Preston Scott. 2011. Five Reasons You May Soon Be Shooting at ISO 50,000. Verkkodokumentti. <<http://www.cameratechnica.com/2011/11/30/five-reasons-you-may-soon-be-shooting-at-iso-50000/>>. Luettu 8.9.2014.
- 23 Machine Vision Introduction. 2006. Sick IVP. Verkkodokumentti. <http://www.sick.com/uk/en-uk/home/products/product_portfolio/Documents/Machine%20Vision%20Introduction2_2_web.pdf>. Luettu 9.9.2014.
- 24 Iglesias Tony, Salmon Anita, Scholtz Johann, Hedegore Robert, Borgendale Julianna, Runnels Brent & McKimpson Nathan. 2006. *Camera Computer Interfaces*. Teoksessa Hornberg Alexander (toim.). *Handbook of Machine Vision*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA.
- 25 Warren Smith J. 2000. *Modern Optical Engineering*. Third Edition. New York: McGraw-Hill.

- 26 Telljohann Axel. 2006. Introduction to Building a Machine Vision Inspection. Teoksessa Hornberg Alexander (toim.). Handbook of Machine Vision. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA.
- 27 Jain Ramesh, Kasturi Rangachar & Schunck Brian G. 1995. Machine Vision. USA: McGraw-Hill.
- 28 Batchelor Bruce G. 2012. Light and Optics. Teoksessa Batchelor Bruce G (toim.). Machine Vision Handbook. London: Springer-Verlag London Limited.
- 29 Batchelor Bruce G. 2012. Illumination Sources. Teoksessa Batchelor Bruce G (toim.). Machine Vision Handbook. London: Springer-Verlag London Limited.
- 30 Jahr I. 2006. Lighting in Machine Vision. Teoksessa Hornberg Alexander (toim.). Handbook of Machine Vision. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA.
- 31 Machine Vision Reference Guide. 2013. Datalogic. Verkkodokumentti. <<http://www.datalogic.com/eng/products/industrial-automation/machine-vision/impact-software-pd-605.html>>. Luettu 9.9.2014.
- 32 Sonka Milan, Hlavac Vaclav & Boyle Roger. 2007. Image Processing, Analysis, and Machine Vision. Third Edition. USA: Thomson Learning.
- 33 Steger Carsten. 2006. Machine Vision Algorithms. Teoksessa Hornberg Alexander (toim.). Handbook of Machine Vision. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA.
- 34 Szeliski Richard. 2010. Computer Vision: Algorithms and Applications. Verkkodokumentti. <<http://szeliski.org/Book/>>. Luettu 30.9.2014.
- 35 Jähne Bernd, Haußecker Horst & Geißler Peter. 1999. Handbook of Computer Vision and Applications Volume 2 Signal Processing and Pattern Recognition. London: Academic Press.
- 36 Batchelor Bruce G & Whelan Paul F. 2012. Basic Machine Vision Techniques. Teoksessa Batchelor Bruce G (toim.). Machine Vision Handbook. London: Springer-Verlag London Limited.
- 37 Tapio Seppänen. 2006. Hahmontunnistus ja neuroverkot. Oulun Yliopisto. Verkkodokumentti. <<http://www.ee.oulu.fi/research/tklab/courses/521497S/pruju/Chapter1.pdf>> Luettu 1.10.2014.
- 38 Jokelainen Jouni. 2013. Konenäkö ja kuvankäsittely. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.