

Ari Saksala

ÄLYKAMERAN LIITTÄMINEN OSAKSI ROBOTIN OHJAUSJÄRJESTELMÄÄ

Insinööriö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikan ala

Tietotekniikan koulutusohjelma

Syksy 2005



Osasto Tekniikka	Koulutusohjelma Tietotekniikka
Tekijä(t) Ari Saksala	
Työn nimi Älykameran liittäminen osaksi robotin ohjausjärjestelmää	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Konenäkö ja mittaustekniikka	Ohjaaja(t) Pentti Romppainen
Aika 1.12.2005	Sivumäärä 45
Tiivistelmä <p>Tämä insinöörityö tehtiin Kajaanin ammattikorkeakoulun automaatiolaboratorioon. Tavoitteena oli liittää konenäköjärjestelmä robotin ohjausjärjestelmään. ABB Automation Technologies AB:n IRB-140 -teollisuusrobotia käytetään opetuskäyttöön tarkoitetun automaattisen tuotantojärjestelmän kokoaman tuotteen purkamiseen. Tuote koostuu eri materiaaleista valmistetuista osista. Konenäköjärjestelmää käytettiin tuotteen paikantamiseen ja luokitteluun.</p> <p>Konenäössä käytettiin Omron F210 Vision System -älykamerajärjestelmää. Siihen liitettävien kahden kameran avulla määritettiin tuotteen sijainti ja asento kolmiulotteisesti. Kohteen paikantaminen ja luokittelu perustui rekisteröityjen mallikuvien ja kuvatun alueen piirteiden vertailuun. Järjestelmien väliseen kommunikointiin käytettiin sarjamoitoista tiedonsiirtomenetelmää.</p>	
Luottamuksellinen Kyllä Ei X	
Hakusanat Konenäkö, Robotin ohjaus	
Säilytyspaikka Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto	



Faculty School of Engineering	Degree programme Information Technology
Author(s) Ari Saksala	
Title Intelligent Vision System Guidance For Industrial Robot Controlling	
Optional professional studies Machine Vision and Measurement Technology	Instructor(s) / Supervisor(s) Pentti Romppainen
Date 1 December 2005	Total number of pages 45
Abstract <p>This Bachelor's thesis was made for the automation laboratory of Kajaani Polytechnic . The purpose was to connect a vision system to a robot controller. The robot is used to dismantle a product that is assembled by an automated manufacturing system. The system is used for training and education. The product consists of parts that are of different materials. Machine vision is applied for the location and classification of the product.</p> <p>An integrated vision system was used for the machine vision application. Two cameras were used to provide three dimensional location of the product. Object recognition and classification were based on comparison between registered model images and the features of the captured images. A serial data transfer method was used for communication between the systems.</p>	
Confidential Yes No <input checked="" type="checkbox"/>	
Keywords Intelligent vision system, Robot controlling	
Deposited at Kajaani's Polytechnic, library	

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	5
2 TEOLLISUUSROBOTTI.....	7
2.1 Yleistä roboteista.....	7
2.2 Robottimalli IRB-140.....	9
3 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ	12
3.1 Kuva-analyysi.....	12
3.3 Omron F-210 Vision Sensor	15
3.4 Kamerajärjestelmän käyttöönotto	16
4 KONENÄKÖSOVELLUKSEN KEHITTÄMINEN.....	22
4.1 Laitteiston kokoonpano.....	23
4.2 Kameran ja robotin koordinaatistojen sovitus	25
4.3 Tuotteen sijainti ja luokittelu	26
4.4 Kohteen korkeuden mittaus.....	33
4.5 Kommunikointi robotin kanssa.....	35
4.6 Robotin ohjelmointi.....	36
5 TESTAUS JA TULOSTEN TARKASTELU.....	40
5.1 Sovellusten testaus	40
5.2 Tulosten tarkastelu	41
5.3 Järjestelmän jatkokehitystarpeet	42
6 YHTEENVETO.....	44
LÄHDELUETTELO	45

1 JOHDANTO

Kajaanin ammattikorkeakoulun automaatiotekniikan laboratoriossa on kuvassa 1 esitetty SMC-Alecopin kehittämä FMS 200 -tuotantojärjestelmä. Laitteistoa käytetään automaattisten teollisuuslaitteistojen tuotanto-, säätö- ja ohjausjärjestelmiin liittyvän koulutuksen tukena. Järjestelmän tehtävänä on valmistaa tuote, joka koostuu laakerista, laakeripesästä, akselistä ja laakerin kannesta. On sekä muovisia että metallisia osia, joiden yhdistelmästä saadaan erilaisia kokoonpanoja. Tuotteen kokoonpano tapahtuu soluissa, joiden välillä tuotetta liikutetaan automaattisesti ohjatulla kuljettimella.



Kuva 1. FMS 200 -tuotantojärjestelmä.

Yhtenä osana tuotantojärjestelmässä toimii ABB Automation Technologies AB:n IRB 140 -teollisuusrobotti, jonka tehtävänä on poimia valmis tuote ja purkaa se osiin. Eri osat lajitellaan ja siirretään varastoon, josta ne siirtyvät takaisin tuotantojärjestelmän käyttöön. Laboratorioon on hankittu Omron F-210 Vision Sensor -kone näköjärjestelmä, jolla on tarkoitus suorittaa tuotteen luokittelu, jonka perusteella voidaan tunnistaa erilaisista osista koostuvat kokoonpanot.

Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa konenäkösovellus valmiin tuotteen luokittelua ja paikantamista varten. Robotti tarvitsee erityisiä tarttujalaitteita erilaisiin kappaleisiin tarttumista varten. Niiden käyttöönotto on erillinen projekti, jota ei käsitellä tässä työssä. Konenäkösovelluksen kehittämisessä oli tavoitteena mahdollistaa robotin ohjaaminen yhdessä monipuolisen tarttujavalikoiman kanssa.

2 TEOLLISUUSROBOTTI

Teollisuusrobotilla tarkoitetaan yleensä ohjelmoitavaa monipuolista nivellettyä laitetta, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita. Teollisuusrobotin suorittamat tehtävät voivat olla ohjelmallisesti täysin ennalta määrättyt tai niihin voidaan vaikuttaa ympäristön tapahtumilla, valinnoilla ja antureiden antamalla viesteillä. Teollisuusrobotit ovat nykyisessä muodossaan yhtenäisiä järjestelmäpaketteja, jotka koostuvat käsivarresta ja sen ohjaimesta sekä ohjaus-tietokoneesta. [1, s. 13.]

2.1 Yleistä roboteista

Teollisuusrobotin järjestelmässä käsivarsi ja sen ominaisuudet ovat tärkeitä suunniteltaessa robotin tehtävää. Yhtä tärkeä rooli kokonaisuudessa on ohjaus- ja ohjelmointijärjestelmällä. Tyypilliset ohjausjärjestelmät ovat reaaliaikaisia prosessitietokoneita. Ohjausjärjestelmän tulee pystyä ohjaamaan toimilaitteita tuhansia kertoja sekunnissa vastaanottaen samalla viestejä robotin käsivarren nivelten antureilta sekä ympäristön muilta laitteilta. [1, s. 34.]

Nykyaikaisen robottijärjestelmän toiminta edellyttää usein tiedonsiirtoa muiden tuotantojärjestelmän laitteiden kanssa. Ulkoisten toimilaitteiden, kuten esimerkiksi näköjärjestelmien hyödyntäminen vaatii robotilta kykyä kommunikoida toisen laitteen kanssa. Tiedonsiirtoliitännät mahdollistavat seuraavien toimintojen toteuttamisen:

- ohjelmien lataaminen ja tallennus
- ohjelmien käynnistys ja pysäytys
- numerotiedon ja paikkarekisterien luku ja tallentaminen
- toiminnan monitorointi ja tilastointi. [1, s. 49.]

Robottia ohjelmoidaan useimmiten opettamalla. Menetelmä toimii siten, että robotin työkalu viedään käsiohjaimella haluttuun paikkaan, jonka jälkeen kyseinen asema talletetaan muistiin. Tämän menetelmän ohella ohjelmakoodia kirjoitetaan tekstimuodossa tietokoneella. Näiden kahden edellä mainitun menetelmän yhdistämisestä ja erityisesti jälkimmäisen menetelmän käytöstä on apua etenkin ohjelman loogisten rakenteiden suunnittelussa. Suurimmat robottivalmistajat ovat kehittäneet erilaisia off-line- eli etäohjelmointiympäristöjä. Niitä käytetään yleensä kolmiulotteisen graafisen käyttöliittymän avulla. Ne perustuvat robotin ja sen oheislaitteiden sekä työympäristön kolmiulotteisten simulointimallien käyttöön. [1, s. 79.]

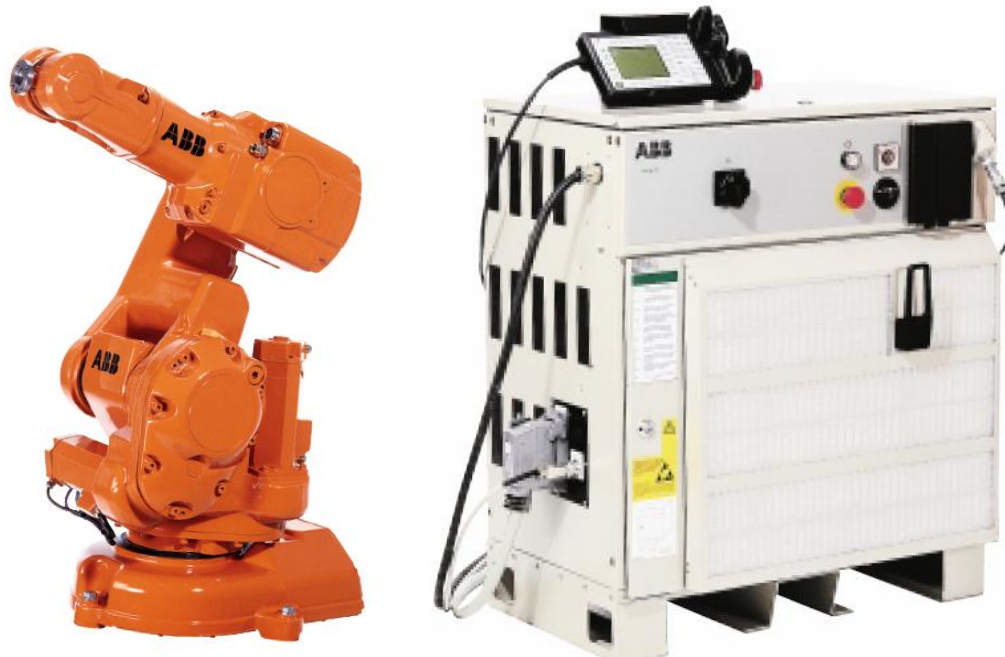
Robottijärjestelmän tarkoitus on hallita siihen kiinnitetyn työkalun asemaa ja liikettä käyttäjän haluamalla tavalla. Tämän vuoksi sen on pystyttävä laskennallisesti muuttamaan haluttu työkalun asema käsivarren akseleiden paikkaohjeiksi. Aseman ilmoittamiseen käytetään yleisesti maailma-, perus- ja työkalukoordinaatistoja. Maailmakoordinaatisto on sidottu robotin työskentely-ympäristöön, kuten esimerkiksi rakennukseen tai robotin oheislaitteisiin. Peruskoordinaatisto on sidottu robotin jalustaan. Määritelmän mukaan tavallisella robotilla peruskoordinaatiston z-akseli yhtyy ensimmäisen vapausasteen akseliin, x-akseli osoittaa ensimmäisen nivelen työalueen keskikohtaan ja xy-taso yhtyy lattiaan. Työkalukoordinaatisto on tietylle yksittäiselle työkalulle määritelty suorakulmainen koordinaatisto, joka on suhteessa robotin työkalulaipan koordinaatistoon. [1, s.20.]

Robottiin liitettävä kamerajärjestelmä ottaa kuvan, jota tarkastellaan omassa koordinaatistossaan. Jotta robotin työkalu voitaisiin paikoittaa kameran koordinaatistossa sijaitsevaan kohteeseen, täytyy kuva- ja työkalukoordinaatistojen välille muodostaa suhde.

2.2 Robottimalli IRB-140

FMS 200 -tuotantojärjestelmän yhteydessä toimiva teollisuusrobotti on ruotsalaisen ABB Automation Technologies AB:n valmistama malli IRB-140. Seuraavassa on esitelty valmistajan ilmoittamia tärkeimpiä ominaisuuksia [2.].

Robotti ja sen ohjausyksikkö on esitelty kuvassa 2. Se on tyypiltään kuuden vapausasteen robotti. Kuusi vapausastetta eli liikuteltavaa akselia mahdollistaa työkalun sijoittamisen mihin tahansa asentoon ja paikkaan työalueella. Robotti kykenee käsittelemään 5 kg:n kuormaa käsivarrellaan, joka ulottuu 810 mm etäisyydelle. Robottin ohjausjärjestelmä on Intelligent Robot Controllerin eli IRC:n kehitysversio S4Cplus. Se toimii teollisuus-PC:n kaltaisen tietokoneen ympärillä. Ohjausjärjestelmän käyttöjärjestelmä on valmistajan kehittämä RobotWare OS.



Kuva 2. Teollisuusrobotti IRB-140, ohjausyksikkö ja käsiohjain.

Ohjausjärjestelmässä on kommunikointia ja lisälaitteita varten I/O- ja tiedonsiirtokortit. Käytettävissä on 16 kappaletta 24 V:n I/O-linjoja, jotka voidaan järjestelmäasetuksissa yhdistää ryhmiksi tai nimetä yksittäisiksi linjoiksi. Ryhmitellyillä I/O-linjoilla voidaan lähettää tai vastaanottaa numeerista tietoa. Tiedonsiirtoa varten on lisäksi kaksi RS-232C/422A-porttia sekä CAN-väylä. Ohjelmia voidaan sekä tallentaa että ladata levykkeellä tai lähiverkossa ftp-tiedostopalvelun välityksellä. Ohjausjärjestelmä on koteloitu yhdeksi yksiköksi, joka sisältää ohjaintietokoneen ja robotin akseleiden ohjauselektronikan.

Robottia ohjelmoidaan ja ohjataan kuvassa 3 esitellyllä Teach Pendant -ohjaimella, joka on yhdistetty kaapelilla ohjausyksikköön. Ohjaimessa on LCD-näyttö, numero- ja toimintanäppäimistö sekä sauvaohjain robotin paikoittamista varten. Käsi-ohjaimen käyttöliittymä on valikkorakenteinen. Ohjelmoitaessa käskyt valitaan valikosta ja niille syötetään tarvittavat parametrit numeronäppäimistöllä. Ohjelmat tallennetaan ASCII-muodossa, joten niitä voidaan tarkastella ja muokata PC-tietokoneen tekstieditorilla. Tällä tavalla työskenneltäessä ohjelmakoodi on helpommin luettavissa.



Kuva 3. Teach Pendant -ohjain.

Robotin ohjelmointikieli on nimeltään RAPID, ja se on sisällytetty RobotWare OS -käyttöjärjestelmään. Kieli on pitkän kehitystyön tulos, jossa tavoitteena on ollut tuoda teollisuusrobotin ohjelmointi lähemmäksi tavallista tietokoneohjelmointia. Kieli sisältää paljon valmiita algoritmeja teollisuuden käyttötarkoituksiin, kuten esimerkiksi hitsaukseen ja maalaamiseen. I/O- ja kommunikointiportteja sekä robotin paikka-koordinaatteja voidaan käsitellä symbolisten nimityksien avulla. Tästä on etua ohjelmoinnissa.

3 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ

Kappaletavara-automaation tyypillinen anturointi tunnustelee yleensä kappaleen läsnäoloa. Käytetyt anturit perustuvat mekaanisiin kytkimiin ja erilaisten sähköisten ominaisuuksien havaitsemiseen. Näillä menetelmillä voidaan tehdä loogisia päätelmiä kappaleen asennosta ja sijainnista. Robottijärjestelmissä tarvitaan konenäköä tavallinen anturoinnin osoittautuessa riittämättömäksi. Näköjärjestelmän tehtävät robottisovelluksissa jaetaan karkeasti kolmeen ryhmään:

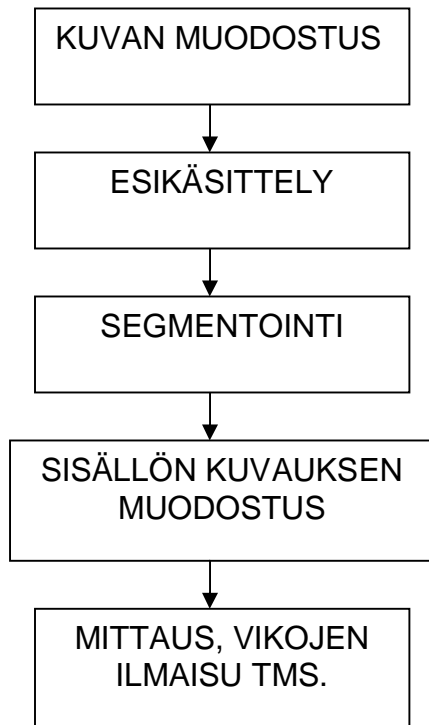
- kappaleen tai kohteen sijainnin määrittäminen eli translaation ja orientaation mittaus käsiteltävästä kohteesta
- luokittelu eli kohteen tunnistus ja luokittelu laadun, koon tai kohteessa sijaitsevan tekstin tai viivakoodin perusteella
- kohteen mittaus robotin liikeohjelman muokkaamiseksi tai luomiseksi [1, s. 56].

Tyypillinen konenäköjärjestelmä on koostunut kamerasta ja PC-tietokoneesta, joka sisältää kuvankaappauskortin, kameran konfigurointiohjelman, kuvankäsittely- ja analysointiohjelman sekä kommunikointiyhteydet ulkomaailmaan. Käytettävät ohjelmistot ovat voineet olla tiettyä sovellusta tai laitetta varten räätälöityjä uniikkeja ohjelmia. Tietotekniikan kehitys on mahdollistanut konenäköjärjestelmien integroinnin. Järjestelmien toiminnot on kehitetty toimimaan pienemmän sulautetun järjestelmän kaltaisen tietokoneen perustalle. Tällaisia etenkin automaatioalalla yleistyneitä järjestelmiä kutsutaan yleisesti älykamaroiksi.

3.1 Kuva-analyysi

Konenäöllä ymmärretään yleensä kuvan tuottamista kohteesta, sen käsittelyä sekä kuvauksen muodostamista useimmiten jonkin tietyn tehtävän suorittamista varten. Kuva-analyysillä tarkoitetaan konenäön yhteydessä yleensä kuvanmuodostuksesta

alkavaa toimenpiteiden sarjaa, jotka tehdään halutun lopputuloksen eli kuvan sisällön kuvauksen saavuttamiseksi. Kuva-analyysin vaiheet ovat usein sovelluskohtaisia. Seuraava kaavio esittelee kuva-analyysin yleisiä vaihteita. [3.]



Kuva 4. Kuva-analyysin vaiheet.

Kuva-analyysin ensimmäinen vaihe on kuvanmuodostus. Siinä kameran objektiivin läpi kulkeva valo täytyy muuttua sähköisellä signaalilla esitettävään muotoon. Kameran optiikka määrittelee muodostettavan kuvan laadun. Kuvan laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat valonherkkyys, kuvan terävyys ja kuva-alueen koko. Vallitsevat tekniikat kuvailmaisimien toteuttamiseen ovat CCD (Charge-Coupled Device) ja CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Kuvailmaisimien koostuu yksittäisistä ilmaisinelementeistä, jotka ovat rivi- tai matriisimuodossa. Ilmaisinelementti muuttaa siihen tuodun valon jännitteeksi. Kuvan sähköinen signaali muodostetaan yleisesti analogiseksi jännitemuodoksi, jonka vaihtelu esittää yhden ilmaisinerivin sisältämän kuvainformaation kerrallaan. Analoginen kuvasignaali täytyy muuttua digitaaliseen muotoon analyysin seuraavia vaihteita varten.

Esikäsitteilyllä tarkoitetaan menetelmiä, joilla pyritään parantamaan kuva-informaatiota myöhempää käsittelyä varten. Kuvan laatua voidaan parantaa vaimentamalla kohinaa tai korostamalla tiettyjä piirteitä. Usein on myös tarpeellista korostaa tiettyä kohdetta tai toisaalta vaimentaa taustaa. Seuraavassa vaiheessa kuvan kohteet ja tausta erotetaan toisistaan. Tätä kutsutaan segmentoinniksi. Sisällön kuvauksen muodostukseen liittyvät ratkaisut ovat sovelluskohtaisia. Niiden perusteella suoritetaan tarvittavat mittaukset ja vikojen ilmaisu. [3.]

3.2 Valaistus

Kohteen riittävä valaistus on kuvanmuodostuksen ja onnistuneen kuvan sisällön kuvauksen kannalta erittäin tärkeä asia. Kuvassa kohteen piirteet erotellaan taustasta kontrastilla, joka tarkoittaa kuvan harmaa- tai värisävyjen vaihtelua. Kontrasti on riippuvainen kohteesta, kuvailmaisimesta sekä valaistuksesta. Koneenässä täytyy usein pystyä kontrolloimaan kohteen valaistusta. Jos valaistusolosuhteet ovat epävakait, onnistunutta kuva-analyysiä ei yleensä pystytä suorittamaan. Esineen piirteet kuvassa voivat varioida siihen suunnatun valon suhteen, koska valoa heijastavat, absorboivat ja läpäisevät ominaisuudet vaihtelevat esineen pinnan muodosta sekä materiaalista riippuen. Oikein valitulla valaistuksella pystytään korostamaan tärkeitä piirteitä sekä samalla vähentämään kuvanmuodostuksen jälkeistä käsittelyä. Valaistustason muuttuminen aiheuttaa muutoksia kuvainformaatioon. Nämä muutokset saattavat vaikuttaa edelleen kuva-analyysin lopputulokseen. Tästä syystä valaistus täytyisi pitää mahdollisimman vakiona. [3.]

Nykyisin valaistukseen käytetään paljon Light Emitting Diode- eli LED-tekniikkaan perustuvia valaistuskomponentteja. LED-tekniikka on edullista, ja tarjolla on monipuolinen valikoima erilaisiin valaistusmenetelmiin sopivia komponentteja. Käytettävissä on erilaisia värejä sekä IR-alue. LED-valaistuskomponenteilla voidaan toteuttaa tasainen välkkymätön valaistus. Tässä työssä käytetään kameran objektiivin kaulukseen kiinnitettäviä rengasvalaisimia, joiden tuottama valo on väriltään punainen.

3.3 Omron F-210 Vision Sensor

Omron Electronics LLC:n valmistama F-210 Vision Sensor on nykyaikainen integroitu konenäköjärjestelmä, jossa kuvankaappaus, prosessointi ja tulosten käsittely on yhdistetty yhteen laitteeseen. Seuraavassa on esitelty laitteen valmistajan ilmoittamia tärkeimpiä ominaisuuksia [4.].

Järjestelmä koostuu keskusyksiköstä, kameroista sekä käsiohjaimesta, jotka on esitetty kuvassa 5. Lisäksi käyttöä varten tarvitaan videomonitori. Keskusyksikössä on RS-232/422-sarjaliitännät sekä rinnakkaisia digitaalisia I/O-linjoja 13 sisään ja 22 ulos. Laitteessa on liitäntä Compact Flash -tyyppisille muistikorteille. Niille voidaan tallentaa kuvia, mittaustuloksia sekä ohjelmia. Järjestelmän käyttöjännite on 24 VDC. Laitteen kotelo voidaan kiinnittää eri tavoilla tyypillisiin automaatiojärjestelmien kiinnityskiskoihin.



Kuva 5. Omron F210 Vision Sensor.

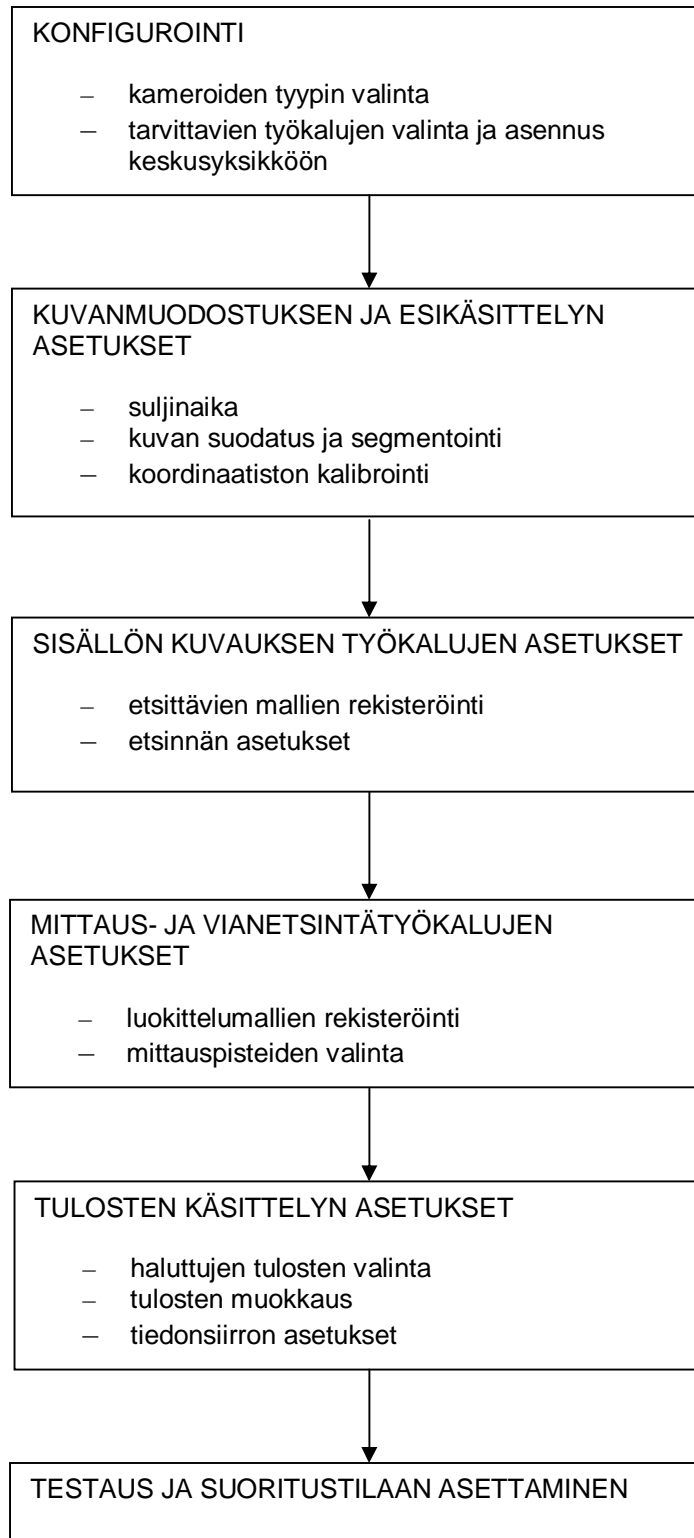
Kameroiden tyyppi on F150-S1A, ja niissä käytetään kolmasosatuuman kokoista CCD-ilmaisinta. Ilmaisimen todellinen resoluutio on 659 * 494 pikseliä, mutta kuva-alan koko on rajattu 518 * 484 :ään pikseliin. Käyttäjän valittavissa ovat suljinajat 1/100 s, 1/500 s, 1/2000 s ja 1/10 000 s. Suljin on elektroninen. Objektiivit ovat C-tyypin kierrekiinnityksellä varustettuja, ja niiden polttoväli on 16 mm. Tarkennus ja aukon säätö tehdään käsin. Asetukset voidaan lukita ruuveilla.

Laitteen käyttöjärjestelmä toimitetaan erillisellä muistikortilla, jolta käyttäjän valitsemat työkalut ladataan laitteen muistiin. Toiminta on automaattista, ja se noudattaa käytössä olevista työkaluista koostuvan ohjelman toimintavaiheita. Ohjelman suoritus voidaan käynnistää toisen laitteen lähettämällä liipaisupulssilla. Laitteen käyttö ja ohjelmien luonti tapahtuu näyttöruudulla valikoissa, joita käyttäjä ohjaa käsi-ohjaimella.

3.4 Kamerajärjestelmän käyttöönotto

Seuraavaksi käsitellään F210 Vision Sensorin käyttöönoton yleisiä työvaiheita sekä kuva-analyysin suorittamista. Esitetyt toimenpiteet ja ominaisuuksien kuvaukset perustuvat valmistajan ohjekirjoihin [5.].

Järjestelmällä on kolme eri toimintatilaa: SET-tila, jossa suoritetaan laitteen ohjelmointi, MON-tila, jossa voidaan testata ohjelman suoritusta, sekä RUN-tila, jossa laite suorittaa ohjelman. Näytön perusnäkyvässä ilmoitetaan valitun ohjelman nimi, toimintatila sekä ohjelman suoritus aika. Ohjelmaa ja toimintatilaa vaihdetaan viemällä kohdistin haluttuun kohtaan. Enter-näppäintä painamalla saadaan näkyviin valittavat vaihtoehdot. Järjestelmän toiminnan ja ohjelmoinnin tärkeimmät vaiheet on esitelty kuvassa 6.



Kuva 6. Omron F-210 Vision Sensor -järjestelmän toimintakaavio.

Konfigurointi

Ensimmäistä kertaa järjestelmää käynnistettäessä täytyy laitteeseen asettaa muistikortti, joka sisältää käyttöjärjestelmän. Tällöin laite käynnistyy automaattisesti alkuasetustilaan. Tässä tilassa valitaan ensimmäiseksi käytettävien kameroiden tyyppi. Laitteessa voidaan käyttää erilaisia kameroita. Tietyissä tyypeissä on käytettävissä kiinteästi asetettu älykäs valonlähde, jonka toimintaa voidaan ohjata kamerajärjestelmän kautta.

Seuraavaksi muistikortilta asennetaan käyttöjärjestelmä ja työkalut laitteen työmuistiin. Tarvittavat kuvankäsittelytyökalut, tulostenkäsittelytoiminnot sekä käytettävät tiedonsiirtomenetelmät valitaan näytöllä näkyvältä listalta. Koska kaikkia työkaluja ei voi ladata kerralla käyttömuistiin, täytyy tässä vaiheessa olla peruskäsitys suoritettavasta sisällön kuvauksesta ja siihen tarvittavista työkaluista.

Kuvanmuodostuksen ja esikäsittelyn asetukset

Kuvanmuodostuksen asetuksiin päästään SET-tilassa *Capture image* -kohdasta. Tässä vaiheessa valitaan suljinaika ja säädetään kamerasobjektiivin tarkennus sekä aukon koko sopivaksi. Kuvanmuodostuksessa yhdellä kameralla voidaan ottaa kaksi kuvaa: *image0* ja *image1*. Kuville voidaan asettaa erilaiset esikäsittelyasetukset, jolloin on mahdollista etsiä samasta kuva-alueesta erilaisia kohteita. Toisen kamerasobjektiivin kuvanmuodostus tehdään erikseen sen jälkeen kun ensimmäisen kamerasobjektiivin kuvien analysointi on valmis. Esikäsittelyä varten on käytettävissä seuraavat suodatukset:

- *Weak/Strong smoothing*, jota käytetään kohteen pinnan pienien epätasaisuuksien tasoittamiseen
- *Dilation* mustan kohinan poistamiseen valkoisesta kohteesta
- *Erosion* valkoisen kohinan poistamiseen mustasta kohteesta
- *Median*, joka poistaa pinnan epätasaisuuksia säilyttäen kohteen muodon
- *Edge enhancement*, joka korostaa kirkkaiden ja tummien alueiden välistä rajaa
- *Vertical edge extraction*, joka korostaa kohteiden pystysuoria reunoja
- *Horizontal edge extraction*, joka korostaa kohteiden vaakasuoria reunoja.

Valintaa tehtäessä suodatuksen vaikutus näkyy välittömästi näytöllä. Tarvittaessa suodatus voidaan toistaa valitsemalla *Filtering again* -toiminto.

Esikäsittelyä voidaan suorittaa myös *Background suppression* eli *BGS level* -työkalulla. Työkalulla säädetään kuvan histogrammin leveyttä eli sitä, kuinka monta eri harmaasävyä piirretään kuvaan. *BGS*-asetuksen alarajan alapuolelle jäävät pikselin sävyt saavat arvon 0, ja ylärajan yläpuolelle jäävät saavat arvon 255. Raja-arvojen sisälle jäävä alue kuvataan alkuperäisellä sävyn syvyysarvolla. Käyttäjä voi valita *Filtering order* -asetuksella, suoritetaanko suodatus ennen segmentointia vai sen jälkeen.

Koordinaatiston kalibroinnissa origoksi voidaan määrittää mikä tahansa piste kuvasta. Lisäksi koordinaatiston akselien asteikko voidaan määrittää kuvassa näkyvän kohteen tunnettujen mittasuhteiden mukaan. Kalibrointi suoritetaan yksilöllisesti kummallekin kameralle.

Sisällön kuvauksen työkalujen asetukset

Sisällön kuvausta varten on rekisteröidyn mallikuvan etsintään perustuvia työkaluja. Kuvaus voidaan suorittaa joko binarisoidusta tai harmaasävykuvasta. Työkalujen

käytön asetukset noudattavat peruskaavaa, jossa rekisteröidään malli ja rajataan etsintäalue kuvasta sekä asetetaan korrelaation eli mallin vastaavuuden raja-arvo. *Model position compensation* -työkalulla voidaan etsiä myös kohteita, jotka ovat kääntyneet mallikuvasta poikkeavaan asentoon. Asennon tunnistusta varten asetetaan kohteen kiertokulman askellus ja raja-arvot. Käytetyn askellusvälin tarkkuus ja kulma-alueen suuruus vaikuttavat mittauksen suoritusajkaan.

Mittaus- ja vianetsintätyökalujen asetukset

Järjestelmän mittaustyökaluilla suoritetaan lisää tulkintoja kuvan sisällöstä. Kuvasta voidaan etsiä rekisteröityjen mallien avulla yksityiskohtia tai suorittaa mittauksia koordinaatistolla kuvan piirteiden perusteella. Mittauksia ja vianetsintää varten on käytettävissä sekä binarisoituja että harmaasävykuvia käsitteleviä työkaluja. Saatavat mittaustulokset ovat numeerisia arvoja tai tiettyyn tulokseen perustuvia hyväksytyt/ei-hyväksytyt -vastauksia.

Tulosten käsittelyn asetukset

Mittaustuloksia voidaan käsitellä matemaattisesti, jolloin saadaan yksityiskohtaisia arvoja käyttäjän haluamassa muodossa. Lisäksi tuloksista voidaan muodostaa loogisia päätelmiä, joilla ohjataan esimerkiksi digitaalisten lähtösignaalien tiloja. Tiedonsiirtomenetelmiä on tarjolla sarja- ja rinnakkaisliikennettä varten. Mittaustulosviestin muoto voi olla joko binaarinen tai ASCII-tyyppinen merkkijono. Haluttaessa niitä voidaan myös tallentaa muistikortille.

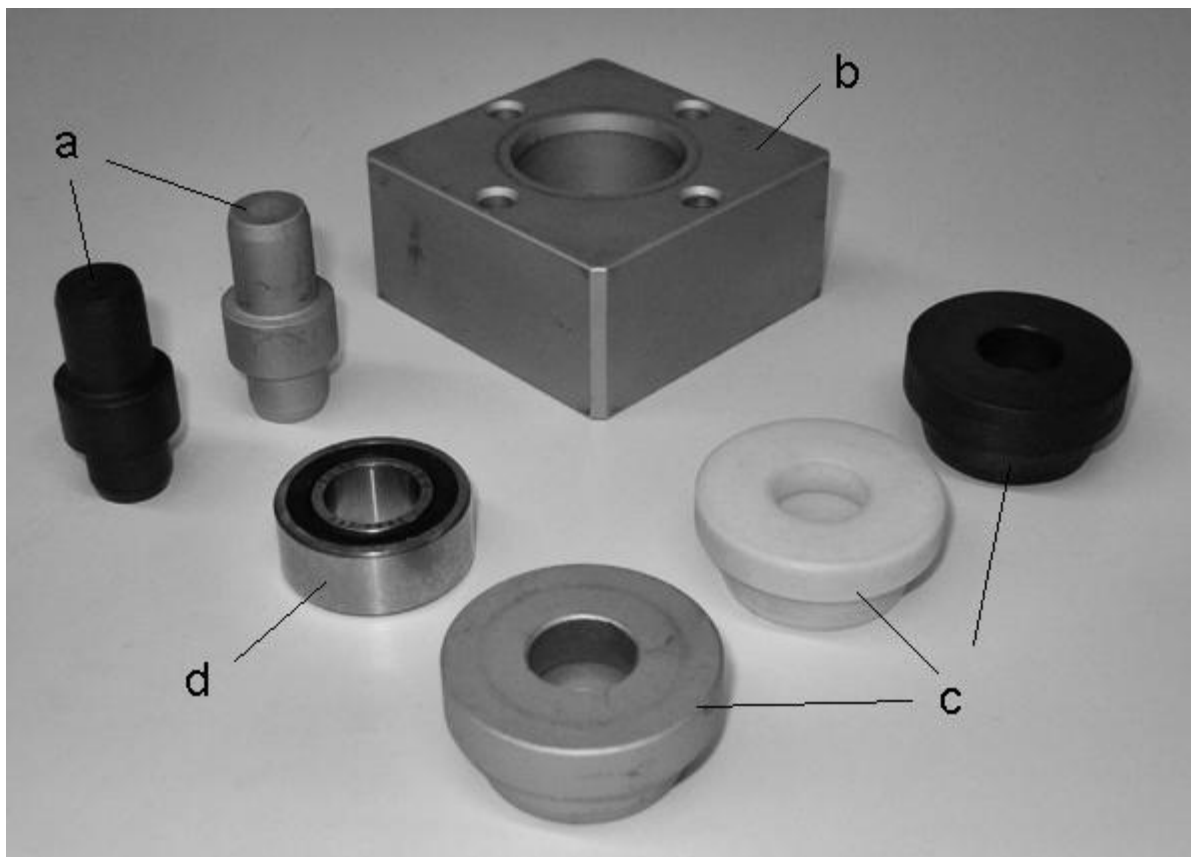
Testaus ja suoritustilaan asettaminen

Ohjelmaa voidaan testata järjestelmän ollessa MON-tilassa. Tällöin laite suorittaa kaikki ohjelman toimenpiteet lukuun ottamatta tiedonsiirtoa. Eri työkalujen tulokset ilmoitetaan näytöllä, josta käyttäjä voi tarkkailla ohjelman kulkua. RUN-tilassa laite on täysin toiminnallisessa suoritustilassa. Ohjelma käynnistetään sekä MON- että

RUN-tilassa joko manuaalisesti käsiohjaimen TRIG-näppäimellä tai automaattisesti digitaaliseen STEP IN -tulolinjaan tuodulla jännitepulssilla.

4 KONENÄKÖSOVELLUKSEN KEHITTÄMINEN

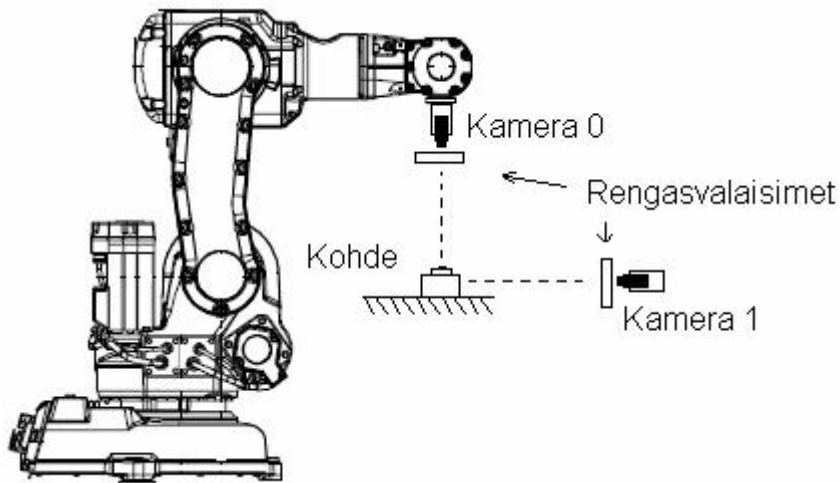
Työn tavoitteena oli kehittää sovellus, joka paikantaa kuva-analyysin avulla tuotteen, luokittelee sen ja lähettää tulokset robotille. Robotin tulee osata tuloksien avulla tarttua kappaleeseen ja tehdä luokitteluun perustuvia jatkotoimenpiteitä. Jotta kappaleeseen voitaisiin tarttua, tarvitaan tietää sen sijainti ja asento suhteessa robotin työkalun asemaan. Luokittelutieto muodostetaan kuvasta, jossa kohteen piirteet vaihtelevat tuotteen osien materiaalien myötä. Käytettyjä materiaaleja ovat musta ja valkoinen muovi sekä harmaa metalli. Osat on esitelty kuvassa 7.



Kuva 7. Akseli (a), laakeripesä (b), laakeripesän kansi (c) ja laakeri (d).

4.1 Laitteiston kokoonpano

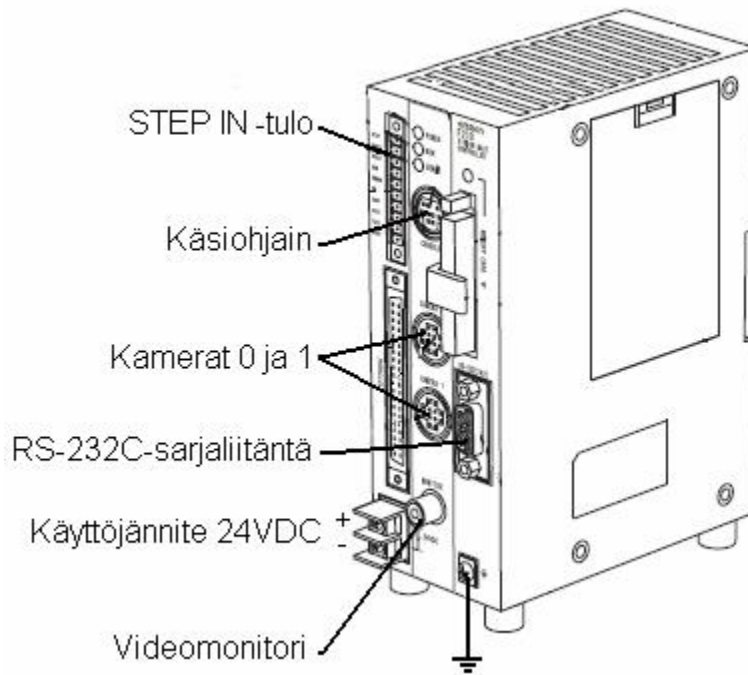
Laitteiston kokoonpano on kuvan 8 mukainen. Siinä ABB Automation Technologies AB:n valmistamaan teollisuusrobottiin on lisätty tässä työssä käytetty konenäköjärjestelmä. Kamera 0:n ylhäältä päin muodostetun kuvan avulla määritetään tuotteen asento ja sijainti sekä luokitellaan osat. Kamera 1:n ottamasta kuvasta mitataan tuotteen korkeus.



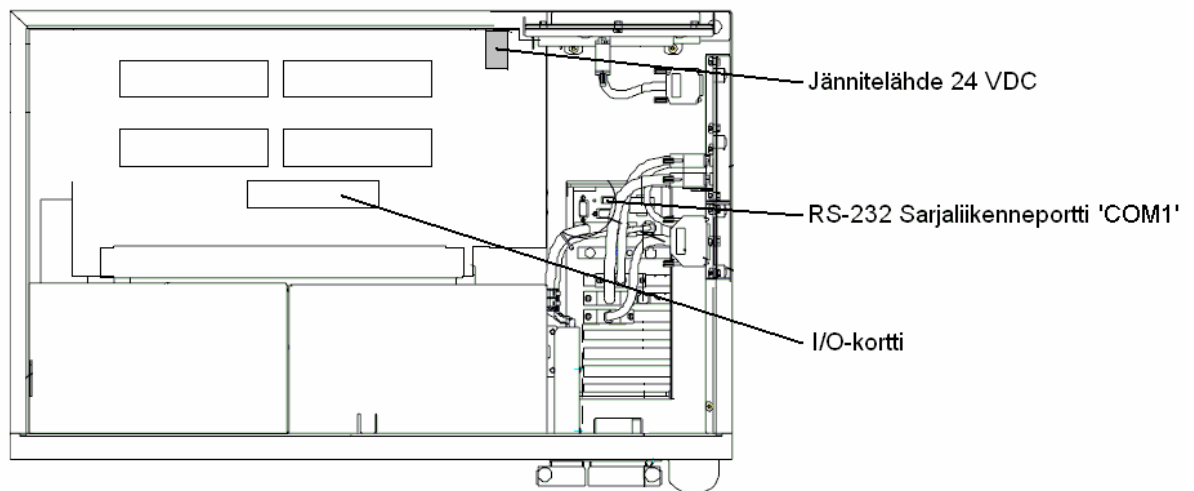
Kuva 8. Kameroiden sijoittelu.

Kamerajärjestelmän ja robotin ohjaimen kytkennät

Kamerajärjestelmän osat on kytketty laitteen keskusyksikköön kuvan 9 mukaisesti. STEP IN -tulo eli kamerajärjestelmän liipaisusignaali kytkettiin robotin ohjausjärjestelmän I/O-kortin lähtölinjaan. Sarjaliikennekaapeli kytkettiin COM1-porttiin ja käyttöjännite ohjauskaapin tasajännitelähteeseen. Robotin liitäntäpisteet sijaitsevat kuvan 10 mukaisesti ohjainkaapin yläosassa avattavan huoltoluukun alla.



Kuva 9. Kamerajärjestelmän kytkennät [4].

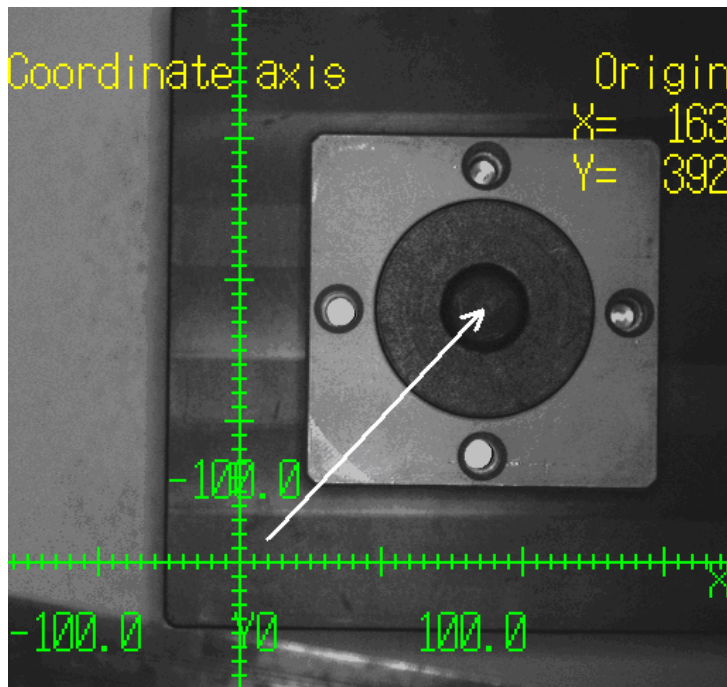


Kuva 10. Robotin ohjausjärjestelmän liitännät [2].

4.2 Kameran ja robotin koordinaatistojen sovitus

Kamerajärjestelmän kuvan koordinaatisto voidaan suhteuttaa tiettyyn mittakaavaan, jolloin kuvan mittaustuloksia pystytään ilmoittamaan fyysisinä arvoina. Tämän lisäksi koordinaatiston origon sijainti on mahdollista valita vapaasti.

Älykamerajärjestelmässä käytetty koordinaatiston kalibrointimenetelmä oli kuvan 11 mukainen. Siinä koordinaatiston origo siirrettiin kuva-alueella akseliosan keskikohtaan. Asteikko asetettiin kuvassa näkyvän laakeripesän fyysisten mittasuhteiden mukaan.



Kuva 11. Koordinaatiston kalibrointi origon sijainnin mukaisesti.

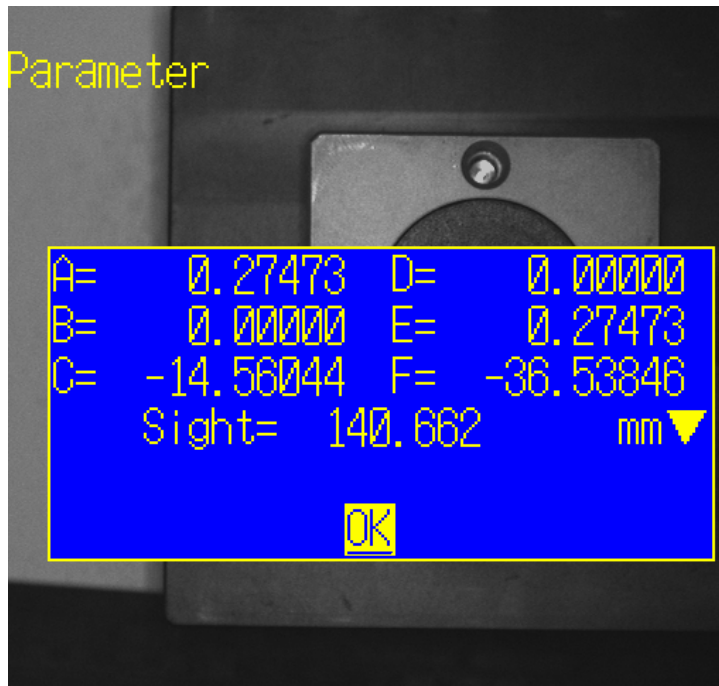
Kun asetukset oli tehty, järjestelmä laski koordinaatiston muunnoksen kaavojen

$$X' = A \times X + B \times Y + C$$

ja

$$Y' = D \times X + E \times Y + F$$

mukaan, missä X' ja Y' ovat kalibroidut koordinaatit, X ja Y ovat kuvan koordinaatit, sekä A , B , C , D , E ja F ovat muunnoskertoimia [5]. Järjestelmä ilmoitti muunnoskertoimet ja kuva-alan leveyden kuvan 12 mukaisesti.



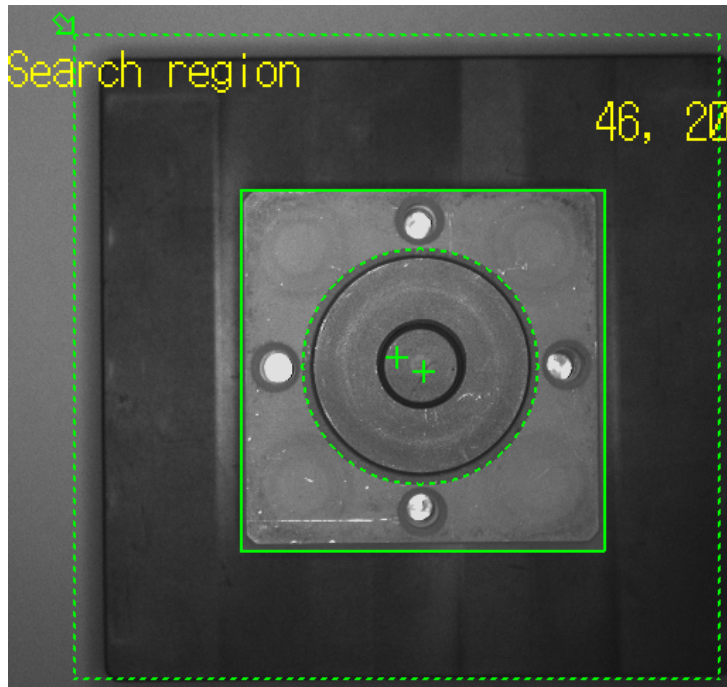
Kuva 12. Koordinaatistomuunnoksen parametrit.

Seuraavaksi robotin käsivarsi siirrettiin xy-suunnassa samaan kohtaan, johon kuvan koordinaatiston origo asetettiin. Tämä sijainti talletettiin muuttujaksi robotin ohjelmaan. Näin muodostettiin yhteys kuvan ja robotin koordinaatistojen välille. Yhteyttä käytettiin myöhemmin hyväksi robotin liikkeiden ohjelmoinnissa.

4.3 Tuotteen sijainti ja luokittelu

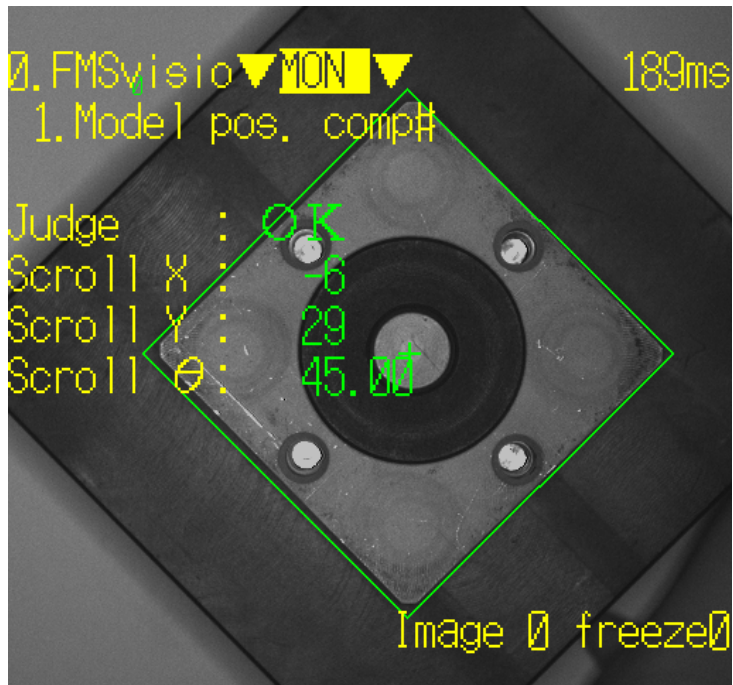
Tuotteen sijainti määritettiin *Model position compensation* -työkalulla. Työkalu konfiguroitiin valitsemalla aluksi mallikuvaksi rekisteröitävä kohde kuva-alueelta. Seuraavaksi asetettiin kuva-alueelle etsintäalue, josta mallia ohjelman suoritusvaiheessa

etsitään. Etsintäalueen koolla voidaan vaikuttaa työkalun tarvitsemaan suoritus-aikaan. Mallikuvan ja etsintäalueen rajaukset on esitetty kuvassa 13.



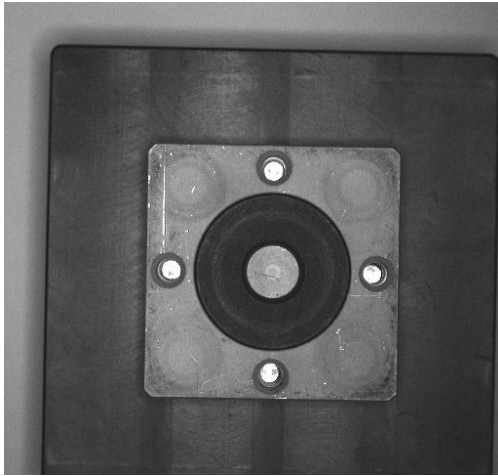
Kuva 13. Model position compensation -työkalun mallikuvan ja etsintäalueen rajaus.

Suoritusvaiheessa työkalu ilmoittaa kuvan 14 mukaisesti kohteen sijainnin kalibroidussa koordinaatistossa sekä kohteen kiertokulman asteina. *Judge*-termi ilmoittaa, onko kuvasta löytynyt vastaavuus rekisteröidylle mallille. Epäonnistuneesta suorituksesta vastaukseksi ilmoitetaan *OK*:n sijasta *NG*, *Not Good*.

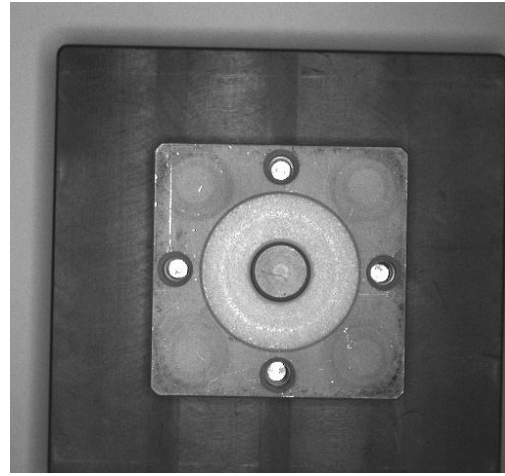


Kuva 14. Kohteen etsintä Model position compensation -työkalulla.

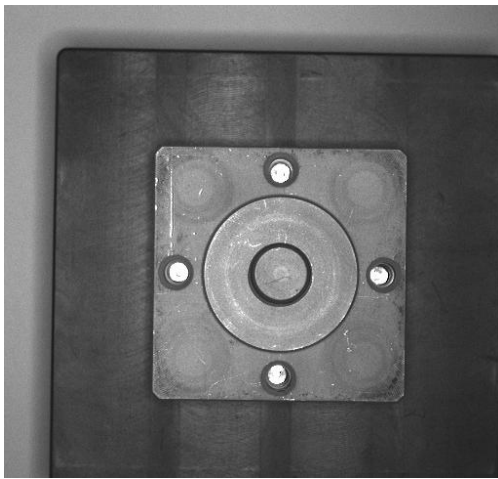
Seuraavaksi luokiteltiin tuote. Valmiin tuotteen kansi ja akseli ovat kuvan 15 mukaisesti kuvaussuunnasta katsottuna kahtena sisäkkäisenä ympyränä neliönmuotoisen laakeripesän keskellä. Luokittelutiedon muodostamista varten täytyi nämä kohteet tunnistaa kuvasta ja erotella niiden eri materiaalit toisistaan.



(a)



(b)

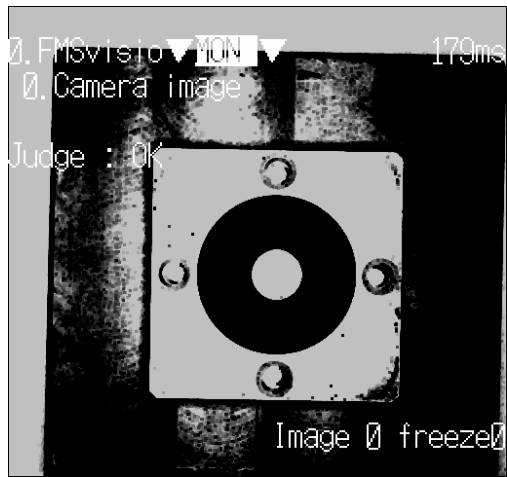


(c)

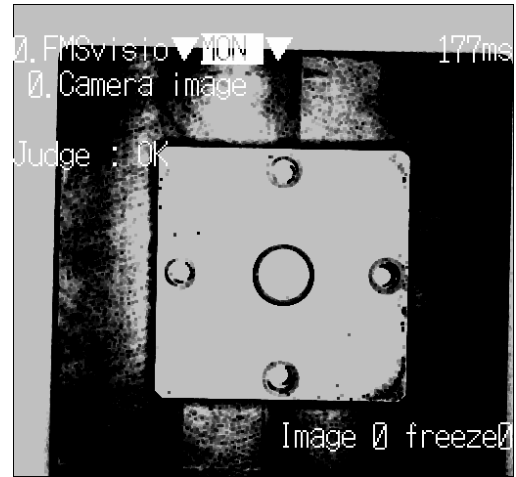
Kuva 15. Tuotteen erilaiset kansiosat: musta (a) ja valkoinen (b) muovi sekä harmaa metalli (c).

Kokeilujen perusteella havaittiin, että valkoisen muovista valmistetun ja harmaan metalliseoksesta valmistetun kappaleen harmaasävyjen erottaminen toisistaan on hankalaa. Merkittävä ero valkoisen ja metallisen kappaleen välillä löytyi kuvan esikäsittelyasetuksia muuttamalla. *BGS level* -asetuksen raja-arvot säädettiin kuvaamalla vuorotellen kaikkia eri kansiosia. Kun raja-arvot säädettiin tietylle kapealle alueelle, huomattiin, että muovinen valkoinen kansiosa katosi täysin taustaan. Har-

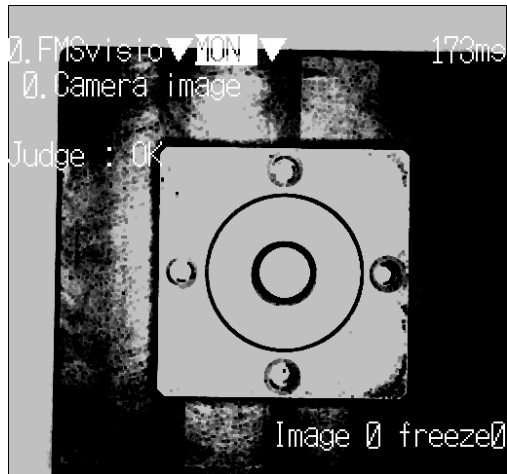
maan metallisen kannen ulkoreunan viiste sen sijaan näkyi selvästi mustana kuvassa. Kuvaan lisättiin vielä eroosio-suodatus, jolla saatiin korostettua kohteiden mustana näkyviä piirteitä. Näillä kuvan esikäsittelymenetelmillä saatiin tuotua esiin kuvassa 16 esitetyt erot eri materiaalien välillä. Tämän jälkeen otettiin käyttöön *classification#*-työkalu, jonka mallien rekisteröintiä varten tuote kuvattiin jokaisella kansivaihtoehdolla. Mallit rajattiin kuvan 17 esittämällä tavalla.



(a)

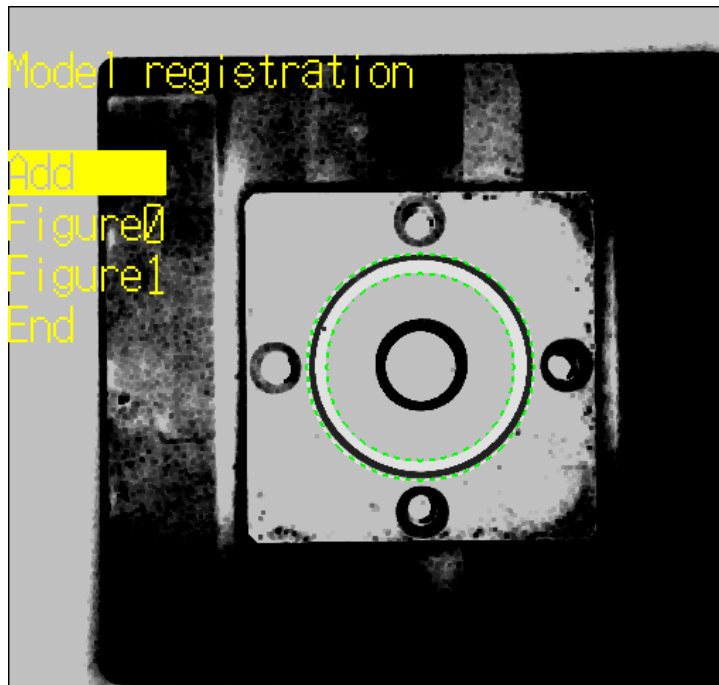


(b)



(c)

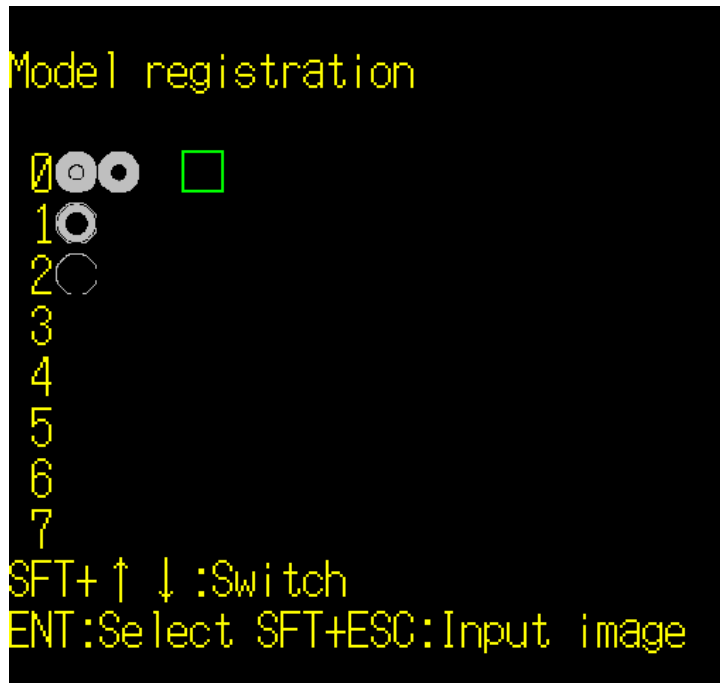
Kuva 16. Musta (a), valkoinen (b) ja harmaa (c) kansiosa kuvan esikäsittelyn jälkeen.



Kuva 17. Metallisen kansiosan mallikuvan rekisteröinti.

Kuvassa 17 esitetty mallikuva muodostuu kahdesta kuviosta: *figure0* ja *figure1*. *Figure0* määrittää mallikuvan ulkoreunan, ja *figure1* määrittää rajatun alueen sisäpuolisen osan, joka ei sisälly mallikuvaan. Lopulliseksi mallikuvaksi on siten muodostunut rengasmaisen alue, jossa näkyy mustana kuvattu kansiosan reunaviiste. Renkaanmuotoista mallikuvaa käytettäessä akseliosan sävy ei vaikuta lopputulokseen.

Mallit kerättiin kuvan 18 mukaiseen luetteloon. Siinä numeroidut rivit kuvaavat eri luokituksia. Jokaiseen luokkaa voidaan rekisteröidä viisi erilaista mallikuvaa. *Classification#*-työkalu antaa tulokseksi luettelon mukaisen indeksinumeron.



Kuva 18. Mallikuvien luettelo.

Akseliosat luokitellaan myös *classification#*-työkalulla. Asetukset tehtiin samalla tavalla kuin kansiosan kohdalla. Luokittelumalleiksi kuvattiin ympyrän muotoiset alueet molempien materiaalien kohdalla.

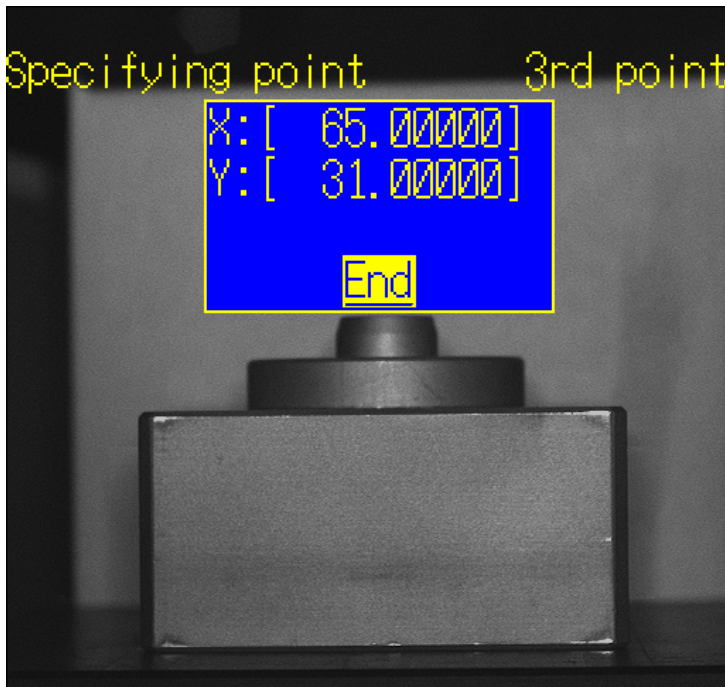
4.4 Kohteen korkeuden mittaus

Korkeusmittauksen antama tulos mahdollistaa tuotteen paikoituksen ilmoittamisen kolmiulotteisesti. Tuotteen korkeuden määrittäminen suoritettiin kuvaamalla tuote työtasolle vaakasuoraan asentoon kiinteästi asennetulla kameralla. Kuvan koordinaatisto kalibroitiin tuotteen fyysisten mittasuhteiden mukaan, jolloin saatu mittaustulos ilmoitti korkeuden millimetreinä. Mittaustuloksen perusteella voidaan lisäksi tehdä päätelmä siitä, onko akseli asennettu kokoonpanovaiheessa oikein päin. Jos akseli on väärinpäin, sen yläosan lakipiste on matalammalla.

Kameran koordinaatiston kalibrointi

Koordinaatiston kalibrointiin käytettävässä menetelmässä kuva-alueelta valitaan kolme pistettä, ja annetaan niille mielivaltaiset x- ja y-akselien arvot. Näiden pisteiden avulla järjestelmä suorittaa koordinaatiston muunnoksen.

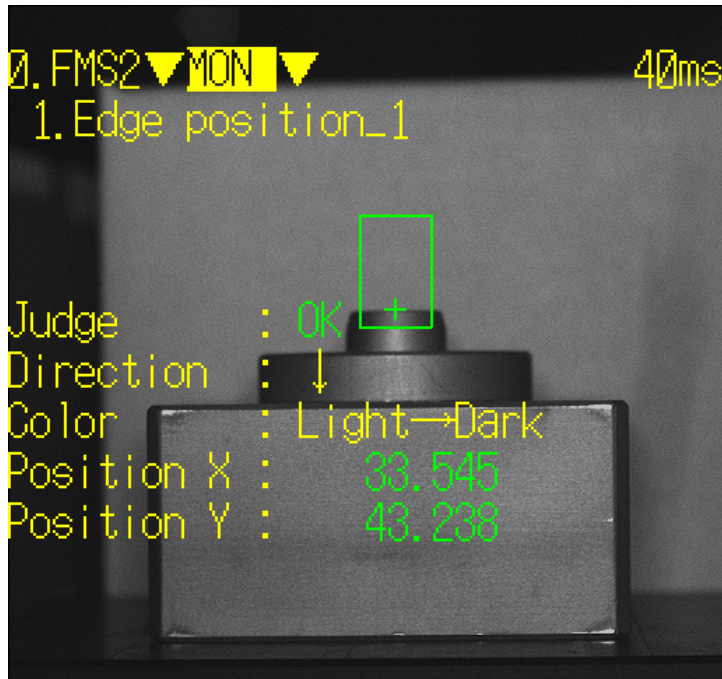
Kolme pistettä määritettiin kuvatun tuotteen fyysisten mittasuhteiden avulla. Ensimmäinen piste asetettiin laakeripesän vasempaan alakulmaan, ja se merkittiin koordinaatiston origoksi. Seuraava piste asetettiin laakeripesän oikeaan alakulmaan. X-suuntaisen koordinaatin arvoksi annettiin nolla, ja y-suuntaisen koordinaatin arvoksi laakeripesän leveyden mitta. Kolmas piste asetettiin oikeaan yläkulmaan. Sen x-suuntaisen koordinaatin arvoksi annettiin jälleen laakeripesän leveys, ja y-suuntaisen koordinaatin arvoksi laakeripesän korkeus. Kuvassa 19 on esitetty kolmannen pisteen koordinaatit.



Kuva 19. Koordinaatiston kalibrointipisteen asettaminen.

Korkeuden mittaus tehtiin *Edge Position Compensation* -työkalulla, joka tarkastaa kuvasta halutulta alueelta harmaasävyn muuttumisen rajakohdan sijainnin.

Sävynmuutoksen etsintä voi tapahtua pysty- tai vaakasuunnassa, ja etsinnän kohteena voi olla vaihdos tummasta vaaleaan tai päinvastoin. Tulokseksi saadaan kuvassa 20 esitetty rajakohdan sijainti y-akselilla.



Kuva 20. Tuotteen akselin yläreunan sijainnin määrittäminen.

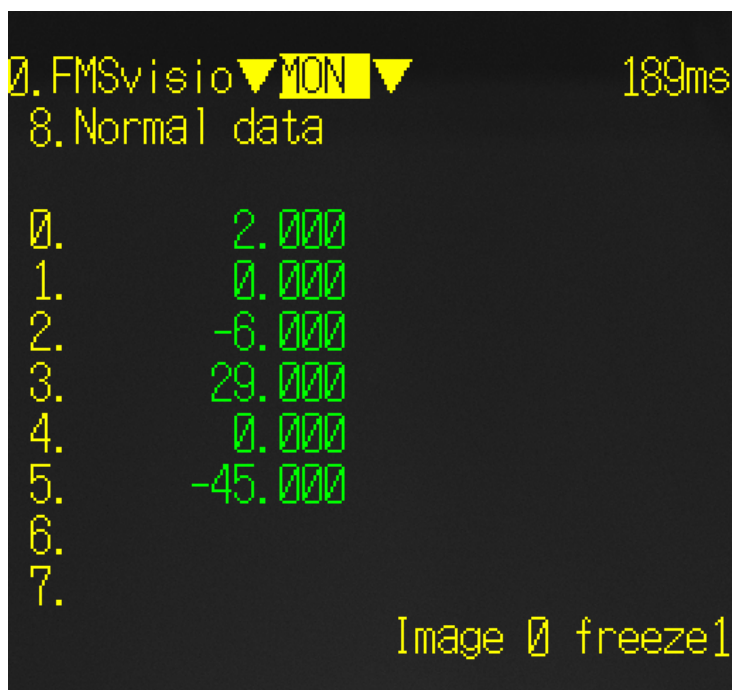
4.5 Kommunikointi robotin kanssa

Lähetettävät tulokset valitaan *Results output* -työkalulla. Tarvittavat mittaustulokset on koottu tietokenttiin taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Robotille lähetettävät mittaustulokset.

Tietue	Selitys
0	kansiosan luokittelun indeksiarvo
1	akseliosan luokittelun indeksiarvo
2	kohteen sijainnin poikkeama x-suunnassa
3	kohteen sijainnin poikkeama y-suunnassa
4	tuotteen korkeus
5	tuotteen asennon kiertokulma

Kuvassa 21 on esitelty työkalun näkymä ja tietueiden sisältö. Kommunikointiin käytettiin *Normal data* -työkalua, joka lähettää sarjaportin kautta valitut tiedot ASCII-merkkijonona. Tiedonsiirtoon käytettiin RS-232C-sarjaliikenneporttia.



Kuva 21. Results output -työkalun tietokentät.

4.6 Robotin ohjelmointi

Robotin ohjelmoinnin tavoitteena oli mahdollistaa sarjamuotoisen viestin vastaanottaminen ja sen sisältämän tiedon käyttäminen robotin paikoitukseen sekä toimin-

nan ohjaukseen. Paikoitus- ja asentotietoa käytetään työkalupisteen liikuttamiseen kohteeseen siten, että tuotteeseen voidaan tarttua. Luokittelutietoa käytetään, kun tuote puretaan ja eri osat viedään omille paikoilleen.

Ohjelman kulku

Alkutilanteessa robotti vie sille opetettuun sijaintiin, jossa käsittelyyn poimittava tuote kuvataan. Kun robotti on sijoittunut tähän kohtaan, ohjelma pyytää kamerajärjestelmää käynnistämään oman ohjelmansa. Tässä vaiheessa robotti jää odottamaan älykameran hankkimaa informaatiota. Saatuaan tiedot robotti tekee tarvittavan korjauksen paikoitukseen ja suorittaa sen jälkeen tuotteen purkamisen. Osat puretaan saadun luokittelutiedon mukaisesti omille paikoilleen odottamaan uudeen tuotantoon sijoittamista.

Kommunikointi kamerajärjestelmän kanssa

Sarjaportin ja I/O-kortin asetukset tehtiin järjestelmäparametreihin. Yksi digitaalilähtö nimettiin älykameran liipaisusignaaliksi ja sarjaliikenneportiksi valittiin COM1. Kamerajärjestelmän lähettämän ASCII-muotoisen merkkijonon purkamista varten suunniteltiin apuohjelma, joka erottelee viestistä jokaisen tietokentän sisällön ja muuttaa ne numeeriseen tietomuotoon.

Käsivarren paikoitus

Kamerajärjestelmä ilmoittaa tuotteen paikoituksen poikkeaman omassa koordinaatistossaan. Koska konenäköjärjestelmän koordinaatisto on kalibroitu suhteessa robotin työkalupisteeseen, ja akseleiden asteikko on sidottu kohteen fyysisiin mittasuhteisiin, voidaan tulokset ilmoittaa millimetreinä. Tässä muodossa olevaa tietoa voidaan hyödyntää käyttämällä robotin *MoveL Offset*-liikekäskeyä, joka liikuttaa käsivartta lineaarisesti halutun määrän tiettyyn suuntaan. Liikkeen alkupisteenä käytetään robotin muistiin tallennettua sijaintimuuttujaa. Käskyn yleinen muoto on

```
MoveL Offs(rt1, x, y, z), v1000, z50, tool0;
```

missä muuttuja *rt1* on robotin alkusijainti, *x*, *y* ja *z* ovat aseman poikkeutusarvot, *v1000* on nopeus ja *tool0* käytettävä työkalukoordinaatisto. Muuttuja *rt1:n* tietotyyppi on *robtarget*. Sen sisältö on yleisesti

$$rt1 := [[x, y, z], [q1, q2, q3, q4], [cf1, cf4, cf6, cfx], [eax_a, eax_b, eax_c, eax_d, eax_e, eax_f]]$$

missä *x, y* ja *z* ilmoittavat aseman maailmakoordinaatistossa ja *q(1...4)* ilmoittaa vektorina työkalupisteen orientaation maailmakoordinaatistossa. Termit *Cf1, cf4, cf6* ja *cfx* ovat vakio muuttujia, joilla määritellään robotin akselikonfiguraatio. Muuttujat *eax_(a...f)* ilmoittavat ulkopuolisten akseleiden asennon kulma-asteina. [6.]

Käsivarren kääntäminen kohteen kiertokulman mukaan suoritetaan *MoveAbsJ*-käskyllä. Tämä käsky liikuttaa robotin käsivarren niveliä kulma-asteina ilmoitettujen arvojen mukaisesti. Käskyn yleinen muoto on

```
MoveAbsJ jt1, v1000, z50, tool0; ,
```

missä muuttuja *jt1* ilmoittaa käsivarren nivelten asennon kulma-asteina. [7, s.149.]

Muuttuja *jt1:n* tietotyyppi on *jointtarget*. Sen sisältö on yleisesti

$$jt1 := [[rax_1, rax_2, rax_3, rax_4, rax_5, rax_6], [eax_1, eax_2, eax_3, eax_4, eax_5, eax_6]]$$

missä *rax_(1...6)* ovat robotin akseleiden asennot, ja *eax_(1...6)* ovat robotin ulkopuolisten akseleiden asennot kulma-asteina ilmoitettuna [6, s. 229].

Akselin ja kannen luokittelutietoja käytetään ohjaamaan ohjelman kulkua. Luokittelutiedoilla valitaan jokaiselle robotin poimimalle osalle tietyt toimenpiteet. Tällainen

toimenpide voi olla esimerkiksi opetettuihin liikkeisiin ja tarttujatyökalun käyttöön perustuva purettujen osien lajittelu.

5 TESTAUS JA TULOSTEN TARKASTELO

Tätä työtä aloitettaessa sekä robotti että konenäköjärjestelmä olivat molemmat uusia laitteita Kajaanin ammattikorkeakoulussa. Niiden käytön opettelu oli merkittävä vaihe työssä, jonka tavoitteena oli toimivan konenäkösovelluksen kehittäminen. Käytännössä opettelu ja laitteisiin tutustuminen tapahtui niiden erilaisia ominaisuuksia testaamalla ja sovelluksen kehitysvaiheessa meneteltiin usein samalla tavalla.

Kehitysvaiheessa oli välttämätöntä käyttää erillistä testausympäristöä, koska robotin käsivarteen liitettävä kamerateline valmistui vasta työn loppuvaiheessa. Testausympäristössä kameroiden kiinnitys toteutettiin tavallisilla kamerajalustoilla siten, että tuote asetettiin pöydälle ja sen yläpuolelle sijoitettiin jalusta, johon robottivarteen tarkoitettu kamera kiinnitettiin. Tuotteen korkeutta mittaava kamera kiinnitettiin lattialla seisovalle jalustalle ja suunnattiin kohti tuotetta.

5.1 Sovellusten testaus

Omron F210 Vision Sensorin ohjelmointi noudattaa tiettyä järjestystä, jonka mukaisesti sovelluksen kehittämisvaiheessa toimittiin. Alkutilanteessa oli alustava suunnitelma kuva-analyysistä ja ohjelman vaiheista. Tämän jälkeen muodostettiin tarvittavat työkalut sisältävä ohjelmarunko. Kun yksittäinen työkalu liitettiin ohjelmaan, tehtiin samalla sen tarvitsemat asetukset. Haluttujen tulosten saaminen vaati yleensä työkalun testausta ja asetusten muokkaamista. Luokittelun toimivuus testattiin vaihtelemalla tuotteen osia. Kohteen mittausta ja paikantamista sen sijaan testattiin kääntelemällä ja siirtelemällä tuotetta. Jokainen kuva-analyysin vaihe testattiin aluksi yksittäisenä. Kun riittävä toimintavarmuus oli saavutettu, testattiin ohjelmaa kokonaisuutena.

Robotin ohjelmaa kehitettiin ja testattiin kahdessa vaiheessa. Aluksi keskityttiin käsivarren liikuttamiseen ja kehitettiin aliohjelma, jolla Teach Pendantin näppäimistöä

voitiin antaa arvoja käsivarren asennon poikkeutusta varten. Tämä aliohjelma voitiin helposti muuntaa vastaanottamaan tiedot sarjaportista, ja siten se voitiin liittää konenäkösovelluksen ohjelmaan. Toisessa vaiheessa kuva-analyysin kehitys oli päättynyt ja käsivarren kameran kiinnike oli valmistunut. Tässä vaiheessa kytkettiin järjestelmien välille tarvittavat tiedonsiirtolinjat ja testattiin niiden toimintaa yhdessä. Tuotteen asentoa muutettiin ja tarkasteltiin siitä seurannutta robotin käsivarren aseman muutosta.

5.2 Tulosten tarkastelu

Testauksessa kävi ilmi, että laboratorion valaistuksella oli suuri vaikutus kuva-analyysin onnistumiseen. Loisteputkista aiheutuva välkyntä osoittautui niin haitalliseksi, että valaistus jouduttiin sammuttamaan täysin siitä osasta laboratoriota, jossa robotti sijaitsee. Loisteputket välkkyvät verkkojännitteestä johtuvalla 100 Hz taajuudella. Koska kameroissa käytettävä valotusaika oli $1/2000$ s, oli väistämätöntä, että kuvan otto osui sellaisiin hetkiin, jolloin valaistusvoimakkuus oli liian heikko. Tällaisessa tapauksessa kuvasta tuli niin tumma, että siitä ei pystytty erottelemaan tarkasteltavia piirteitä. Niiden työkalujen kohdalla, joiden toiminta perustuu rekisteröitäviin mallikuviiin, oli tärkeää, että valaistusolosuhteet pysyvät mahdollisimman vakaina. Näissä tapauksissa varmuutta pyrittiin parantamaan muuttamalla mallikuvan korrelaatioarvoa. Jos korrelaatio oli liian alhainen, esimerkiksi luokittelun tapauksessa, työkalu ei pystynyt erottelemaan tuotteita toisistaan ja ilmoitti väärän indeksiarvon. Toisaalta liian korkealla korrelaatiolla työkalu ei löytänyt ollenkaan vastaavia piirteitä kuvasta.

Tuotteen korkeuden mittaukseen käytetty menetelmä toimi hyvin. Oleellista mittauksen onnistumisessa oli, että tuotteen taakse asetettiin taustaksi esine, jonka pinta oli mahdollisimman tasainen ja sävyltään riittävän vaalea, jotta järjestelmä pystyi erottamaan siitä tuotteen osat. Testausvaiheessa käytettiin taustana valkoista paperia.

Lopullista laitteiston kokoonpanoa testattaessa löytyi toinenkin valaistukseen liittyvä ongelma. Testauksessa huomattiin, että vaakatasoon kiinnitetystä valaisimesta tuleva valo muutti erityisesti harmaan kansiosan kohdalla kohteen piirteitä. Valon vaikutuksesta luokittelun perustana ollut osan reunaviiste ei erottunut kuvasta kokonaan, vaan noin puolet rengasmaisesta kuviosta muuttui vaaleaksi. Valaisimen vaikutusta ei pystytty kumoamaan esikäsitteilyn asetuksia muuttamalla. Luokittelu saatiin kuitenkin toimimaan sen jälkeen, kun mallikuvat rekisteröitiin uudelleen.

Luokittelun onnistumiseen vaikutti testauksessa myös tuotteen osien puhtaus. Erityisesti rasvatahrat näkyivät kuvissa tummina sävyinä, ja niistä aiheutui usein tarpeetonta mallikuvan korrelaatioarvon laskua. Erityisesti harmaat osat likaantuivat helposti niitä käsiteltäessä. Osien pinnalle on tarttunut likaa FMS-200 -tuotantojärjestelmän eri työvaiheissa sekä käsin niitä kosketeltaessa.

Älykamerajärjestelmän ilmoittamien koordinaattien mukaan tapahtuvaan robotin liikuttamiseen liittyy epätarkkuutta. Se johtuu kameran koordinaatiston kalibrointiin käytetystä menetelmästä, jossa käyttäjä asettaa koordinaatiston origon haluttuun kohtaan ja sovittaa sen asteikon kohteen mittasuhteiden mukaan. Koordinaatistojen yhteensovittamisessa on tärkeää, että robotin työkalupiste pystytään mahdollisimman tarkasti kohdistamaan kohtaan, joka toimii kameran koordinaatiston origona. Koska tarttujajärjestelmä ei ollut vielä valmis, tätä vertailupistettä ei voitu asettaa riittävän tarkasti. Tästä johtuen työssä ei ollut mahdollista tarkastella robotin liikkeenohjauksen epätarkkuutta. Edellä mainittua lukuun ottamatta, kaikki vaatimukset täytettiin niin kuva-analyysin kuin robotinkin toiminnan kannalta.

5.3 Järjestelmän jatkokehitystarpeet

Robottia ja kehitettyä konenäkösovellusta on tarkoitus käyttää laboratorioharjoitustöissä. Tällöin olisi suotavaa, että laboratoriossa voitaisiin pitää valot päällä. Koska järjestelmässä käytettävien rengasvalaisimien avulla ei pystytä kumoamaan loisteputkien välkynnän vaikutusta, opiskelijoiden harjoitustöitä varten tuotteen luokitteluvaatimuksia voitaisiin muuttaa siten, että siinä huomioitaisiin ainoastaan

mustat kansi- ja akseliosat. Tällöin tarvittava esikäsittely olisi yksinkertaisempi, ja ohjelma toimisi riittävällä varmuudella, vaikka loisteputkivalaisimet olisivatkin käytössä.

Vaakatasoon suunnatun valon häirtävaikutuksen eliminoimiseksi on mahdollista kehittää joko robotin tai konenäköjärjestelmän ohjaama toiminto, joka kytkee valaisimet päälle vain määrätyksi ajaksi. Tällöin kuva-analyysiä häiritsevä valolähde voitaisiin sammuttaa kriittisellä hetkellä, ja siten se ei vaikuttaisi käsivarren kameran ottamaan kuvaan.

Koordinaatistojen sovittaminen on mahdollista suorittaa käyttämällä apuna tarttujaan kiinnitettävää laser-osoitinta. Tässä tapauksessa laserin tuottama piste voitaisiin asettaa koordinaatistojen kalibrointipisteeksi ja siten olisi mahdollista tarkastella konenäköjärjestelmän ilmoittamien koordinaattien epätarkkuutta.

6 YHTEENVETO

Tässä Kajaanin ammattikorkeakoululle tehdyssä työssä suunniteltiin kuva-analyysi, jonka tuloksia käytetään ABB Automation Technologies AB:n IRB-140-teollisuusrobotin ohjaamiseen. Kuva-analyysi sisälsi kaksi tehtävää. Ensin määritettiin sekä tuotteen sijainti että asento ja tämän jälkeen luokiteltiin tuotteen osat. Kuva-analyysi toteutettiin integroidulla konenäköjärjestelmällä eli älykameralla, jonka mitaamat tulokset siirrettiin robotin ohjausjärjestelmään.

Työssä käytetty Omron F210 Vision Sensor -älykamerajärjestelmä koostuu kahdesta kamerasta. Niistä yksi kiinnitettiin robotin käsivarteen, ja sillä otetun kuvan perusteella suoritettiin luokittelu ja paikannus. Toinen kamera asetettiin kuvaamaan tuotetta vaakatasossa, ja sitä käytettiin tuotteen korkeuden mittaamiseen. Älykamerajärjestelmässä luokitteluun ja paikantamiseen käytettävät menetelmät perustuivat muistiin tallennettujen mallikuvien ja kameran kuvan sisällön vertaamiseen. Tuotteen kolmiulotteiseen paikannukseen tarvittava kohteen korkeuden mittaus suoritettiin etsimällä kuva-alueelta kahden eri harmaasävyyn rajakohta. Robotille suunniteltiin ohjelma, joka purkaa tarvittavat tiedot vastaanottamastaan viestistä ja niiden perusteella liikuttaa käsivarttaan sekä valitsee suoritettavia jatkotoimenpiteitä.

Testauksessa huomattiin, että älykameran suorittamien tehtävien onnistuminen edellytti vakaita valaistusolosuhteita. Tällöin robotin liikuttaminen kuva-analyysin tulosten avulla onnistui hyvin. Testauksen myötä tuli ilmi valaistukseen ja koordinaatistojen sovitukseen liittyviä jatkokehitystarpeita. Lopuksi voidaan todeta, että työlle asetetut tavoitteet on saavutettu, sillä työssä onnistuttiin liittämään konenäköjärjestelmä osaksi robotin ohjausjärjestelmää.

LÄHDELUETTELO

- 1 Kuivalainen, R. (toim.). Robotiikka. Uudistettu laitos. Vantaa: Tummavuoren Kirjapaino Oy, 1999. 188 s. ISBN 951-9438-58-0
- 2 ABB Robotics Products AB. Product Manual IRB-140. Ohjekirja.
- 3 Romppainen, P. Konenäkö. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2002. Opintomoniste.
- 4 Omron Electronics, F210 Vision Sensor. Ohjekirja. 81 s.
- 5 Omron Electronics, Application Software F250-UME [CD-ROM]. Ohjekirja.
- 6 ABB Automation Technologies. RAPID reference manual, osa 2. Ohjekirja. 335 s.
- 7 ABB Automation Technologies. RAPID reference manual, osa 1. Ohjekirja. 454 s.