



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jari Viita

KONENÄKÖSOVELLUKSEN KEHITTÄMINEN

ABB

Tekniikka ja liikenne
2014

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jari Viita
Opinnäytetyön nimi	Konenäkösovelluksen kehittäminen
Vuosi	2014
Kieli	suomi
Sivumäärä	36
Ohjaaja	Mika Billing

Työn päällimmäisenä tehtävänä oli kehittää koneellisen tarkastuksen tulosta kuormakytkimen rasvauspisteessä, olemassa olevalla laitteistolla. Ongelmana oli rasvauksen huono erottuvuus taustamateriaalista sekä sen muodon toistumattomuus. Tämä aiheutti haasteita ohjelmistolle ja kameran erottelukyvylle.

Linjastolta erotettiin yksi kamera ja kontrolleri, joiden ominaisuuksia ja ohjelmistoa tutkittiin laboratorioissa. Kontrollerin ohjelmiston eri työkaluja testattiin ja niiden soveltuvuuksia tehtävään verrattiin toisiinsa. Tarkoitus oli varmistaa, että kontrollerin ominaisuuksia käytetään jatkossa, tuloksen kannalta parhaalla mahdollisella tavalla.

Varsinaisen aiheen rinnalla oli määrä selvittää onko olemassa sopivaa laitteistoa, jolla voitaisiin mahdollistaa linjaston loppupäässä olevan tarkastuspisteen automatisoiminen. Tarkastuspisteessä valmiista kappaleesta tutkitaan mahdolliset tyyppi-kohtaiset virheet silmämääräisesti. Kaikki silmämääräisesti erotettavat virheet tulisi myös erottaa kamerajärjestelmällä, mikäli piste automatisoidaan. Mahdollisesta järjestelmästä tuli myös esittää kustannusarviot asennuksineen sekä koulutuksineen.

Rasvauksen tarkastuspisteen tutkimuksissa löydettiin parempia keinoja soveltaa kontrollerin ohjelmistoa, jolloin saatiin parempia tuloksia erottuvuuden kannalta.

Arviot laitteistoista, jotka mahdollistavat tarkastuksen linjaston lopussa, pyydettiin kahdelta eri laitetoimittajalta. Tutkimukset kyseisten laitteistojen soveltuvuuksista tehtävään hoidettiin toimittajien toimesta. Tuloksena saatiin kolme eri järjestelmävaihtoehtoa eri ominaisuuksineen.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Alkutilanne.....	7
1.2	Tavoitteet työn alussa sekä työn rajaus.....	8
1.2.1	Konenäkösovellus	8
1.2.2	Rasvausjärjestelmä ja lopputarkastuspiste	8
2	TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY	9
3	KEINOT JA MENETELMÄT TAVOITTEIDEN SAAVUTTAMISEKSI ..	10
4	KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ YLEISESTI.....	11
4.1	Sovelluskohteet	12
4.2	Perinteisen sovelluksen yleiset komponentit	12
4.2.1	Laskentayksikkö.....	13
4.2.2	Näköjärjestelmäkortti.....	13
4.2.3	Kamerat	13
4.2.4	Muut komponentit.....	14
5	KUVAN KÄSITTELY SOVELLUKSESSA.....	15
5.1	Digitalisointi	15
5.2	Binärisointi.....	15
5.3	Kohinan pienentäminen	15
5.4	Rajapintojen määrittäminen ja piirteet.....	15
6	VALAISTUS JA SEN MERKITYS	16
7	TUTKIMUSLAITTEISTO SEKÄ OLOSUHTEET	17
7.1	Laitteisto	17
7.2	Tutkimusolosuhteet.....	18
8	TARKASTUSTYÖKALUT OMRON ZFX-LAITTEISTOSSA.....	19
8.1	Muodon tutkiminen.....	19
8.2	Alueen tutkiminen värihavainnon perusteella (size inspection)	19
8.2.1	Alue (Area).....	19
8.2.2	Leima/Merkki (Label).....	20

	4
8.3 Reunojen tutkiminen	20
8.4 Kirkkauden ja värin tutkiminen	21
9 ASETUSTEN JA EHTOJEN MÄÄRITTÄMINEN KAPPALEEN TARKASTUKSESSA	22
9.1 Työkalun valinta	22
9.2 Tarkastelualueen valinta	22
9.3 Tarkastuksen parametrit	22
10 KOHTEEN OMINAISUUDET	23
10.1 Haasteet	23
10.2 Nykyisen ohjelman ongelmat	23
10.3 Fyysiset kehitysideat	23
11 TUTKITUT TUNNISTUSMENETELMÄT	24
11.1 Kirkkauserojen tunnistus normaalissa sekä UV-valossa	24
11.2 Värialueen tunnistus	25
12 LOPPUTARKASTUSPISTE	26
12.1 Toimittaja 1	27
12.1.1 Laitteiston suorituskyky	28
12.2 Toimittaja 2	29
12.2.1 Älykamerapohjainen sovellus	29
12.2.2 Suorituskyky	30
12.3 PC-pohjainen tarkastus FAOI	32
13 YHTEENVETO	33
13.1 Rasvauksen tarkastus	33
13.2 Lopputarkastuspiste	34
LÄHTEET	35
LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1.	Brakers and Switches.	s. 11
Kuva 2.	Kuvainformaation käyttäminen.	s. 13
Kuva 3.	Kamerajärjestelmän koostumus.	s. 14
Kuva 4.	CCD- Kameroita. (*)	s. 15
Kuva 5.	Oikein valaistu kohde.	s. 18
Kuva 6.	Zfx- laitteisto.	s. 19
Kuva 7.	Kontrolleri.	s. 20
Kuva 8.	Säädettävä teline ilman varjostinta.	s. 20
Kuva 9.	Värialueen tutkiminen.	s. 21
Kuva 10.	Leimojen havainnointi.	s. 22
Kuva 11.	Reunojen paikallistaminen.	s. 22
Kuva 12.	Kirkkauserojen havaitseminen.	s. 23
Kuva 13.	Parametrien asettaminen.	s. 27
Kuva 14.	FZ5- laitteisto .	s. 29
Kuva 15.	Sensitive search.	s. 30
Kuva 16.	Area- työkalu metallin tunnistamisessa.	s. 30
Kuva 17.	Cognex in-Sight- kamera.	s. 31
Kuva 18.	Cognex- kameran suorituskyky sivusta.	s. 32
Kuva 19.	Suorituskyky päädyistä.	s. 32

- Kuva 20.** Suorituskyky pohjasta. s. 33
- Kuva 21.** Kameran suorituskyky kannesta. s. 33
- Kuva 22.** FAOI- laitteen esimerkkikuvia. s. 34

(* CCD-liite viittaa laitteessa käytettävään kennoon, jonka avulla aistitaan laitteeseen tuleva valo.)

1 JOHDANTO

1.1 Alkutilanne

Työ tehtiin ABB:lle, Brakers and Switches–yksikköön, joka sijaitsee Vaasassa. Kehitettävä konenäkösovellus tarkasti kuormakytkimen kokoonpanolinjalla rasvauksen laadun rasvauspisteen jälkeen. Hyväksytyn rasvauksen edellytyksenä on, että rasvasyöte on sijoittunut oikein rasvauksen kannalta kriittisiin kohtiin kappaleessa. Näitä kohtia ovat ne pinnat, jotka kytkintä käytettäessä vastaavat toisiinsa liikkeessaan. Kyseiset kriittiset kohdat ovat kääntökatkaisimen sekä kytkimen rungon toisiaan koskettavat osat. Rasvaus vähentää kytkimen mekaanista kulumista ja pidentää näin kytkimen käyttöikää merkittävästi. Tästä johtuen, rasvauksen oikeellisuus on välttämätön.

Rasvauksen tarkastuksen ongelmana oli sen toimimattomuus luotettavasti. Sen tehtävä on erotella kappaleista vialliset, eli niin sanotusti tuomita kappaleet, joko hyväksytyksi (Good) tai hylätyksi (No Good), sen mukaan, miten onnistunut rasvausjälki kappaleessa on. Olemassa ollut sovellus ei kuitenkaan kyennyt aina erottamaan kappaletta hyväksytyksi vaikka tulos sitä olikin. Myös tilanteessa, jossa rasvaus puuttui kokonaan, kappale saattoi saada hyväksytyn tuloksen.

Tarkastussovelluksen toimimattomuudesta johtuen linjaston toimintaa ei voi suunnitella sellaiseksi, että virheellisten kappaleiden kohdalla linjasto pysäytettäisiin viallisten kappaleiden poistamiseksi, sillä sovelluksen mukaan virheellisiä kappaleita ilmenee jatkuvasti. Myöskään hyväksyttävään tulokseen ei voitu luottaa. Linjaston luottamattomasta toiminnasta johtuen, rasvauksen olemassaolo varmistetaan sillä, että rasva syötetään kytkimen katkaisijaosaan alihankkijan toimesta, joka toimittaa kyseisen osan ABB:lle.

1.2 Tavoitteet työn alussa sekä työn rajaus

1.2.1 Konenäkösovellus

Työn päätavoitteena oli tutkia ja löytää mahdollisia kehitysratkaisuja konenäkösovelluksen ongelmien poistamiseksi siten, että linjaston toiminta muuttuisi sulavamaksi ja luotettavamaksi. Lisäksi tarkoituksena oli tehdä tarpeettomaksi alihankkijan tähän asti tekemä kappaleen rasvaus ylimääräisenä kustannuksena.

1.2.2 Rasvausjärjestelmä ja lopputarkastuspiste

Varsinaisen päätavoitteen rinnalla työssä pyrittiin miettimään myös mahdollista kehityssuuntaa rasvausjärjestelmälle sekä kehityspuitteita lopputarkastuspisteen automatisointiin, sovelluksen mahdollistavan laitteiston sekä kustannusten osalta.

Rasvauksen tulokseen vaikuttaa osaltaan myös menetelmä, jolla rasva syötetään kappaleeseen. Linjastolla olevassa rasvausjärjestelmässä on jokaista rasvattavaa pistettä kohden oma suutin, jolla rasvasyötteet asetetaan kappaleen pinnalle samanaikaisesti. Mahdollinen väärä annostelu tai suuttimen malli vaikuttaa siihen, miten rasva jää kappaleen pinnalle sekä tarkastuksen tulokseen.

Kuromakytikimen kokoonpanolinjaston loppupäässä, kappaleen virheettömyys tarkastetaan silmämääräisesti joka tahkolta erikseen mahdollisten osa- ja leimapuutteiden varalta. Ihmisoperaattorin korvaamiseksi linjastolle on kaavailtu automaatiosovelluksen hankkimista.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY

Suomen ABB:n Breakers and Switches–yksikkö valmistaa kuormakytkimiä, vaihtokytkimiä, turvakytkimiä, koteloituja kytkimiä, kytkinvarokkeita ja nokkakytkimiä.

Tuotteiden käyttösovelluksia ovat muun muassa aurinkovoima-, varavoima- ja IT-konesalien sekä teollisuuden sähkönsyötön varmistuksen järjestelmät. Kytkintuotteita käytetään sähköenergian tuottamiseen ja siirtämiseen liittyvissä sovelluksissa. Ne sallivat, erottavat tai estävät sähkövirran kulun energian siirrossa ja käytössä.

Tuotteita on moottorien käynnistyksessä ja pysäytyksessä sekä myös suojauksena ylikuormalta ja oikosuilta. Niitä käytetään myös energian varastosyötön kytkentään.

Suomen ABB:n kojetuotteita valmistava tehdas sijaitsee Vaasassa. Vastaavia tehtaita ABB:llä on eripuolilla maailmaa puolenkymmentä.

Brakers and Switches–yksikkö työllistää Suomessa noin 250 henkilöä. Se vastaa maailmanlaajuisesti kytkintuotteiden tutkimuksesta ja tuotekehityksestä sekä myynnistä ja markkinoinnista ABB:ssä.



Kuva1. Brakers and Switches.

3 KEINOT JA MENETELMÄT TAVOITTEIDEN SAAVUTAMISEKSI

Työtä varten tutkittiin olemassa olevaa materiaalia konenäkösovelluksiin liittyen internetistä sekä kirjallisuudesta. Tämän avulla perehdyttiin automaatiossa käytettävien konenäkösovellusten perustietoon, kuten toimintaan, osakokonaisuuteen ja käyttötarkoituksiin.

Kamerasovelluksen ja olosuhteiden simulointi tehtiin TchnoBothnian laboratorio-tiloissa, sillä tutkimuksia ei voi tehdä linjaston ollessa käynnissä. Toisaalta simuloinnin mahdollisti osaltaan se, että linjastolla oli ylimääräinen kamera, jolla tutkimukset voitiin suorittaa. Tutkimalla laitteistoa laboratoriossa, saatiin tietoa kyseisen mallin käytettävyydestä, ominaisuuksista sekä kyvyistä.

Rasvausjärjestelmän kehitystä pohdittiin laboratoriotutkimusten aikana sitä mukaan kun kameran erottavuudesta ja ominaisuuksista päästiin käsitykseen. Järjestelmän kehityksessä keskityttiin muodostamaan rasvausvaiheelle ainoastaan vaatimukset konenäkösovelluksen suorituksen onnistumiseksi.

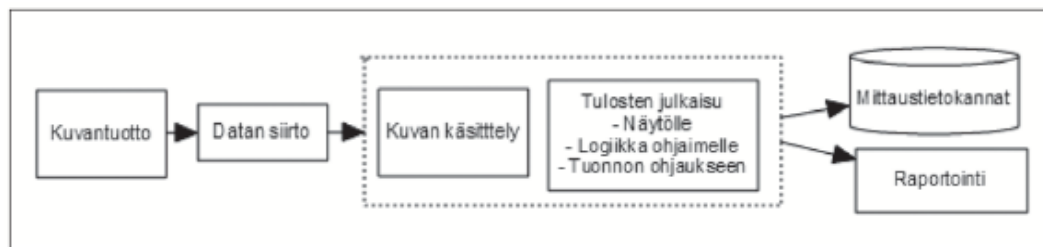
Lopputarkastuspisteen kehityspuitteet määritettiin kahden toimittajan edustajien esittämien laitteistomahdollisuuksien ja materiaalien pohjalta. Lisäksi muodostettiin kustannusarviot laitteistoista, asennuksesta, ohjelmoinnista ja mahdollisesta koulutuksesta.

4 KONENÄKÖJÄRJESTELMÄ YLEISESTI

Konenäkö (Machine Vision) on näköaistia hyväkseen käyttävä koneellinen aisti, jonka juuret ovat tutkimusmaailmassa. Siellä sitä kutsuttiin tietokonenäköksi (Computer Vision). /13/

Konenäköjärjestelmän toiminta on tyypillisesti seuraavanlainen: kamera ottaa kohteesta kuvia halutulla kuvanottoaajuudella. Talteen otetut kuvat digitoidaan ja siirretään tietokoneen muistiin, missä kuvat analysoidaan ennalta ohjelmoitujen ohjeiden mukaisesti, ja saadun analyysin perusteella ohjauksen annetaan edelleen itse tuotantolinjaan, sen koneille ja laitteille (kuva 2.). /13/

Tietokoneiden laskentatehon kasvaessa, konenäkösovelluksista on tullut kehittyneempiä ja käyttäjäystävällisempiä. Nykyään ei ole enää välttämätöntä integroida PC:tä tuotantolinjastoon, vaan sovelluksen voi rakentaa käyttämällä älykameraa. Älykamera tarvitsee tietokonetta ainoastaan ohjelmointivaiheessa. Kamerajärjestelmässä voi myös olla kontrolleri, joka mahdollistaa ohjelmoinnin ilman PC:tä.



Kuva2. Kuvainformaation käyttäminen. /2/

Konenäkösovelluksia käytetään nykyisin laajasti teollisuuden eri aloilla. Yleisesti konenäköjärjestelmien sovellusalueet löytyvät erilaisten prosessien automatisoinnista. Tällöin konenäköä käytetään ihmisoperaattorin tilalla prosessin vaikeissa, aikaa vievissä, yksitoikkisissa, vaarallisissa tai suoranaisesti mahdottomissa vaiheissa. /10/

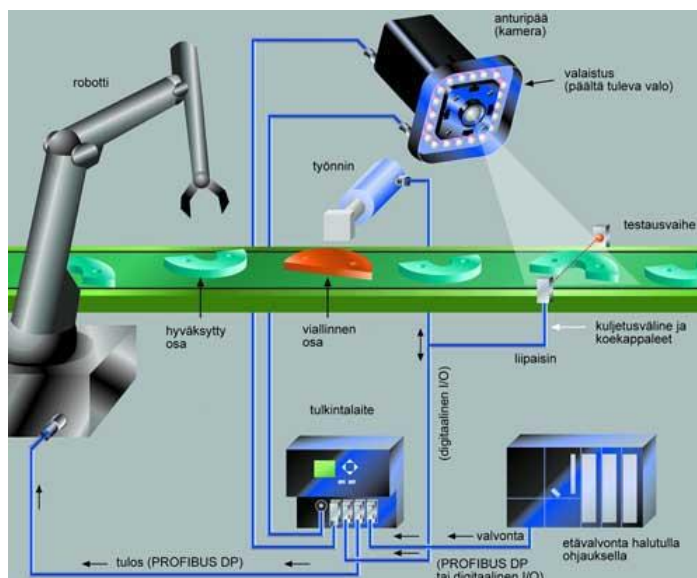
4.1 Sovelluskohteet

Sovellusmahdollisuuksia konenäölle on monia. Riippuu kuvattavan kappaleen ominaisuuksista ja halutusta informaatiosta millaista kamerajärjestelmää sovelluksessa käytetään. Tyypillisiä piirteitä, joita kamerasovelluksen avulla pyritään selvittämään kappaletuotannossa, ovat:

- kappaleen mittojen tarkistaminen
- reunojen muodon mittaus
- reikien ja paikkojen olemassaolon tarkistus
- pintavikojen haku ja luokittelu
- erilaisten painettujen logojen laadun ja olemassaolon tarkistus, painatuk-
sen jälkeen. /1/

4.2 Perinteisen sovelluksen yleiset komponentit

Konenäköjärjestelmä koostuu yleensä kamerasta, laskentayksiköstä, näköjärjestelmäkortista, valon lähteestä sekä tietokoneesta ja tarvittavista ohjelmistoista. Näiden avulla kamerajärjestelmästä saadaan informaatiota logiikalle ja näin muulle ympäristölle (kuva 3.).



Kuva 3. Kamerajärjestelmän koostumus. /2/

4.2.1 Laskentayksikkö

Keskusyksikkönä konenäköjärjestelmissä käytetään lähes poikkeuksetta mikrotietokonetta. /7/

4.2.2 Näköjärjestelmäkortti

Kameraliitintää ja kuvan ottoa varten mikrotietokoneeseen on liitettävä kuvankaappaus- tai kuvankäsittelykortti. Kortti liitetään esim. PC:n PCI- tai ISA- väylään. Normaalisti voidaan käyttää kuvankaappauskorttia, jonka avulla CCD- kameralla saatu kuva siirretään mikrotietokoneen muistiin. Vaativimmissa sovelluksissa, joissa nopeusvaatimus on suuri kuvankäsittelymäärästä johtuen, käytetään kuvankäsittelykorttia, jossa kuvan oton lisäksi käsitellään myös kuva-aineistoa tähän tarkoitukseen suunnitellun elektronikan avulla. /7/

4.2.3 Kamerat

Kohteesta otetaan kuva CCD- matriisikameralla (kuva 4.). Yhteen kuvankäsittelykorttiin voidaan yleensä liittää 1-4 kameraa. Normaalin CCD- kameran kuvaelementissä on 752x582 pikseliä. Yleensä sovelluksiin riittää mustavalkokamera, joka pystyy havainnoimaan 256 eri harmaatasoa. Sovelluksissa, joissa vaaditaan värin tunnistamista, käytetään värikameroita. Kameraan liitetään objektiivi, jonka valintaan vaikuttaa esimerkiksi haluttu kuvausalue, kameran etäisyys kohteesta ja valaistus. /7/



Kuva 4. CCD- Kameroita. /11/

Konenäköjärjestelmissä käytetään myös viivakameroita, joissa kuvaelementit ovat nimensä mukaisesti jonossa. Kuvaelementtien määrä vaihtelee 1025:stä aina 10000:een. Viivakamerat soveltuvat erinomaisesti reunan tai profiilin mittaamiseen. Mikäli kuvaus tapahtuu liikkeessä, kohdetta tai kameraa siirtämällä, saadaan matriisikameran kuvan kaltainen kuvamatriisi. /7/

4.2.4 Muut komponentit

Näköjärjestelmiin voidaan liittää myös ulkoisia antureita esimerkiksi kuvausajankohdan määrittämiseksi (valokennot, induktiiviset anturit). Mikrotietokoneeseen voidaan asentaa erilaisia liitäntäkortteja järjestelmän liittämiseksi toimilaitteisiin (esim. digitaaliset/analogiset I/O-kortit.) /7/

5 KUVAN KÄSITTELY SOVELLUKSESSA

Kuvan käsittelyssä pyritään systemaattisesti vähentämään käsiteltävän tiedon määrää siten, että oleellinen tieto säilyy. /7/

5.1 Digitalisointi

Kameran kuva on digitalisoitava digitaalista käsittelyä varten. Kuvasta, määrävällein otetuista näytepisteistä eli kuvapisteistä ja niiden kirkkausarvoista muodostuu digitalisoitu kuva. Tyypillinen kuvapisteiden määrä on esimerkiksi 256 riviä, rivillä 256 kuvapistettä. /7/

5.2 Binärisointi

Eräs hyvin yleinen keino yksinkertaistaa kuvatiedon käsittelyä on kuvapisteiden kaksiarvoistaminen eli binärisointi. Binärisointi suoritetaan vertaamalla kuvapisteen kirkkausarvoa kynnyksiarvoon. Kynnyksiarvon avulla tapahtuva binärisointi on herkkä valaistuksen muutokselle. Useimmiten kynnyksiarvoa voidaan muuttaa tarpeen mukaan. /7/

5.3 Kohinan pienentäminen

Satunnaisten virheiden ja kohinan vähentämiseksi voidaan suodattaa tai keskiarvoistaa signaalia. Keskiarvoistuksessa kuvapiste korvataan kuvapisteen ja sitä ympäröivien kuvapisteiden arvoista lasketulla keskiarvolla. Samalla voidaan vähentää kuvapisteiden määrää, mikäli se on tarpeellista. /7/

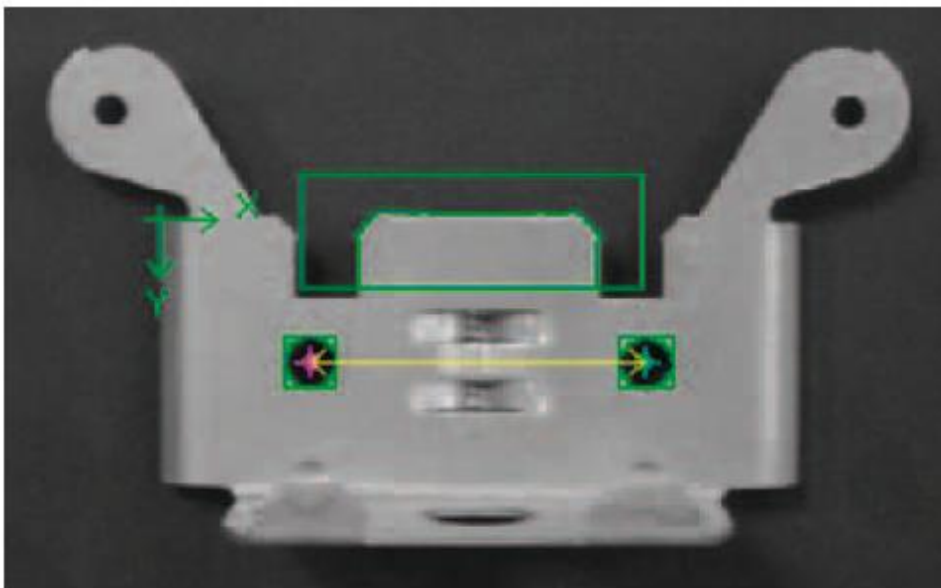
5.4 Rajapintojen määrittäminen ja piirteet

Kuvista etsitään yleensä erilaisia rajapintoja, joissa kirkkausarvoissa tapahtuu suuria muutoksia. Rajapintojen muodostamille kuvioille pyritään laskemaan joukko niiden muotoa kuvaavia arvoja, piirteitä, joiden avulla kuvioita pyritään tunnistamaan ja erottelemaan. Useissa tapauksissa lasketaan vielä arvoja, jotka määräävät kohteen sijainnin ja asennon kuvassa. Käsiteltävän tiedon määrä vähenee käsitteelyn edetessä. /7/

6 VALAISTUS JA SEN MERKITYS

Valaistuksen suunnittelu ja hyvä toteutus on erittäin tärkeä osa luotettavasti toimivaa näköjärjestelmää. Perussääntönä voidaan sanoa, että valaistuksen merkitys konenäköjärjestelmästä on 50 %. Valaistuksen tulee olla pääsääntöisesti riittävää ja tasaista (kuva 5.). Päivänvalon ja muuttuvien varjojen tulo kohteeseen on pyrittävä estämään mahdollisimman tehokkaasti. Kohteen valaistus voidaan toteuttaa loisteputkilla tai joissain tapauksissa konenäön yhteyteen suunnitelluilla valaisimilla. /6/

Kappaleen ja sen komponenttien erottuvuutta voidaan tapauskohtaisesti saada parannettua myös UV- valon sekä erilaisten värivalojen avulla. Eri materiaalit heijastavat UV-valoa eri tavalla, jolloin erottuvuus voi parantua. Värivaloja käytettäessä saadaan korostettua yksittäisiä värejä lampun värin mukaan.



Kuva 5. Oikein valaistussa kohteessa piirteet on selvästi erotettavissa. /1/

7 TUTKIMUSLAITTEISTO SEKÄ OLOSUHTEET

7.1 Laitteisto

Linjastolta tutkimuksia varten irrotettu kamerajärjestelmä oli Omronin vuonna 2007 julkaisema Zfx- laitteisto (kuva 6.), joka on paranneltu versio aiemmin julkaistusta Zfv- konenäköjärjestelmästä. Zfv pystyy tarkkailemaan vain yhtä ominaisuutta kerrallaan, kun taas ZFx- versiossa on mahdollista tehdä useita tarkistuksia samanaikaisesti, esimerkiksi tietty kuvio objektissa, objektin sävy ja leveys. Zfx:n ohjain sisältää sekä mustavalkoisen että värillisen kuvamahdollisuuden. /3/



Kuva 6. Zfx- laitteisto. /8/

Tutkittava kameralaitteisto poikkesi käytössä olleesta kamerasta hieman, sillä siinä oli kaksi kameraa, jotka kuvasivat pienempää aluetta kumpikin. Käytössä ollut laitteisto omaa vain yhden kameran joka pystyy kuvaamaan koko kuvattavan kappaleen. Näin ainoana poikkeavuutena on kuvausetäisyys, joka ei vaadi merkittävää huomiota ohjelmaa rakentaessa.

Laitteiston komponentit:

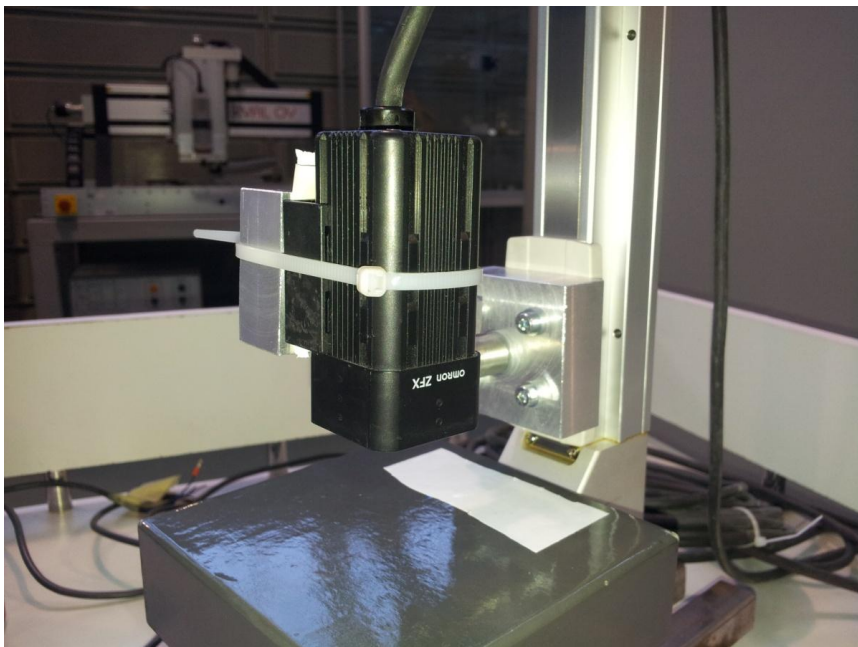
- Kontrolleriyksikkö
- 2 x kamera

7.2 Tutkimusolosuhteet

Laboratoriossa kamera kytkettiin telineeseen, jossa oli mahdollista säätää tarkasti kameran etäisyyttä sekä asentoa (kuva 8.). Tarkoituksena oli tutkia kameran ja käyttöjärjestelmän ominaisuuksia, joten riitti, että kontrolleriin (kuva 7.) liitettiin vain yksi kamera.



Kuva 7. Kontrolleri.



Kuva 8. Säädettävä teline ilman varjostinta.

8 TARKASTUSTYÖKALUT OMRON ZFX-LAITTEISTOSSA

8.1 Muodon tutkiminen

Muodon tutkimiseen liittyvillä työkaluilla luodaan kuva kappaleen konkreettisesta muodosta. Rekisteröityyn kuvaan verrataan uusia kappaleita. Ominaisuuksien poikkeuksista ja niille asetetuista ehdoista riippuu kappaleen tunnistaminen ja sen hyväksyminen oikeanlaisena kappaleena. /5/

Erilaisia muodontutkinnan työkaluja:

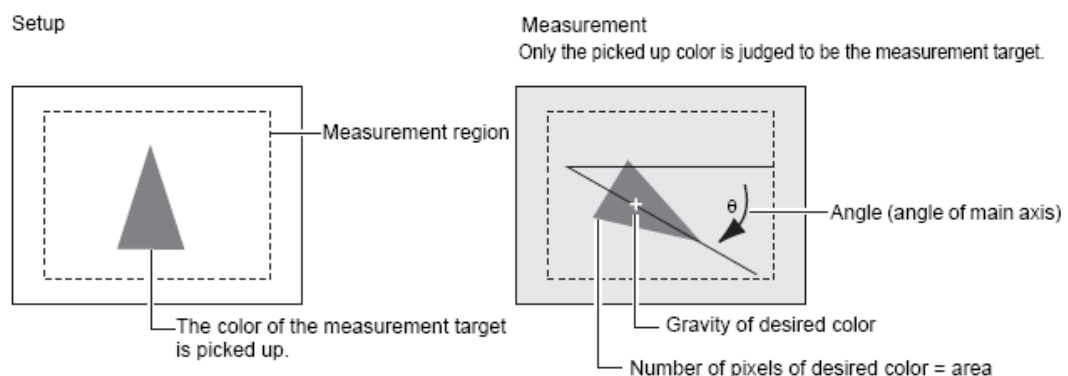
- Pattern search = Rakenteen tutkiminen
- Graphic search = Graafisten ominaisuuksien tutkiminen

/4/

8.2 Alueen tutkiminen värihavainnon perusteella (size inspection)

8.2.1 Alue (Area)

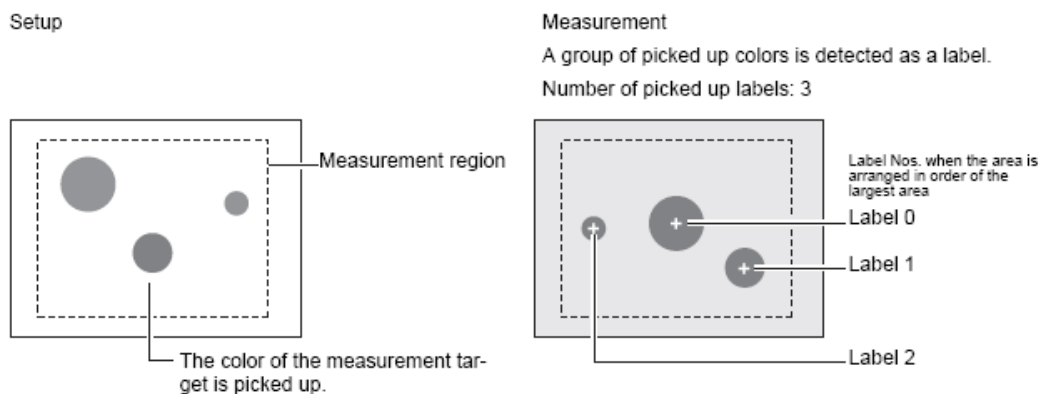
Partikkeleiden olemusta on mahdollista mitata pelkän värivalinnan avulla. Määrittämällä halutun alueen väri, joko valitsemalla kuvasta haluttu värialue (kuva 9.) tai määrittämällä se sävykartasta, voidaan etsiä pikselimäärältään samansuuruista ja muotoista aluetta kuvasta. Siitä pystytään ilmentämään myös pinta-alan painopiste sekä poikkeamakulma alkuasennosta. /4/



Kuva 9. Värialueen tutkiminen. /5/

8.2.2 Leima/Merkki (Label)

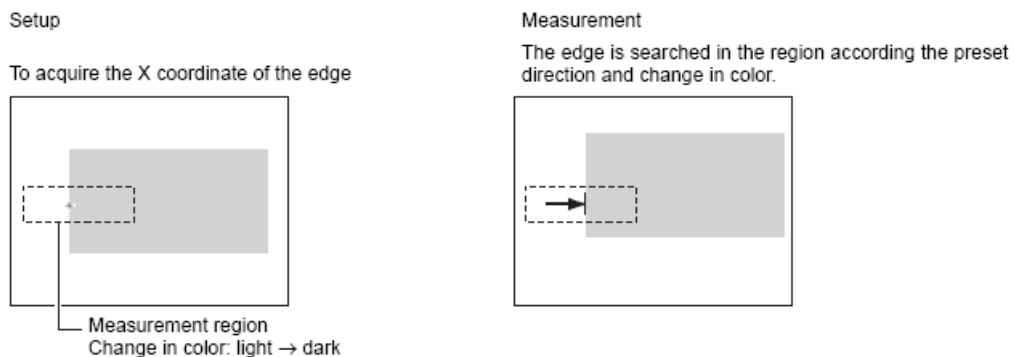
Mikäli valittu värialue toistuu tai sen halutaan toistuvan pinnalla, voidaan käyttää leiman paikannusominaisuutta (kuva 10.). Leimauksen koko sekä paikka voivat muuttua alkuperäiseen nähden. Leimojen lukumäärää voidaan käyttää ulostuloarvona logiikalle./5/



Kuva 10. Leimojen havainnointi. /5/

8.3 Reunojen tutkiminen

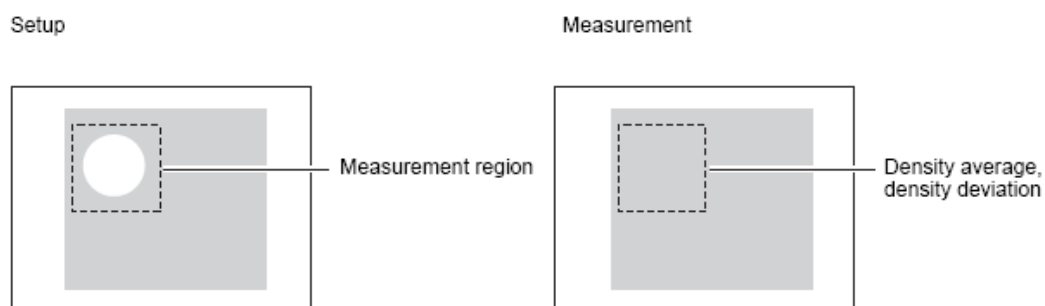
Reunoja ja niiden ominaisuuksien tutkimiseen tarkoitettun työkalun avulla voidaan havaita särmät määritellyltä tutkimusalueelta (Region). Niiden avulla voidaan selvittää kappaleen paikka, koko, kappalemäärä sekä poikkeamakulma (kuva 11.). /5/



Kuva 11. Reunojen paikallistaminen perustuu kirkkousarvon muutoskohdan havaitsemiseen tutkittavalla alueella. /5/

8.4 Kirkkauden ja värin tutkiminen

Kappaleen kirkkauden ja värin sävyerojen muutoksia tarkkailemalla voidaan myös havaita laadulliset puutteet kappaleessa. Kirkkauden vaihtelun arvot saadaan ulos output- signaalina, jolloin logiikan kautta voidaan haluttaessa ohjata koko järjestelmää elävän kirkkausarvon mukaan. Tutkittavasta alueesta voidaan laskea lisäksi kirkkauskeskiarvo, jonka poikkeaman avulla voidaan tehdä havain- toja kappaleen pinnassa tapahtuvista muutoksista (kuva 12.). Kirkkauden abso- luuttiselle-, sekä keskiarvolle on mahdollisuus asettaa rajat, joiden sisällä arvojen on pysyttävä kappaleen hyväksymisehtojen täyttymiseksi. /5/



Kuva 12. Kirkkauserojen havaitseminen. /5/

Sävyä tutkiessa, keskimääräinen värisävy, poikkeama sekä värikylläisyys ovat ulos tulostettavia arvoja. Sävyyn liittyvien ominaisuuksien tutkimiseksi vaaditaan sovellukseen värikamera. /5/

9 ASETUSTEN JA EHTOJEN MÄÄRITTÄMINEN KAPPAL- LEEN TARKASTUKSESSA

9.1 Työkalun valinta

Ensimmäiseksi määritetään kappaleesta Pattern search – toiminnon avulla muoto, jota etsitään. Pää tarkoituksena on tunnistaa kappale sen avulla sekä määrittää seuraaville ehdoille ja tutkimusalueille oikea paikka suhteessa kappaleen muotoihin.

Sen jälkeen kun Pattern search- määrittäminen on tehty, voidaan valita halutusta tarkastelualueesta riippuen, uusi määrittäminen ja ehto. Voidaan esimerkiksi tutkia tietyn alueen kirkkautta ja sen eroja. Valitun alueen paikka pysyy koko ajan samana suhteessa aluksi valittuun pattern search – alueeseen.

9.2 Tarkastelualueen valinta

Kaikissa toiminnoissa määritetään ns. tarkastelualue, jolta ohjelma etsii sille asetettuja ehtoja. Tarkastelualueen muodon vaihtoehtoja ovat suorakulmio, ympyrä, ellipsi sekä monikulmio. Tarkastelualueen paikan ja koon voi asettaa sopivaksi kontrollerin kosketusnäytöstä tai muuttamalla arvoja nuolista. Alueen muoto kannattaa valita kappaleen muotojen mukaan sopivaksi.

9.3 Tarkastuksen parametrit

Toimintovalinnan sekä alueen rajauksen jälkeen voidaan asettaa raja-arvoja tunnistukselle muuttamalla parametriasetuksia. Esimerkiksi kirkkausarvon hyväksyttävyysehdoksi voidaan asettaa tietty lukuarvo, jonka alle jäävät sekä yli menevät arvot hylätään. Raja-arvojen asetuksessa on apuna myös erilaiset filtrit, joiden avulla kuvaa voidaan tarkastella karkeammin tiettyjen ominaisuuksien suhteen. Voidaan esimerkiksi valita filtri, joka sulkee kuvasta pois kaiken muun pois, mutta korostaa nurkkia ja kulmia. Kuvassa muut alueet näkyvät valkoisena, nurkat ja kulmat mustana sekä muina tummina sävyinä.

10 KOHTEEN OMINAISUUDET

10.1 Haasteet

Tutkittavassa kappaleessa tarkastelukohdasta on pyrkimyksenä erottaa valkoiselta sekä tummalta nurkkapinnalta valkoisen sävyinen rasvaus, jonka muoto ja koko ei ole toistuva, vaan aina eriävä edellisestä. Rasvauksen erottuvuus on tällöin haasteellista. Konenäkösovelluksen lähes kaikki sovellustyökalut on rakennettu havaitsemaan suoria tai ympyrämäisiä muotoja, jotka on pystytty määrittämään mallikuvan perusteella, eli pysyvät samankaltaisina malliin verrattuna. Kuvattavien kohteiden(rasva) koko-, paikka- ja kulmaerot malliin nähden, ovat ilmaistavissa ainoastaan, mikäli muoto pysyy samankaltaisena.

10.2 Nykyisen ohjelman ongelmat

Sovelluksen aiempi ohjelma oli rakennettu tunnistamaan ns. virheitä kappaleesta defect- toiminnolla. Se ei ole muotoriippuvainen, mutta sen ongelmaksi koituu se, että ohjelma kykenee löytämään kaivattuja virheitä, tässä tapauksessa rasvausjälkiä, muualtakin kappaleesta huonon erottuvuuden vuoksi.

10.3 Fyysiset kehitysiedat

Tutkimuksen aikana nousi esiin myös sovelluksen fyysisiin ominaisuuksiin liittyviä kehitysideoita, jotka osaltaan saattavat parantaa konenäkösovelluksen suoriutumista tehtävästä. Kehitysiedat liittyivät valaistuksen mahdolliseen tehostamiseen, kappaleen materiaalien ja siinä käytettävän rasvan värien vaihtamiseen kontrastin ja erotuskyvyn parantamiseksi, sekä rasvanjakeluautomaatin uusintaan. Automaatin uudistuksen tarkoitus olisi saada aikaan selvempi ja säännöllisempi rasvajälki. Linjastoon ja kappaleeseen vaadittava muutostyö, ideasta riippuen, vaatii kuitenkin paljon aikaa sekä testausta ja tämä vaikuttaa idean jalostamisen kannattavuuteen. Vaihtamalla esimerkiksi kappaleen valkoisen osan väriä mustaksi, muuttuisi sen sähkönjohtokyky hiilipitoisuuden vuoksi suuremmaksi, eikä kappaletta voi ottaa käyttöön ennen sen pitkiä testiajoja. Tutkimuksessa ei ollut myöskään mahdollista käyttää muun väristä rasvaa, sen toimittajasta johtuen.

11 TUTKITUT TUNNISTUSMENETELMÄT

11.1 Kirkkauserojen tunnistus normaalissa sekä UV-valossa

Ensimmäiseksi rasvan erottuvuutta lähdettiin tutkimaan kirkkauserojen avulla laboratoriossa. Brightnes- arvo mitattiin aluksi kappaleesta, tutkittavasta kohdasta, jossa ei ollut rasvaa. Sitten tuloksia verrattiin hyväksyttävään kappaleeseen ja kirkkausarvoraja säädettiin tuloksien perusteella hyväksytyyn kappaleen rajoihin.

Tutkimuksissa käytettiin kolmea eri kytkintä, joiden malli oli sama, mutta määrällä pyrittiin ottamaan huomioon mahdolliset auringosta johtuvat muoviosien sävy-muutokset. Rasva, jota tutkimuksissa käytettiin, oli suoraan linjaston rasvavaras-tosta otettua. Se oli pakattu muoviin ja valolta suojaan, jotta se säilyttäisi värinsä uudenveroisena, ilman värisävymuutoksia. Rasvan havaittiin tummuvan ilman ja auringon valon vaikutuksesta ajan kanssa.


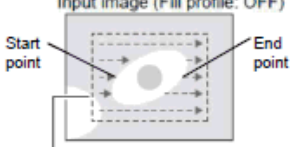

Laboratio-olosuhteissa tällä menetelmällä pystyttiin saamaan erottelukykyisiä tuloksia. Sovellus pystyi huomaamaan kirkkauseron hylätyn ja hyväksyttävän kappaleen välillä ja tuomitsemaan sen oikein asetettujen raja-arvojen mukaan.

Linjasto-olosuhteissa kirkkauserot olivat pienemmät, johtuen ehkä valaistuksesta tai vielä suuremmasta skaalasta valossa tummuneita kappaleita. Kirkkausarvot heittelivät niin paljon, ettei erottelua ollut mahdollista suorittaa kyseisellä mene-telmällä. Valaistuksen tueksi linjastolle asennettiin UV-valo mutta tuloksissa ei ilmentynyt mainittavaa eroa.

11.2 Värialueen tunnistus

Koska pelkästään kirkkauseroja tutkittaessa, ei saatu tarpeeksi selvää eroa hyväksyttävän ja hylätyn kappaleen välisissä arvoissa linjasto-olosuhteissa, alettiin kohteesta etsiä värisävyeroja Area-työkalulla.

Aluksi rajattiin kohteeseen tarkastelualue, kuten muissakin työkaluissa. Tämän jälkeen alueen sisältä etsittävä kohde, eli rasva, pyrittiin erottamaan taustasta sulkemalla pois kaikki mahdolliset muut värisävyt. Parametriasetuksia (kuva 13.) säädettiin, kunnes silmämääräisesti näytöstä pääteltynä, rasvan erottuvuus oli paras mahdollinen. Koekappaleiden avulla havainnollistettiin vielä arvojen heittelemistä kappaleiden erilaisuuden vuoksi ja tämän jälkeen päätettiin sopivat raja-arvot laadun tuomitsemiseen. Arvot määriteltiin suurimman ja pienimmän löytyneen hyväksyttävän arvon mukaan. Area työkalua käyttämällä päästiin huomattavasti aiempaa parempiin tuloksiin.

Measure axis angle	ON / OFF (default) Set whether or not to measure the angle. (When selecting [ON], the processing time increases.)
Fill profile	<p>ON / OFF (default) This is efficient, when passed products doesn't have the uniformity inside but has a same outer shape.</p> <p>Passed products</p>  <p>When measuring the outer shape of the measurement target, set this to [ON]. If this is set to [ON], all of the area between the start point and the end point inside the measurement region are measured as the measurement target color.</p> <p>Start point : untargeted colors --> targeted colors End point : targeted colors --> untargeted colors</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Input image (Fill profile: OFF)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Fill profile: ON</p>  </div> </div> <p>Pixels that are measurement target color are not recognized as the start point as pixels that are colors outside of measurement target are next scanned.</p>

Notice :

The color pickup isn't done by clicking [AUTO] in the measurement Item.
Please select the pick up color in the color pickup screen.



Kuva 13. Tarkennusta parametrien asettamiseen. /5/

12 LOPPUTARKASTUSPISTE

Automatisoinnin mahdollistamiseksi, täytyi ensin selvittää, onko olemassa laitteisto, jolla kaikki vaadittavat objektit kyetään erottamaan koneellisesti kappaleesta, sekä vertailla laitteistojen kykyä suoriutua tehtävästä. Laitteistoista tarvittiin myös kustannusarvio mahdollista hankintaa varten, jatkoa ajatellen. Kustannusarvioita ja laitteistotoimittajia ei tuoda työssä julki.

Kappaleesta tarkistettavat mahdolliset virheet ovat:

1. ABB- leima ja muut tekstit.
 - Kaikki tekstit on oltava ehjiä sekä luettavissa olevia.
2. DIN- kiskon olemassa olo.
 - Joissain tapauksissa DIN- kisko voi puuttua kokonaan kappaleesta.
3. Halkeamat ruuvi-kiinnitysulokkeessa.
 - Hitsausvaiheessa ulokkeen juureen saattaa muodostua halkeama.
4. Liitinten avonaisuus.
 - Kytkimen johtoliitintäpesät on oltava auki- asennossa
5. Toisen kytkintyyppin kahvaosan ruuvi.
 - Ruuvi ei saa olla näkyvissä.
6. Kytkimen kylki-osissa olevat hitsisaumat.
 - Ylä- ja alalohkon välisessä saumassa ei saa olla rakoja.

Näiden kohteiden tarkastamiseen soveltuvaa laitteistoa lähdettiin hakemaan kahden eri toimittajan tuoteperheistä ja -valikoimista. Yllämainittujen ominaisuuksien erottuvuus tutkittiin toimittajien toimesta heidän, kyseiseen tehtävään tarjoamillaan laitteistoilla laboratorio-olosuhteissa.

12.1 Toimittaja 1.

Ensimmäisen toimittajan laitteistotarjontaa (kuva 14.) käyttämällä, kytkimen tarkastus joka suunnasta, on mahdollista toteuttaa, mikäli sovelluksessa käytetään useampaa kameraa tai vaihtoehtoisesti käännellään kappaletta yhden kameran edessä. Alustavien tutkimusten perusteella toimittaja suositteli alla listattua laitteistoa, jonka soveltuvuus tehtävään on vielä testattava tarkemmin ennen asennusta. Lisäksi tarvitaan valonlähde, joka määritetään asennuksen yhteydessä. Käytämällä ko. laitteistoa tarvitaan tilaa linjastolle, esimerkiksi robottia varten, joka kääntelee kappaletta tai vaihtoehtoisesti sijoitetaan kamerat pitkin linjastoa osakoonpanovaiheisiin.

- 1 x FZ5-605-10 FZ-lite- kontrolleri
- 3 x FZ-SC2M FZ-kamera
- 3 x 3Z4S-LE SV-1614 Linssi 16 mm
- 3 x FZ-VS 5M Kamerakaapeli
- 1 x FZ-VP 5M I/O-kaapeli
- 1 x S8VK-C12024 Virtalähde. /11/

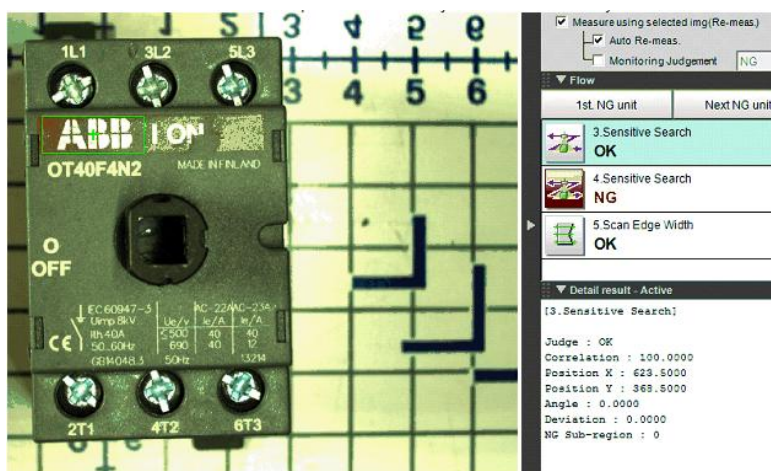


Kuva 14. Kuvan FZ5-laitteisto on vain suuntaa antava. /4/

12.1.1 Laitteiston suorituskyky

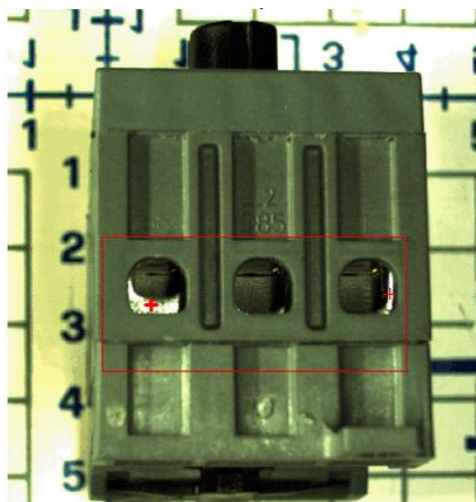
Laitteisto on ZFX- mallista paljon kehittyneempi ja pystyy erottamaan esimerkiksi tekstiä. Sensitive search- työkalulla sille voidaan opettaa oikeanlainen teksti eri kohdista kappaletta.

Area- työkalulla voidaan tutkia, onko tekstiä painettu tarpeeksi kappaleen pintoihin (kuva 15.).



Kuva 15. Sensitive search. /11/

Area- työkalulla voidaan etsiä kohdistetusti myös metallia, jolloin saadaan selville liitinten avonaisuus (kuva 16.).



Kuva 16. Area- työkalu metallin tunnistamisessa. /11/

Myös muiden osan puutteiden sekä virheiden havaitseminen onnistuu FZ5- laitteistolla kohtuullisen hyvin. Kahvan ruuvien havaitseminen laitteistolla vaatii vielä lisäsuunnittelua.

12.2 Toimittaja 2.

12.2.1 Älykamerapohjainen sovellus

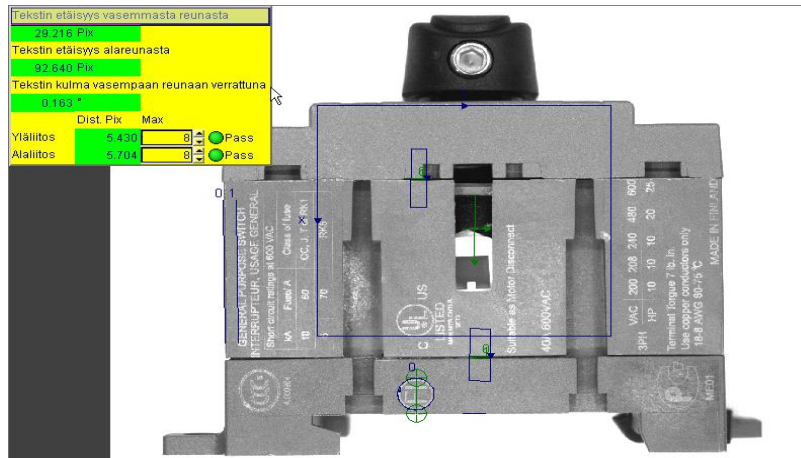
Toinen toimittaja tarjosi kaksi vaihtoehtoa lähestyä ongelman ratkaisua. Ensimmäinen vaihtoehto oli älykamerapohjainen tarkastusmalli, kuten ensimmäisellä toimittajalla. Tässä versiossa järjestelmään kuului kaksi älykameraa, joiden tarkoitus oli hyödyntää olemassa olevia robotteja saavuttaakseen kyvyn kuvata kaikki puolet kappaleesta.

Laitteistoon kuuluu kaksi kappaletta Cognex in-Sight IS5403-älykameraa (kuva 17.). /12/



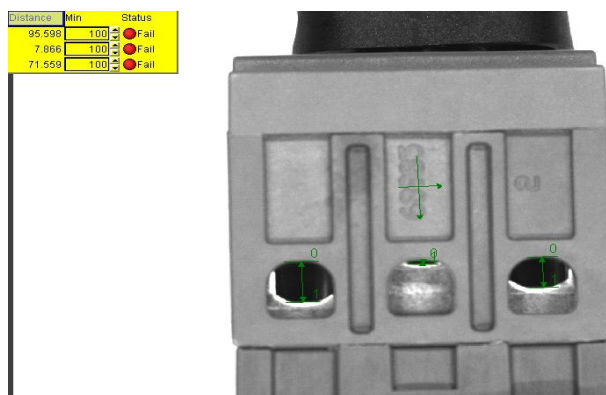
Kuva 17. Cognex in-Sight IS5403, 1600x1200 pikseliä. /12/

12.2.2 Suorituskyky



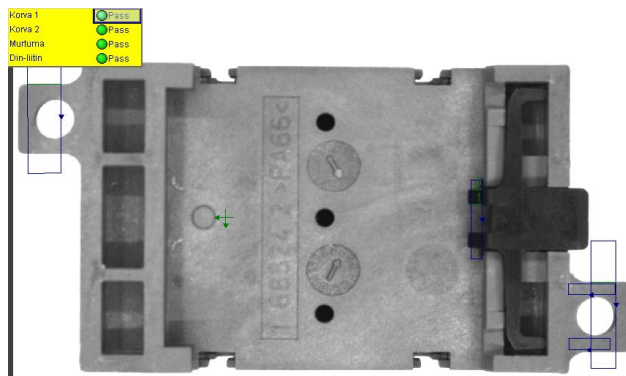
Kuva 18. Cognex- kameran suorituskyky sivusta. /12/

Ohjelmiston työkalut mahdollistavat tekstin paikan sekä suoruuden mittaamisen kappaleen reunaan nähden, kuin myös kannen ja pohjan välisen raon suuruuden mittaamisen (kuva 18.). Tarkastamiseen kuluva aika on 258 ms. /12/



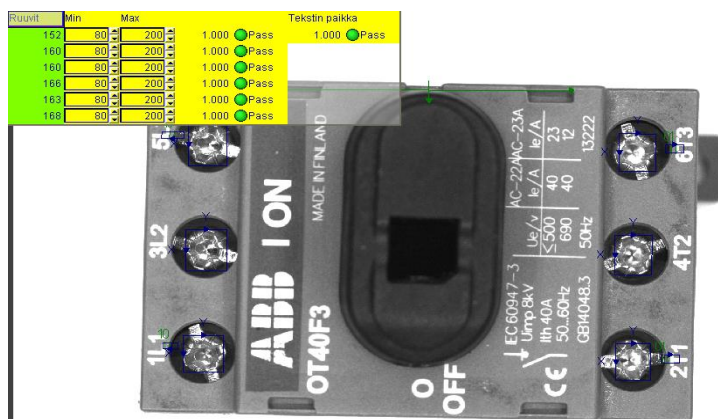
Kuva 19. Cognex- kameran suorituskyky päädystä. /12/

Kamera pystyy havaitsemaan metallipinnat ja sopivalla työkalulla on mahdollista mitata liitinten avonaisuus (kuva 19.). Mittaamiseen kuluva aika on 203 ms. /12/



Kuva 20. Cognex- kameran suorituskyky pohjasta. /12/

Kiinnityskorvien olemassa olo, niiden mahdolliset halkeamat sekä Din-liittimen paikallaan olo on mahdollista tarkistaa sovelluksen avulla (kuva 20.). Tarkistukseen kuluva aika 109 ms. /12/

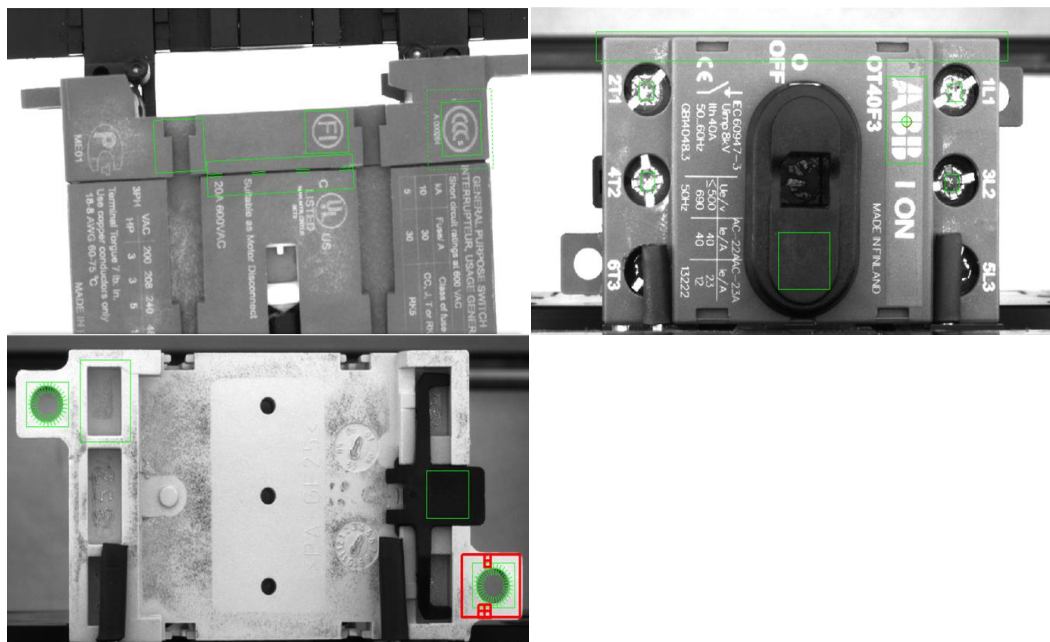


Kuva 21. Cognex- kameran suorituskyky kannesta. /12/

Myös loput tarkistukset, kuten ruuvien olemassaolo, on mahdollista suorittaa kyseisellä älykamerapohjaisella sovelluksella ja ohjelmistolla kohtuullisen hyvin (kuva 21.).

12.3 PC-pohjainen tarkastus FAOI

Toisena vaihtoehtoisena ratkaisuna toimittaja tarjosi itsenäistä konenäköyksikköä, Final Assembly Optical Inspector, joka mahdollistaa kappaleen kaikkien pintojen tarkastamisen samassa pisteessä. Riittää että kappale ohjataan tarkastuksen ajaksi yksikköön ja sen jälkeen takaisin linjastolle. Kappaleen tarkastus vie n. 7 s, mikä on enemmän kuin älykamasovelluksissa. Yksikön erottelukyky on 5 Mpix ja sen avulla kappaleista tarkasteltavat virheet löytyvät helposti. Tarkemmat kuvat virhetarkastelusta on esiteltyä alla kuvasarjana (kuva 22.). /12/



Kuva 22. FAOI- laitteen esimerkkikuvia. /10/

13 YHTEENVETO

13.1 Rasvauksen tarkastus

Rasvauksen tarkastuksen kehittämiseksi tutkittiin kontrollerin ohjelmiston ja sen työkalujen ominaisuudet läpikotaisin rasvauksen erottumisen parantamiseksi laboratorioissa. Tutkimuksista suljettiin aluksi pois ne työkalut, jotka oli tarkoitettu eri ominaisuuksien tarkasteluun, kuten reunojen etäisyyksien ja kulmien mittaamiseen. Lopuksi jäljelle jäivät työkalut ”Defect”, jota oli jo aiemmin yritetty soveltaa, kirkkauserojentarkastelu sekä ”Area”. Tutkimuksen alkuvaiheessa huomattiin, että ensimmäinen vaihtoehto ei ollut soveltuva kyseiseen tarkoitukseen vaan se oli suunniteltu ennemminkin pienempien poikkeamien paikantamiseen.

Kirkkauseroja tutkiessa saatiin suppealla otosmäärällä lupaavia tuloksia hyväksytyyn ja hylätyn kappaleen erojen löytämiseksi laboratorioissa, mutta linjasto-olosuhteissa eroavaisuudet eivät olleet riittävät ja kyseisestä työkalusta oli luovutettava. Tutkimuksissa oli mukana linjastolle asennettu UV-valaisin mahdollisen erottuvuuden parantamisen vuoksi mutta merkittäviä eroja ei havaittu.

”Area”- työkalulla saatiin olemassa olevista työkaluista selvästi parhaat tulokset rasvauksen erottamiseksi. Vaikka värisävyt oli säädetty näytön mukaan optimaaliseksi, ei silti päästy täysin luotettavaan tulokseen rasvatun ja rasvaamattoman kappaleen erottamiseksi. Rasvaamaton kappale sai joissain tapauksissa niin korkeita arvoja, jotta ne ulottuivat matalimman arvon omaavan, hyväksytyyn kappaleen alueelle. Työkaluna ja oikein säädettyinä, tämä on kuitenkin verrattain huomattavasti parempi kuin entinen.

Sovelluksen fyysisistä kehitysideoista voidaan ajankäytönsuhteen edullisimpina vaihtoehtoina mainita valaistusolosuhteiden säätäminen sekä rasvanjakeluautomaatin uusiminen. Verrattaessa materiaalin tai rasvan värin vaihtamiseen, ne tarvitsevat vähemmän aikaa asennukseen kuin materiaalin tai rasvan värinvaihtoprosessin loppuunvieminen.

13.2 Lopputarkastuspiste

Lopputarkastuspisteen automatisointia ajatellen tuotiin esille kolme vaihtoehtoista laitteistokokonaisuutta eri valmistajilta. Kummallakin toimittajalla oli näkemys siitä, että sovelluksen voisi hoitaa useammalla älykameralla. Älykameran sovelluksella kaikki mahdolliset virheet löytyvät kappaleesta ja kamerat on mahdollista asentaa eri vaiheisiin linjastolle, jolloin voidaan poistaa virheellinen kappale jos sen valmistuksen alkuvaiheessa. Älykameran sovelluksen asentaminen kuitenkin vaatii paljon muutoksia sekä kotelointia soluun ja ympäristö täytyy saada toistettavaksi. Kappaleen kääntelemiseen kuvaustilanteessa tarvitaan mahdollisesti myös robotti.

Toinen vaihtoehto oli PC-pohjainen FAOI-kuvausyksikkö, jonka avulla kaikki mahdolliset virheet löytyvät kappaleesta helposti. Laitteen kuvausympäristö valaistuksineen on erittäin toistettava ja käy kaikille väri-versioille. Laitteen käyttöönottoaika on lyhyt ja se voidaan siirtää tarvittaessa vaivattomasti mille tahansa tuotteelle. Verrattaessa älykameran sovellukseen, testiaika on hieman pidempi, n. 7s/ tuote ja kappale voidaan kuvata vasta kun se on täysin jo kasattu.

LÄHTEET

- /1/ Aimonen P, Ohutlevy 1/2010 konenäön sovelluskohteita. Viitattu 25.5.2013.
http://www.ohutlevy.com/pdf/ol1_Konen+%F1+%C2n%20sovelluskoht.pdf
- /2/ Automaatioseura, machine vision news, Viitattu 11.12.2013
<http://www.automaatioseura.fi/jaostot/mvn/mvn9/siemens.html>
- /3/ Hänninen H, Tekniikka ja talous, konenäkö ei väsy eikä hutiloi, 2008, Viitattu 24.05.2013
- /4/ Omron industrial automation, Viitattu 11.12.2013
http://industrial.omron.ca/en/products/catalogue/sensing/vision_sensors_and_systems/vision_systems/xpectia_fz5/default.html
- /5/ Omron Zfx-user manual
https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjAB&url=http%3A%2F%2Fomronkft.hu%2Fpdf_en%2Fzfx_c2x_usersmanual.pdf&ei=kl4nU9KtCIe6yAP_7oDIBA&usg=AFQjCNGQZQIJw0KtOkPF1PA16GmcaU5NPw&sig2=-Atp5NFDc0MIa_jabgkAuQ&bvm=bv.62922401,d.bGQ
- /6/ Robotiikka, Suomen robotiikka yhdistys ry, 1999
- /7/ Salmelin B & Temmes J, 1984, Robottiautomaatio, 5-11
- /8/ Steven engineering, New products from Omron, 2008, Viitattu 24.05.2013
<http://steven-engineering.blogspot.fi/2008/07/new-products-from-omron.html>
<http://www.tekniikkatalous.fi/ict/konenako+ei+vasy+eika+hutiloi/a76729>
- /9/ Thomasnet, vision systems, Viitattu 11.12.2013
<http://news.thomasnet.com/news/vision-systems/2360>
- /10/ Tkk, automation, Viitattu 25.5.2013
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:eau6CMJ-IWUJ:automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c_teorja.pdf++&hl=fi&gl=fi
- /11/ Toimittajan 1 julkaisematon tutkimusmateriaali

- /12/ Toimittajan 2 julkaisematon tutkimusmateriaali
- /13/ Wikispaces, koneautomaatio, konenäköjärjestelmät, Viitattu 11.12.2013
<http://koneautomaatio.wikispaces.com/Konen%C3%A4k%C3%B6j%C3%A4rjestelm%C3%A4t>