

Jyri Niemi

KONENÄKÖJÄRJESTELMIEN YHDENMUKAISTUS- JA
KEHITYSMAHDOLLISUUKSIEN TUTKIMINEN

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
2019

KONENÄKÖJÄRJESTELMIEN YHDENMUKAISTUS- JA KEHITYSMÄHDOLLISUUKSIEN TUTKIMINEN

Niemi, Jyri
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Joulukuu 2019
Sivumäärä: 31
Liitteitä: 0

Asiasanat: konenäkö, tuotantolinja, kuvantulkinta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia pakkauslinjojen konenäköjärjestelmien yhdenmukaistus- ja kehitysmahdollisuuksia.

Tutkimuksissa perehdyttiin erään nimeämättömän yrityksen pakkauslinjoilla tapahtuvaan myyntipakkausprosessiin. Tutkittu prosessin osa oli tuotteiden tarkastukseen liittyvä leimaus- ja kuvausprosessi, jossa myyntipakkauksiin tulostetaan dataa, jota tarkastetaan konenäön avulla.

Tutkimukset aloitettiin tutustumalla konenäköprosessiin, joka käsitti yhden kameran ja järjestelmätoimittajan prosessiin räätälöimän ohjelman. Tämän jälkeen järjestelmää testattiin eri tavoin kuvaamalla erilaisilla asetuksilla kuvasarjoja, jotta voitiin havaita asetusten aiheuttamia muutoksia kuvien arvosteluissa. Näiden tutkimusten perusteella tehtiin jatkotutkimuksia, joista voitiin johtaa kehitysmahdollisuuksia. Tutkimusta tehdessä huomioitiin myös ohjelman ulkopuolisia seikkoja, kuten kuvausaseman ympäristöä ja linssin ominaisuuksia.

EXPLORING THE POSSIBILITIES OF UNIFYING AND DEVELOPING OF MACHINE VISION SYSTEMS

Niemi, Jyri

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical and Automation engineering

December 2019

Number of pages: 31

Appendices: 0

Keywords: machine vision, production line, picture inspection.

The purpose of this thesis was to investigate possibilities for unification and development on packaging line machine vision systems.

The investigations covered the process for sales packaging on the packaging lines of an unnamed company. Investigated part of the packaging process included printing and imaging. During the process, data is printed on sales packages, which then are monitored by machine vision.

The research began by getting familiar with the machine vision process, which consists of one camera and a program built for the process by system provider. After that, the system was tested in different ways by photographing series of pictures with different camera settings, so differences caused by the settings could be detected during grading. These investigations led to further investigations, which could lead to finding possibilities for development. Other aspects outside of the programs, such as the environment of the imaging stations and characteristics of the lens, were also accounted for during the study.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KONENÄÖN TEORIAA.....	6
2.1	Konenäkö lyhyesti	6
2.2	Konenäköjärjestelmän osat	6
2.3	Valaistus.....	7
2.4	Linssi.....	7
2.5	Kenno.....	8
2.6	Kuvan prosessointi.....	9
2.7	Kommunikaatio.....	9
3	JÄRJESTELMÄÄN PEREHTYMINEN	10
3.1	Kamerat.....	10
3.2	Pakkauslinjat.....	11
3.3	Ohjelma.....	12
3.4	Kuvan arvostelu	12
4	JÄRJESTELMÄN OMINAISUUKSIEN TUTKINTA	15
4.1	Ensimmäinen tutkimus.....	16
4.2	Ensimmäisen tutkimuksen tulokset.....	16
4.3	Toinen tutkimus	18
4.4	Toisen tutkimuksen tulokset	19
4.5	Testitulosten vertailu.....	21
4.6	Kolmas tutkimus	23
4.7	Kolmannen tutkimuksen tulokset	24
5	YHTEENVETO JA KEHITYSMAHDOLLISUUDET	28
	LÄHTEET.....	30

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia pakkauslinjojen konenäköjärjestelmien yhdenmukaistus- ja kehittymismahdollisuuksia, ja tutkimus kohdistettaisiin myyntipakkaustasolle. Tällä tasolla pakkaukset leimataan ja leimat tarkastetaan. Tutkittavana oli tuotantolinjan konenäköjärjestelmä, jolla tarkastetaan pakkausvaiheessa pakkauksiin tehtäviä merkintöjä. Merkintöjä käytetään tuotannon laadun tarkastukseen ja serialisointiin, joten hyvä laatu ja tunnistaminen ovat tärkeitä ominaisuuksia. Muihin kuvausasemiin ei tulla perehtymään tässä työssä.

Konenäköjärjestelmät on tilattu kokonaisuutena taholta, jota tullaan tässä opinnäytetyössä kutsumaan järjestelmätoimittajaksi. Pakkauslinjat on toimitettu yksittäisinä projekteina, ja käyttöönoton jälkeen linjojen kuvausjärjestelmien kaikki asetukset eivät ole olleet yhteneväisiä linjojen välillä. Pakkauslinjoja on useita, ja tutkittavan aseman kaltaisia asemia on jokaisella pakkauslinjalla yksi. Työssä tutkittiin, voisiko kuvausprosessia optimoida tai yhdenmukaistaa jotenkin, esimerkiksi lisäämällä ns. pimiö tai yhdenmukaistamalla kameroiden asetuksia.

Prosessin optimoinnilla ja yhdenmukaistuksella toivottiin saavutettavan parannuksia alkutilanteeseen verrattuna. Näitä parannuksia olisivat pakkausten hylkyprosentin alentaminen sekä yhdenmukaistamisen tuoma helpotus ongelmatilanteiden selvittämisessä. Nykytilanteessa pakkauslinjat eivät ole suoraan vertailtavissa keskenään, ja yhdenmukaistuksen myötä tämän toivottiin olevan mahdollista.

2 KONENÄÖN TEORIAA

2.1 Konenäkö lyhyesti

Konenäöllä tarkoitetaan ratkaisua, jossa laitteista ja ohjelmistoista muodostuva kokonaisuus suorittaa ennalta määrättyä tehtävää perustuen valokuvaukseen. Järjestelmä ottaa kuvia, prosessoi niitä ja suorittaa tehtäviä kuvista saatavien tietojen perusteella. Haluttuja tietoja saattavat olla esimerkiksi mitat, pinnanmuodot, ulkoviivat, koodintai tekstinluku ja muodontunnistus. (Cognex Corporation 2016.)

Teollisissa järjestelmissä konenäköä voidaan soveltaa tehtäviin, jossa tarvitaan kohteen tai muodontunnistusta mahdollisesti lyhyellä aikavälillä. Esimerkiksi tuotantolinjaan liitetty konenäköjärjestelmä pystyy huolehtimaan tuotteen laadunvalvonnasta nopeammin, tarkemmin ja toistettavammin kuin ihminen. Kasvatettaessa kameran tarkkuutta voidaan rakentaa järjestelmä, joka pystyy tarkkailemaan ihmissilmälle liian pieniä yksityiskohtia. Pitkässä juoksussa tällä tavalla voidaan mahdollistaa säästöjä tai tuotannon kasvua. (Cognex Corporation 2016.)

Konenäön suurimpia etuja ovat toistettavuus ja nopeus, mutta myös kasvanut turvallisuus. Ihmisen ei tarvitse olla tarkistettavan kohteen lähietäisyydellä, vaan prosessia voi tarkkailla mahdollisesti vaarallisen tuotantoympäristön ulkopuolelta. Kääntäen on myös mahdollista pitää haluttu tila puhtaana, sillä ihmisen pysyessä ulkopuolella kontaminaatoriski laskee huomattavasti. (Cognex Corporation 2016.)

2.2 Konenäköjärjestelmän osat

Konenäköjärjestelmä on useiden osien yhdistelmä, ja usein mukautettu tarpeiden mukaan. Tämän vuoksi järjestelmiä on useita erilaisia. Voidaan kuitenkin rajata, että järjestelmälle olennaiset osat ovat itse kamera, valaistus, tulo-/lähtöliitäntäyksikkö ja kuvan prosessointi. Valaistus valaisee kohteen, minkä jälkeen linssi kohdistaa valonsäteet kameran kennolle. Kameran kenno kääntää kuvan digitaaliseksi tiedoksi ja lähettää sen prosessoitavaksi.

Prosessoinnissa kuvaa tarkastellaan algoritmien avulla, jotta siitä saadaan haluttua tietoa. Näiden tietojen perusteella järjestelmä suorittaa haluttuja toimenpiteitä. Osien välinen kommunikaatio hoituu tulo-/lähtöliitäntäyksiköiden ja dataväylien kautta.

2.3 Valaistus

Valaistus voidaan toteuttaa konenäköjärjestelmässä useilla eri tavoilla, ja sen tehtävänä on saavuttaa mahdollisimman optimaaliset kuvaolosuhteet. Valolla halutaan korostaa kuvattavan kohteen ominaisuuksia. Tämä tarkoittaa häiriöttömiä, heijastamattomia kuvia ja sitä kautta vertailukelpoisia ja mahdollisimman helposti tutkittavia kuvia. Valaistuksessa voidaan käyttää useita valaisintyyppisiä, joista yleisimpiä ovat LED-, loisteputki- sekä halogeenivalaisimet. (National Instruments 2019.)

Valaistuksen asettelu vaikuttaa myös kuvanottoon, sillä valon ominaisuuksia muuttamalla on mahdollista korostaa erilaisia asioita kappaleesta. Esimerkiksi taustalta tapahtuva valaisu luo suuren kontrastin kappaleen ja taustan välille, mikä on hyvä tutkittaessa kappaleen ulkomuotoa. Vastaavasti alle 45° kulmassa kappaleen pintaan osuva valaistus on omiaan paljastamaan epämuodostumia tasaiselta pinnalta. Myös käytettävän valon aallonpituudella ja värillä on vaikutusta lopulliseen kuvaan. (National Instruments, 2019)

Tässä tapauksessa kameroita käytetään tekstin tulkintaan, joten valaistuksen tulisi korostaa kuvattavan kohteen ominaisuuksia. Mustaa printtijälkeä valkoisella tasaisella pohjalla on mahdollista korostaa kirkkaalla, vaalealla valolla, jolla valaistaan koko kuvattava alue. (National Instruments 2019.)

2.4 Linssi

Linssin eli optiikan tehtävänä on kohdistaa valo kameran kennolle, jotta kohteesta heijastuvista valonsäteistä voitaisiin muodostaa kuva. Linssi määrittelee kuvasta monia asioita, kuten tarkennuksen, näkökentän laajuuden ja syväterävyysalueen. Se myös

vaikuttaa kuvan tarkkuuteen sekä valoisuuteen. Kameroita on tarjolla kiinteillä ja vaihdettavilla linseillä. Useat linssit ovat manuaalisesti tarkennettavia, mutta automaattitarkentuviakin malleja on saatavilla.

Tarkan kuvan saamiseksi olennainen asia on syväterävyys. Pienin syväterävyysalue saadaan suurella aukolla, pitkällä polttovälillä ja läheltä kuvattuna. Vastaavasti taas suurin syväterävyysalue saadaan pienellä aukolla, pienellä polttovälillä ja kaukaa kuvattuna. Linssin aukon kokoa kuvataan F-luvulla eli aukkosuhteella tai aperturella. Tämä tarkoittaa järjestelmän polttovälin ja valon sisääntuloa säätelevän aukon suhdetta. F-luku ilmoitetaan tavallisesti käänteislukuna, esimerkiksi 1/1,4 tai pelkästään 1,4. Käytännössä tämä tarkoittaa, että pieni arvo tarkoittaa isoa aukkoa ja päinvastoin. Syväterävyysalue voidaan kohdistaa säätämällä aukko suureksi, jonka jälkeen kohdistetaan tarkennus kohdilleen. Tämän jälkeen pienennetään aukkoa, ja tarvittaessa kohdistetaan tarkkuutta. Aukon pienentämistä tulee kompensoida valotusaikaa kasvattamalla. (Cognex Corporation 2016.)

2.5 Kenno

Kamera itsessään koostuu useista eri osista. Kamera muodostaa linssin läpi ohjautuvasta valosta kuvan ja ohjaa sen eteenpäin tarkasteltavaksi yleensä sarja- tai dataväylän kautta. Älykameroiden tapauksessa kuvankäsittely tapahtuu jo kamerassa itsessään, ja lähtöliitännät ohjaavat toiminnot eteenpäin järjestelmässä. (Cognex Corporation 2016.)

Suurta roolia kamerassa toimittaa sensori tai kenno, jonka tehtävä on muuttaa valoa eli fotoneja sähkövaraukseksi, jota pikseli kerrallaan lukemalla voidaan muodostaa kuva. Kennotekniikkaa on nykyisellään käytössä kahdenlaista, vanhempaa CCD-kennoa ja uudempaa CMOS-kennoa. Näiden kahden välillä suurin eroavaisuus on tapa, jolla kennolle syntyvä varaus muutetaan digitaaliseen muotoon. CCD-kenno siirtää varaukset yksitellen sarakkeilta yhdelle mittauspisteelle. Kuvan muodostaminen näin ollen kestää hieman kauemmin ja vaatii enemmän sähköä. CMOS-kennolla puolestaan jokaisella pikselillä on oma muunnin, mikä tekee kennotyypistä nopeamman. (Diffraction Limited 2018.)

Kolmas kennotyyppi on keväällä 2018 julkaistu QIS- eli Quanta Image Sensor -tyyppi. Tämä kenno poikkeaa edellisistä, sillä se perustuu JOTEiksi nimitettyihin pikseleihin, jotka kehittäjän Gigajotin mukaan voivat havaita valoa yksittäisinä fotoneina. Kennotyyppin pitäisi olla myös nopeampi kuin CCD- tai CMOS-kennot. Tämä kenno on vielä kehityksessä, eikä sitä ole yleisessä käytössä. (Gigajot 2019.)

2.6 Kuvan prosessointi

Kuvan prosessointi riippuu kameratyyppistä ja sille asetetuista vaatimuksista. Älykameran tapauksessa kuvaa saatetaan prosessoida jo kamerassa itsessään, ja tavallisella kameralla kuva saatetaan jälkikäsitellä erillisessä järjestelmässä. Yleensä jälkiprosessointi tarkoittaa kuvan kevyttä käsittelyä, minkä tarkoituksena on esimerkiksi pehmentää tai terävöittää kuvaa. Tavoitteena on kuvan luettavuuden parantaminen, ja tähän saatetaan pyrkiä ajamalla kuva etukäteen määritellyn suodattimen eli filterin lävitse. Suodattimia saattaa myös olla mahdollisesti useita samanaikaisesti. (Davies 2014.)

Toinen osa kuvan prosessoinnista on kuvan analysointi. Tämä tarkoittaa prosessia, jossa kuvan ominaisuuksia tutkimalla siitä pyritään löytämään esim. muotoja, reunoja, kuvioita ja muita ominaisuuksia. Kuvista voidaan näiden ominaisuuksien perusteella muodostaa käyttökelpoista dataa, esim. histogrammeja tai lukuja. (Shrestha 2019; Koljonen 2010.)

2.7 Kommunikaatio

Kommunikaatio konenäköjärjestelmän muihin osiin saattaa toimia monella eri tavalla, usein kuitenkin joko sarja- tai dataväylän avulla. On myös mahdollista, että kamera itse kommunikoi IO-yksikön kautta muiden järjestelmän osien kanssa. Dataväylä tarkoittaa jonkinlaista kommunikaatiotapaa, jonka kautta kamera lähettää tietoa. Yleisimpiä dataväyliä konenäkökameroissa ovat sarjakaapeli, Ethernet-pohjainen tai USB-pohjainen väylä. Sarjakaapelia käytetään Camera Link -pohjaisissa ratkaisussa, Ethernetiä GiGE Vision -pohjaisessa rajapinnassa, ja USB-väylää useissa eri standardeissa. (Cognex Corporation 2016; Korhonen 2014.)

3 JÄRJESTELMÄÄN PEREHTYMINEN

Järjestelmä on osa tuotantolinjan pakkauspuolta, ja on toimeksiantajan kolmannelta osapuolelta tilaama kokonaisuus. Koska kohteena olevat pakkauslinjat ovat jo käyttöönotettuja, muutoksia ei voitu tehdä kevyin perustein. Tämän vuoksi testaus ja tutkimukset toteutettiin testilinjalla. Testilinja on irrallinen linja, jolla voidaan simuloida toimintaa järjestelmän ja pakkauslinjan välillä käyttäen teollisuuslogiikkaa. Se mahdollistaa myös tulostuksen ja kuvausasetaman käytön. Tarkoituksena on mahdollistaa tutkimus- ja testaustoimenpiteet irrallaan käyttöönotetuilta varsinaisilta pakkauslinjoilta.

3.1 Kamerateerit

Järjestelmässä käytetään pääasiassa Baumerin kameroita ja Fujifilmsin linssejä. Yleisimmin käytetty linssi on Fujifilmsin Fujinon HF16HA-1B, ja kamerana Baumerin kamera. Kameroiden ominaisuuksia tutkiessa voitiin päätellä järjestelmässä käytössä olevan kameran malliksi TXG13-P.

Baumerin TXG13-P on Baumerin pitempään käytössä olleita malleja. 13-P käyttää Sonyn ICX-sarjan CCD-kennoa. Kameramalli käyttää kokosuljinta eli ns. *global shutteria*. 13-P –mallin resoluutio on 1382 x 1040 pikseliä. Linssiliitäntä on C-kantaa, ja sitä kautta mahdollistaa monenlaisten linssien käytön. Kamerassa on kiinnitysmahdollisuus jokaisella neljästä sivusta. Kameran I/O sisältää kaksi liitäntää, Ethernet-pohjainen, PoE-toimintoinen eli virtansa Ethernet-kaapelin kautta saava, GiGE Vision-standardin Ethernet-liitäntä sekä salamanohjaukseen tarkoitettu liitäntä.

GiGE Vision –standardi on liitäntätyyppi, joka on tarkoitettu nopeille teollisille kameroille. Standardi on IP- ja Ethernet-pohjainen. Standardi perustettiin vuonna 2006 alan valmistajien toimesta, ja sen tarkoituksena on yhdenmukaistaa käytössä olevia protokollia ja madaltaa kynnystä kolmansille osapuolille valmistaa lisälaitteita. Protokolla ei ole avoin, ja kamera-ajurien kehittämiseen tarvitaan lisenssi. (Automated Imaging Association n.d)

Linssinä toimiva HF16HA-1B on metallirakenteinen, kompakti ja kevyt. Linssi kiinnittyy C-kantaan, sen polttoväli on 16 millimetriä ja aukon suuruus vaihtelee välillä F1.4 – F16. Linssi on manuaalisesti säädettävä sekä mahdollistaa säätörenkaiden lukituksen ruuveilla. Linssin syväterävyyden kohdistusta koskien tämä tuottaa haasteita, sillä polttoväli on pieni, etäisyys kuvattavasta kohteesta on lyhyt, 185mm, ja linssin tarkennusrenkaassa ei ole tarkkoja etäisyysmerkintöjä. Linssissä on tarkat merkinnät aukon koolle, mutta tarkennus ilmoitetaan välillä Near – Far. (Fujifilm n.d)

3.2 Pakkauslinjat

Pakkauslinjan tarkasteltava kohta yksinkertaistettuna koostuu pakkauksia kuljettavasta liukuhihnasta, joka kulkee tulostusaseman lävitse. Tulostusasema sisältää tulostimen, kameran ja salamavalon. Pakkauksen kulkiessa pakkauslinjalla se ohittaa anturin, joka ohjaa tulostimen toimintaa. Tulostinyksikössä on tallessa tulostuspohjia. Nämä pohjat sisältävät sijaintitiedot tulostettaville kohteille ja muuttujille. Muuttujiin tarvittava data saadaan ohjaavalta järjestelmältä. Tämä järjestelmä toimii linkkinä linjan ja muiden sisäisten toimilaitteiden välissä. Mustesuihkutulostuspäiden jälkeen sijaitsee printtijälkeä valvova kamera, jonka tehtävänä on kuvata tulostettu data ja teksti tarkastettavaksi. Mikäli tulosteessa on epäselvyyksiä tai eroavaisuuksia järjestelmän dataan verrattuna, pakkaus hylätään.

Työssä tarkasteltavia myyntipakkausten kuvausasemia on yksi jokaisella pakkauslinjalla. Useimmat pakkauslinjoista eroavat toisistaan esimerkiksi pakkaustasoiltaan, mutta myyntipakkausten kuvausasemat ovat samankaltaisia jokaisella linjalla. Asemat ovat kaikki samalta järjestelmätoimittajalta, ja toimivat järjestelmätoimittajan räätälöidyllä ohjelmistolla. Kaikilla kuvausasemilla myös käytetään samanlaista, linssin ympärille kiinnittyvää rengasvalaisinta. Jokaisella linjalla etäisyys kuvattavan kohteen ja linssin välillä on vakio. Tästä voidaan johtaa, että kuvausasemaan voitaisiin kohdistaa optimointia, ja mahdollisesti saavutettavat hyödyt olisivat suoraan siirrettävissä muillekin linjoille.

Sivuhuomiona havaittiin, että valokuvaan kohteen taustalle jäävä alue ei ole samanlainen jokaisella linjalla. Valokuvan tausta on kuvan kannalta olennainen, sillä huono

tausta saattaa aiheuttaa heijastuksia kohteen valaistuksen seurauksena. Valon heijastuminen kirkkaasta metallista takaisin kameraan voi aiheuttaa lukuongelmia valokuvaan.

3.3 Ohjelma

Järjestelmässä käytetty ohjelmisto on järjestelmätoimittajan oma, tarkoitukseen kehitetty ohjelmisto. Ohjelmisto hoitaa serialisoinnin ja tiedonkulun muiden vaadittavien järjestelmien välillä.

Tutkimuksen kannalta olennaiset järjestelmän osat ovat OCR-työkalu ja DMV-työkalu. Näistä OCR- eli Optical Character Recognition -työkalu keskittyy tekstintunnistukseen, ja sitä käytetään myyntipakkauksiin tulostettavien merkkisarjojen tunnistukseen ja vahvistukseen. Merkkisarjojen täytyy täsmätä tietokannassa olevaan tietoon. Jos merkkisarja ei täsmää, pakkaus poistetaan pakkauslinjalta. Toinen käytetty työkalu on DMV- eli Data Matrix Verification -työkalu. Serialisoituihin myyntipakkauksiin tulostetaan yleensä $24 * 24$ pikselin kokoinen datamatriisi, johon koodataan pakkauksen kannalta olennaista tietoa. Datamatriisin resoluutio on riippuvainen siihen kirjoitettavan datan määrästä. Myös datamatriisin kohdalla sisältö tarkastetaan, ja huono datamatriisin laatu johtaa pakkauksen poistoon.

3.4 Kuvan arvostelu

Kuvan arvostelussa keskityttiin datamatriisin lukuun. Ohjelma arvostelee datamatriisia useilla eri kriteereillä, ja antaa jokaiselle arvosanan nolasta neljään. Datamatriisi-työkalu antaa enemmän vertailtavaa tietoa kuvasta kuin tekstintunnistustyökalu, joten tallennettuja kuvia on helpompi vertailla sen avulla. Näin ollen optimaalisia kuvausasetuksia etsiessä datamatriisin arvostelutulosten parantuessa voidaan olettaa asetusten muutoksen parantaneen järjestelmän kykyä lukea kuvaa. Ohjelmassa nämä parametrit näkyivät lyhenteillä. Kuvakaappaus arvojen esityksestä ohjelmassa näkyy kuvassa 1.



Kuva 1. Grading-arvot

Kuvassa esiintyvien lyhenteiden parametrit ovat selitetty alla järjestelmätoimittajan materiaalien mukaisesti.

- A, Axial Nonuniformity – Aksiaalinen epäyhdenmukaisuus. Ilmaisee koodin X-akselin ja Y-akselin yhdenmittaisuutta.
- C, Symbol Contrast – Kontrasti. Tarkoittaa eroa kuvan valkoisten ja mustien alueiden välillä.
- E, Unused ECC – Käyttämätön virhekorjaus. Arvo ilmaisee, missä määrin matriisin vauriot ovat heikentäneet virhekorjauksen tarjoamaa lukemisen turvamarginaalia. Eli se mittaa koodin jäljellä olevan virhekorjauksen määrää.
- F, Fixed Pattern Damage – Koodin kiinteiden osien vahinko. Arvo ilmaisee matriisin kiinteiden kuvioiden vaurioita. Näitä kiinteitä kuvioita ovat esimerkiksi vasemman reunan ja alareunan kiinteä paikannuskuvio sekä oikean reunan ja yläreunan vuorottaisten pisteiden kellokuvio. Vahinko näihin kuvioihin heikentää ohjelman kykyä paikantaa ja tunnistaa matriisia.
- G, Grid Nonuniformity – Ruudukon epäyhdenmukaisuus. Arvo ilmaisee ruudukon risteysten suurimman vektoripoikkeaman ihanteellisesta sijainnistaan. Toisin sanoen se tarkkailee, onko koodi säännöllisen muotoinen, vai onko siinä esimerkiksi vinoja sivuja tai vääristymiä.
- M, Modulation – Modulaatio. Arvo ilmaisee tummien ja vaaleiden moduulien heijastuskyvyn yhdenmukaisuutta koko symbolissa. Epätasainen heijastus saattaa johtua huonosta valaistuksesta tai epätasaisesta kohteesta.
- P, Print Growth – Tulosteen kasvu. Arvo ilmaisee, ovatko matriisin moduulit eli pisteet kasvaneet tai pienentyneet suunnitellusta koosta printtauksen aikana.

Esimerkiksi musteen leviäminen tai huono printteri saattaa aiheuttaa moduulien kasvua, mikä näkyy tässä arvosanassa.



Kuva 1. Epäonnistunut tuloste ja kuvan Grading-arvot

Kuvassa 2 on epäonnistunut ja järjestelmän hylkäämä tuloste. Kuva on arvostelussa saanut huonot arvosanat Unused ECC, Fixed Pattern Damage- ja Modulation-arvoissa. Kuvan printti on testitarkoituksessa luotu, ja numerot ovat satunnaisia.

4 JÄRJESTELMÄN OMINAISUUKSIEN TUTKINTA

Järjestelmän tärkeimpänä toimintona on serialisointi, jonka osana työssä tutkittu kamera-asema toimii. Serialisointi tarkoittaa, että jokaiseen linjalla tuotettuun myyntipakkaukseen tulostetaan yksilöllisiä tietoja, joiden avulla pakkauksen logistiikkaketjua voidaan seurata. Tämä on yksi lääkeväärennöksiä vastaan kehitetyistä toimenpiteistä.

Tutkimus aloitettiin keräämällä eri pakkauslinjojen kuvausasemilta talteen tietoa, jotta voitaisiin koostaa selkeä lähtötilanne. Järjestelmässä kameroiden asetukset ovat pakkauslinjoilla tuoteluokkakohtaisesti. Jokaiselta tuotantolinjalta hankittiin kuvausasemasta uusin saatavilla ollut varmuuskopiotiedosto. Näistä varmuuskopiotiedoista voitiin hakea kameroiden asetukset. Työ suoritettiin testilinjalla, sillä työ oli turvallista suorittaa siellä eikä se vaatinut tuotannolta resursseja.

Varmuuskopioiden tutkimuksessa käytiin läpi kaikki pakkauslinjat, ja jokainen näillä linjoilla ollut tuoteluokka. Näistä jokaisesta kerättiin talteen kolme arvoa, jotka olivat Exposure Time, Gain ja Offset. Verratessa normaaliin digitaalikameraan, Exposure Time vastaa valotusaikaa. Gain-arvo (min 0, max 10) puolestaan vastaa signaalin vahvistuksesta kameran sensorilla. Offset-arvo (min 0, max 255) vaikuttaa kuvan harmaatasapainoon. Arvoista koostettiin Excel-taulukko, johon myöhemmin lisättiin myös tuotantolinjakohtaisesti kameran linssistä saatu aukon koko.

Tämän jälkeen suoritettiin alustavia tutkimuksia testilinjalla. Testilinja on irtonainen tuotannosta, joten siellä voi suorittaa vapaammin tutkimusta. Testilinjalla on mahdollista tuottaa tuotantotasoista printtilaatua, joten otetuista valokuvista voidaan johtaa tutkimuskelpoisia tuloksia. Tulosten perusteella on mahdollista suorittaa kameran asetuksiin kohdistettavaa optimointia. Työn aikaisen laitteiston suorituskyvyllä on rajansa, mutta kameran optimoinnilla voidaan saavuttaa hyötyjä.

4.1 Ensimmäinen tutkimus

Ensimmäistä tutkimuskertaa varten laadittiin suunnitelma, joka toimi lähtökohtana. Suunnitelmaa oli tarkoitus mukauttaa ja täydentää testin edetessä. Suunnitelma sisällytettiin opinnäytetyöhön liitteeksi 1. Koska testilinja ei ole säännöllisessä käytössä, printtipäät saattavat kuivua. Vastatoimenpiteenä kuivumiselle ja printtijäljen parantamiseksi testin alussa ajettiin useita pakkauksia. Näihin pakkauksiin tulostettiin leimoja, mutta näistä ei otettu kuvia, sillä ne olisivat normaalia huonolaatuisempia. Tämän jälkeen ajettiin pakkauksia testitulosteiksi. Kameran asetuksia muutettiin säännöllisin väliajoin ohjelmapuolelta. Näistä pakkauksista otetut kuvat tallennettiin laitteelle, jotta ne olisivat saatavilla testin jälkeen mahdollisia jälkitutkimuksia ajatellen.

Lähtökohdaksi asetuksille valikoitui varsinaisilta tuotantolinjoilta kerätyistä kameraasetuksista yleisimmin käytetyt arvot. Nämä asetukset olivat valotusaika 310 mikrosekuntia, Gain 1, Offset 5 ja linssin aukko 3. Ensimmäisillä asetuksilla ajettiin 10 printtiä, jonka jälkeen linssin aukon koko nostettiin kahteen ja ajettiin toiset 10 printtiä. Näiden jälkeen ajettiin 30 printtiä, muuttaen Offset-arvoa kymmenen printin välein. Tarkoituksena oli selvittää Offset-arvon vaikutusta valokuvan luettavuuteen. Jälkikäteen katsottuna kuvat olivat silmännähdessä valoisampia, mutta vaikutus Grading-arvoihin selviää myöhemmin.

4.2 Ensimmäisen tutkimuksen tulokset

Ensimmäisessä tutkimuksessa ajettujen erien valokuvat arvosteltiin järjestelmätoimittajan ohjelmalla, minkä jälkeen arvostelujen keskiarvot tiivistettiin vertailtavaksi taulukkoon 1.

Taulukko 1. Tutkimuksen kaikkien erien keskiarvoiset tulokset

	Warmup	B1 a3	b1 a2	Off 255	Off 150	Off 50
A	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
C	2,2	2,2	3,9	3,9	4,0	3,8
E	2,7	3,2	3,2	3,4	3,2	3,6
F	2,6	2,6	3,3	3,1	3,3	3,1
G	4,0	3,9	4,0	3,8	3,5	3,7
M	1,1	1,6	1,0	1,0	1,6	0,8
P	2,9	3,3	2,6	3,4	3,2	2,4
Läp%	60,0	60,0	75,7	81,4	78,6	67,1

Taulukkoon laskettiin tämän lisäksi läpäisyprosentti. Oikealla linjalla yksittäinen kuva hylätään, jos yksikin arvo on alle hyväksytyyn rajan. Tämän vuoksi vertailussa oltiin kiinnostuneita arvojen hyväksynnästä, sillä yhdessä kuvassa voi olla useampia epäonnistumisia. Läpäisyprosentti laskettiin jakamalla onnistuneiden arvostelujen määrä kaikkien arvosteluiden määrällä. Tämä tehtiin eräkohtaisesti, jotta voitaisiin verrata erilaisten asetusten keskimääräisiä prosentteja.

Päällimmäiset huomiot testauksesta ovat aukon koon muutoksen vaikutus kuvan hyväksymiseen. Taulukkoon sinisellä pohjalla merkattu muutos johtuu siitä, että kameran aukon kokoa muutettiin kolmesta kahteen, jolloin kuvien C-arvo eli kontrasti parani yli puolellatoista pisteellä. Saman muutoksen jälkeen myös kuvien F-arvo eli kiinteiden kuvioden vahingon arvosana nousi, mikä tarkoittaa, että vahingot joko vähenivät tai kuvan luettavuus parani.

Ensimmäisen tutkimuksen perusteella huomattiin myös, että paras mahdollinen läpäisyprosentti saatiin, kun ohjelman Offset-arvo maksimoitiin, eli asetettiin 255:een. Arvosanoista voidaan myös päätellä, että kuvissa oli hyvin suuria ongelmia M-arvon eli modulaation kanssa. Tämä tarkoitti, että tulostukset tässä erässä olivat epäyhtenäisiä. Kuvia tutkimalla huomattiin printtilaadun olevan epätasaista, joka johti tummuuden sävyeroihin. Todennäköisesti huono modulaatio johtuu juuri näistä sävyeroista, sillä ohjelmalla oli luultavasti vaikeuksia lukea muuttuvaa tumman sävyä.

Positiivisena asiana huomattiin, että tulostimella pystyy tulostamaan suoraa ruudukkoa. A-arvo eli aksiaalinen yhdenmukaisuus ja G-arvo eli ruudukon yhdenmukaisuus olivat läpi tulosten lähellä täydellistä arvoa 4. Tästä voitiin päätellä, että ongelmat olivat päällimmäisenä printtilaadussa, ja tämän jälkeen kameran valotuksessa. Näitä parannettiin seuraavaan testiin.

Lisäksi ensimmäisessä tutkimuksessa kokeiltiin myös laitteiston rajoja valotusajan suhteen. Asetukset asetettiin ns. normaaliasetuksille eli Gain-arvo 1 ja Offset-arvo 5. Valotusaikaa oli tarkoitus nostaa, ja ylivalottumisen välttämiseksi aukon kokoa skaalattiin kuvien vaaleuden mukaan. Kuvien arvosteluun ei niinkään kiinnitetty huomiota, vaan haluttiin löytää piste, jossa kuvat muuttuvat täysin lukukelvottomiksi. Valo-

tusajaksi asetettiin alussa 310 ja aukon kooksi 3. Tästä valotusaikaa lähdettiin nostamaan pykälittäin. Ensin viiteensataan, sitten tuhanteen ja niin edelleen. Järjestelmällä ei tullut ongelmia, joten tuhannesta mikrosekunnista siirryttiin suoraan kahteen tuhanteen. Kahden tuhannen jälkeen noustiin noin 150 mikrosekunnin pykälissä. Raja tuli vastaan 2500 mikrosekunnissa. Neljä viidestä kuvasta epäonnistuivat arvostelussa, ja kaikki testatut kuvat 2500 mikrosekunnin yläpuolella olivat myös lukukelvottomia. Valokuvat kuitenkin olivat ihmissilmälle hyvälaatuisia, vaikkakin huonosti valotettuja. Arvoja testattiin varmuuden vuoksi yli kolmen tuhannen mikrosekunnin valotusajalla. Täytyy kuitenkin muistaa, että tämän testierän tulostuslaatu on ollut yleisesti huonompaa kuin normaalilla tuotantolinjalla. Tämä tarkoittaa, että valotusaikaa saataisi olla mahdollisuus pidentää paremmalla tulostuslaadulla. Tämä ei kuitenkaan ollut tarpeellista, joten hyvänä valotusaikana voitiin pitää noin tuhatta mikrosekuntia.

4.3 Toinen tutkimus

Toista tutkimuskertaa varten varmistettiin parempi tulostuslaatu, jotta luettavat tulokset tuottaisivat yhdenmukaisempia ja parempia tuloksia. Samoin kuin ensimmäisen tutkimuksen testeissä, laadittiin suuntaa antava suunnitelma. Suunnitelma löytyy opinäytetyön liitteenä 3.

Toisella tutkimuskerralla testattiin osittain samoja asioita kuin ensimmäisellä, mutta testeissä käytettiin ensimmäisen tutkimuskerran tuloksista johdettuja arvoja. Myös testierien kokoa kasvatettiin kymmenestä kuvasta 25 kuvaan. Tämän tarkoituksena oli kerätä enemmän dataa paremman vertailun saavuttamiseksi. Kaikkia läpikäytyjä kuvia ei otettu huomioon arvostelussa, sillä järjestelmä hylkäsi nämä. Ennen tutkimusta huomioon tuli ottaa testilinjan käyttämättömyyden aiheuttama tulostuspäiden kuivuminen. Tämän vuoksi ennen testiä tulostimen läpi ajettiin useita pakkauksia. Nämä pakkaukset jätettiin arvioinnissa huomiotta.

Kuvaaminen aloitettiin kuvaamalla sarja linjoilta kerättyyn dataan pohjautuvilla asetuksilla. Tämän jälkeen tutkittiin kolmen eri asetuksen vaikutusta kuvan laatuun. Ensimmäisenä testattiin Offset-arvon vaikutusta kuvaan. Offset-arvon tutkimus aloitettiin maksimiarvosta 255, jonka jälkeen testattiin arvolla 150 ja viimeiseksi arvolla 50.

Tarkoituksena oli saada kuvasarjat asetuksen ääripäistä sekä keskivaiheilta valitulla arvolla. Offset-arvon jälkeen testattiin Gain-arvon vaikutusta valokuvaan. Gain-arvo voi olla väliltä 0-10, mutta testissä tutkittiin arvoja väliltä 2-4. Nämä arvot oli havaittu aikaisemmin hyviksi ensimmäisessä testissä. Korkeat Gain-arvot alkavat rakeistaa kuvan laatua. Viimeisenä kohtana tutkittiin valotusaikaa. Ensimmäisellä tutkimuskerralla valotusaikaa testattiin ottamalla vain yksittäisiä kuvia eri arvoilla, mutta tällä kertaa valittiin viisi arvoa, joista jokaisella ajettiin 25 kuvan testierä. Nämä arvot olivat testausjärjestyksessä 2000, 1800, 1500, 2250 ja 2500 mikrosekuntia. Kuvat tallennettiin ulkoiselle muistille talteen, ja niiden Grading-arvot tarkastettiin myöhemmin.

4.4 Toisen tutkimuksen tulokset

Toisessa tutkimuksessa oli mukana noin 300 kuvaa. Jokainen kuva arvosteltiin yksitellen käyttäen järjestelmätoimittajan räätälöidyn ohjelman DMV-työkalua, ja arvოსانات koostettiin taulukkoon käytettyjen asetusten mukaisiin sarjoihin. Näistä kaikista sarjoista laskettiin keskiarvot ja läpäisyprosentit, ja nämä kerättiin vierekkäin vertailtavaksi taulukkoon kaksi.

Taulukko 1. Tutkimuksen kaikkien erien keskiarvoiset tulokset

	Vertailussa kaikkien erien keskiarvot											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	4,0	4,0	4,0	3,9	4,0	3,9	3,9	4,0	3,9	3,8	4,0	4,0
C	1,7	1,7	1,7	1,7	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,1	3,5
E	3,2	3,1	3,6	3,5	3,6	3,7	3,4	3,0	3,4	2,5	3,5	3,5
F	4,0	4,0	4,0	4,0	3,8	4,0	4,0	3,6	3,8	3,8	3,7	3,7
G	3,3	3,2	3,4	3,3	3,3	3,5	3,3	2,4	2,9	3,2	3,3	3,1
M	4,0	4,0	3,8	3,7	3,7	3,7	3,8	3,1	3,7	2,8	2,5	2,2
P	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	2,2	3,9	4,0	4,0	4,0
Läp%	81,4	78,3	81,2	79,5	94,3	96,9	93,7	81,1	93,1	88,6	89,4	86,3

Eriä oli 12, ja jokaisessa erässä oli käytetty hieman erilaisia asetuksia. Tämän vuoksi näitä kaikkia eriä ei vertailtu keskenään, vaan vertailtiin yhden asetuksen vaikutuksia arvostelutuloksiin. Tämä tarkoitti, että erä 0 oli perusasetuksilla kuvattu erä, jossa käytettiin aikaisemmin linjoilta kerätyn datan mukaisia asetuksia. Erät 1-3 olisivat Offset-arvon vertailua, 4-5 Gain-arvon vertailua ja 7-11 valotusaikaan perehtymistä. Näitä eriä havainnollistettiin taulukossa kolme korostamalla keskenään vertailtavat erät samalla värillä. Taulukossa kolme on myös ilmaistu jokaisessa erässä käytetyt asetukset sekä läpäisyprosentti.

Taulukko 2. Toisen tutkimuksen asetukset ja läpäisyprosentti

Sarja	Exp	Gain	Offset	Aukko	Läp%
0	310	1	5	3	81,4
1	310	1	255	3	78,3
2	310	1	150	3	81,2
3	310	1	50	3	79,5
4	310	2	5	3	94,3
5	310	3	5	3	96,9
6	310	4	5	3	93,7
7	2000	1	5	3	81,1
8	1800	1	5	3	93,1
9	1500	1	5	3	88,6
10	2250	1	5	1,4	89,4
11	2500	1	5	1,4	86,3

Taulukossa on harmaalla värillä esitetty linjojen asetuksilla kuvattu erä, valkoisella värillä Offset-asetuksen testaus, vihreällä värillä Gain-arvon testaus ja keltaisella valotusajan vertailuun käytettävät erät.

Offset-arvon muutoksilla ei ollut suurta vaikutusta arvosteluihin. Offset-arvon ollessa suurin mahdollinen eli 255 läpäisyprosentti oli 78,8%, asteikon keskivaiheilta valitulla arvolla 150 läpäisyprosentti oli 81,2% ja arvolla 50 läpäisyprosentti oli 79,5%. Näiden erien lisäksi perusasetuksilla ajettulla erällä, joka ajettiin muuten identtisillä asetuksilla Offsetin ollessa 5, saatiin läpäisyprosentiksi 81,4%. Näin ollen neljän peräkkäisen erän arvot olivat 81,4%, 78,8%, 81,2% ja 79,5%. Erojen ollessa hyvin pieniä erien välillä tämän voitiin olettaa olevan tilastollista vaihtelua, joka selittyy tulostuslaadun vaihtelulla.

Testissä testattiin myös kolmen erän verran matalan Gain-arvon käyttöä. Aikaisempiin kuviin perustuen tiedettiin korkean Gain-arvon tuottavan rakeisuutta kuviin, joten haluttiin pysyä matalissa arvoissa. Tästä syystä testiin valittiin arvot 2, 3 ja 4. Suurin mahdollinen Gain-arvo on 10 ja pienin 0. Nämä matalalla Gain-arvolla kuvatut sarjat tuottivat parhaat läpäisyprosentit koko tutkimuksessa. Paras läpäisyprosentti, 96,9%, saavutettiin Gain-arvolla 3 valotusajan ollessa 310 mikrosekuntia.

Valotusaikaa testatessa valittiin viisi arvoa 1500 ja 2500 mikrosekunnin väliltä. Aikaisemmissa tutkimuksissa oli havaittu, että 2500 mikrosekunnin alla pystyttiin samaan lukukelpoisia kuvia, joten tämän vuoksi mukaan ei otettu pitempiä valotusaikoja. Li-

säksi suuremmilla valotusajoilla, 2250 ja 2500 mikrosekuntia, ylivalottumisen välttämiseksi linssin aukon kokoa täytyi pienentää. Parhaaksi testatuista valotusajoista osoittautui 1800 mikrosekuntia aukon koon ollessa 3. Tämän jälkeen kaikki suuremmalla valotusajalla otetut sarjat saivat huonommat läpäisyprosentit. Huonoin läpäisyprosentti saatiin valotusajan ollessa 2000 mikrosekuntia.

Testituloksia tarkastellessa huomattiin modulaatioarvon alkavan laskea valotusajan kasvaessa. Modulaatioarvolla mitataan tummien ja vaaleiden moduulien heijastusta. Tämä arvonlasku tarkoittaa, että valotusajan kasvaessa kohteiden liike sumentaa kuvaa. Testituloksissa näkyy poikkeama, sillä yksi sarja poikkeaa muuten lineaarisesta sarjasta. Omituisesti tosin lyhyin valotusaika sarjassa, 1500 mikrosekuntia, tuotti keskiarvoksi 2,8 ja 1800 mikrosekuntia 3,7. Tämä olisi jatkotutkimuksen arvoista.

Positiivisena asiana huomattiin, että A- ja G-arvot olivat korkealla, joten näiden tutkimiseen ei tarvitsisi kiinnittää niin suurta huomiota. Edellisestä testistä printtिलातukin oli parantunut, joten voidaan todeta, että valaistus ja linssien kohdentaminen olisivat tärkeimmät tutkimuskohteet jatkossa. Valotusajan suhteen voitiin todeta kahdentuhannen mikrosekunnin jälkeen kuvan modulaation huonontuvan hyvin paljon, joten valaistusta täytyy hakea ensisijaisesti linssin aukon koolla, ja vasta sen jälkeen valotusajalla. Pienen Gain-arvon käyttäminen tuotti testissä parhaat arvosanat.

4.5 Testitulosten vertailu

Toisen tutkimuskerran suurempien eräkokojen vuoksi kerättyjen kuvien määrä kasvoi. Ensimmäisessä tutkimuksessa oli hieman yli sata kuvaa, ja toisessa lähes kolmesataa kuvaa. Tällä oli saavutettavissa varmempia tuloksia, sillä yksittäisellä keskitasoa huonommalla tulosteella olisi pienempi vaikutus sarjan keskiarvoiseen tulokseen.

Koostavasta taulukosta huomattiin, että toisen tutkimuksen arvosanat olivat parempia kuin ensimmäisen. Tämä johtui siitä, että toista tutkimuskertaa varten tulostimeen hankittiin uusi mustekasetti. Tämän avulla tulostuslaatu parani ensimmäisestä tutkimuksesta. Ensimmäisen ja toisen tutkimuskerran tuloksia kohdeltiin kuitenkin erillisinä erinä, jotta eri tulostuslaatuja ei vertailtaisi keskenään. Ensimmäisen tutkimuskerran

tulokset olivat tietysti tasaisesti huonommat, mutta tarkoitus oli löytää saman asetuksen aiheuttamaa samanlaista muutosta molemmissa tutkimuksissa.

Kahden eri testin kuvia verratessa huomatiin eroja valotukseen liittyen, sillä ylisuuri kontrasti vaikutti auttavan kuvien tulkintaa heikolla tulostuslaadulla. Ensimmäisen tutkimuskerran tuloksissa todettiin, että kirkkaalla valotuksella kuvatut kuvat saivat parhaat arvostelut. Toisella tutkimuskerralla huomattiin kuitenkin, että parhaat arvosanat näyttivät saavan silminnähdän harmaat eivätkä mustavalkoiset kuvat. Ero todennäköisesti johtui siitä, että tasainen, vähän peilaava valaistus muodostaa kuvasta lievästi harmaan. Terävä, vaalea valaistus saattoi aiheuttaa heijastuksia tai muita häiriöitä.

Toisin kuin ensimmäisessä tutkimuksessa, toisella tutkimuskerralla Offset-arvon muuttaminen ei vaikuttanut suuresti järjestelmän arvosteluihin. Tämä johtuu siitä, että Offset-arvolla on tarkoitus parantaa kuvan luettavuutta. Valitettavasti tähän ei voitu perehtyä tarkemmin, sillä järjestelmätoimittajan manuaalit eivät avanneet asetuksen toimintaa tämän syvällisemmin. Voidaan kuitenkin spekuloida, että tämä tapahtuu, koska Offset-asetus sallii pienen säätövaran kuvan harmaatasapainoon. Tällöin tietty sävy saatettaisiin tulkita tummemmaksi tai vaaleammaksi riippuen läheisien pikselien sävyistä, eikä sävykartta olisi samanlainen koko kuvalle.

Offset-arvo molempien tutkimusten perusteella vaikutti parantavan huonon kohteen luettavuutta. Ensimmäisessä testissä huonon printtilaadun luettavuus parantui, kun Offset maksimoitiin. Puolestaan jälkimmäisessä tutkimuksessa oli parempi printtilaatu, ja luettavuus ei parantunut Offset-asetusta käyttämällä. Järjestelmätoimittajan dokumenteista ei ollut paljoa apua ongelmaan liittyen, sillä ne eivät kerro asetukselle sen suuremmin taustaa. Offset-arvon säätämisestä pakkauslinjalta saatavalla printtilaadulla näiden testien perusteella ei olisi suurta apua.

Testatessa myös ilmeni, että Gain-arvoa kasvattamalla kuva alkaa rakeistua. Tätäkään asetusta ei avattu manuaaleissa kuin pinnallisesti. Asetuksen toiminnan perusteella voidaan kuitenkin olettaa Gain-arvon vahvistavan kameran sensoreilta lähteviä signaaleja, jolloin kuvan muodostuessa myös kuvan sävyt vahvistuvat. Tämän vuoksi asetuksella on mahdollista korvata heikkoa valotusta, mutta rakeistumisen vuoksi vain

hieman. Voitiinkin olettaa, että mikäli Gain-arvoa tarvitaan, parhaimmillaan se olisi välillä 1-3, maksimin ollessa 10 ja minimin ollessa 0.

Kolmannessa tutkimuksessa tulisi kiinnittää erityistä huomiota C-arvoon eli kuvan kontrastiin, ja M-arvoon eli modulaatioon. Varsinkin modulaatio tuntuu tuottavan järjestelmälle vaikeuksia, erityisesti valotusajan kasvaessa. Tämä saattaa johtua siitä, että liikkuvat kohteet aiheuttavat häiriötä valon heijastukseen, jolloin kuva muuttuu epä-tarkaksi.

4.6 Kolmas tutkimus

Tutkimukseen tarvittavat testitulosteet kuvattiin testilinjalla, ja käytiin läpi jälkikäteen prosessin nopeuttamiseksi. Offset-arvo jätettiin tutkimusten ulkopuolelle, sillä asetuksella ei ollut huomattu suurta vaikutusta arvosteluihin, kun tulostettiin haluttua tuloslaatua. Arvon oli huomattu kevyesti vaalentavan kuvaa ja siten hieman parantavan luettavuutta huonoilla tulosteilla. Koska ominaisuus saattaa auttaa lukemaan muutamia lähes hylättyjä tulosteita, sitä ei saisi käyttää liian voimakkaalla arvolla, koska liian huonoa printtilaatua ei saisi päästää läpi. Tämän vuoksi arvoksi valikoitui matala 50, maksimin ollessa 255.

Kolmannessa tutkimuksessa keskityttiin kuvan valotuksen tutkimiseen ja parhaimpien asetusten löytämiseen. Valotuksen tutkimisessa tuli ottaa huomioon linssin aukon koko, kameran valotusaika sekä Gain-arvon voimakkuus. Tutkimuksen aikana testattiin näiden kolmen arvon erilaisia yhdistelmiä. Tutkimus aloitettiin matalalla valotusajalla, 300 mikrosekuntia, ja valotusaika nostettiin testin edetessä 2000 mikrosekuntiin. Testin aikana valotusaikaa ei kuitenkaan nostettu jokaisen erän jälkeen, vaan samalla valotusajalla saatettiin testata eri Gain-arvoja sekä linssin aukon asetuksia.

Ennen testiä linssin syvyytarkkuutta koitettiin parantaa kohdistamalla linssi paikallaan olevalla mallikohteella. Linssin aukko käännettiin pieneksi, minkä jälkeen syvyys haettiin kohdalleen. Seuraavana aukon kokoa kasvatettiin, ja syvyyttä hienosäädettiin. Tämä kohdistaa linssin syvyyden optimaaliseksi, jolloin kuvien tarkkuusalueeseen

saatiin enemmän syvyyttä. Tällä tavoiteltiin parempaa valokuvan lukua, sillä tulosteella olisi muutaman millin liikkumavara ilman, että tästä syntyisi virhettä tai huonoa kuvaustarkkuutta kameralle. Syvyysterävyysalue olisi mahdollista kohdistaa matemaattisesti. Näin ei tehty, sillä kameran linssin tarkennusrenkaassa olevat asteikko-merkinnät olivat puutteelliset. Tämän vuoksi oli mahdotonta päätellä linssin aluetta tarkkaan. Tästä syystä syvyys kohdistettiin silmävaraisesti järjestelmän livekuvaa käyttäen. Tässä kuvaustilanteessa laaja syvyysterävyysalue on kuitenkin mahdoton, sillä kamera sijaitsee lähellä kuvattavaa kohdetta, linssin aukon täytyy valotuksen vuoksi olla suuri, ja kameran polttoväli on hyvin pieni. Pienen aukon aiheuttamaa tummuutta voitaisiin teoriassa kompensoida valotusajalla, mutta tutkimuksissa pitkän valotusajan on huomattu pudottavan modulaatioarvoa. Tämän takia valotusajan suuri kasvattaminen aiheuttaisi ongelmia luettavuudessa.

4.7 Kolmannen tutkimuksen tulokset

Kolmannessa testissä ajettiin kaiken kaikkiaan 25 erää erilaisilla asetuksilla, ja valokuvia kertyi yhteensä 508. Aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna tämä oli suurin määrä kuvia, minkä vuoksi kuvien läpikäyntiin tarvittiin enemmän aikaa. Testin arvosteluista suljettiin ulos erät 16, 18, 21, 23, 24 ja 25. Näissä kuvat olivat joko ylivalottuneita, lukukelvottomia tai kuvat tuottivat liian huonoja tuloksia kelvolliseen vertailuun muihin eriin verrattuna. Tutkimuksen tulokset tiivistettiin taulukkoon 4.

Taulukko 3. Tutkimuksen kaikkien erien keskiarvoiset tulokset

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17	19	20	22
A	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
C	2.2	4.0	4.0	2.9	1.1	3.2	2.7	4.0	4.0	1.5	3.4	4.0	2.4	4.0	4.0	4.0	3.0	4.0	3.3
E	3.3	3.0	3.7	3.8	3.7	3.5	3.1	3.9	3.4	3.0	3.1	2.9	3.3	2.8	3.2	3.0	3.4	2.6	1.6
F	3.8	3.5	3.6	3.7	3.4	3.5	3.4	3.5	3.3	3.1	3.2	2.7	2.9	2.8	2.6	2.0	2.1	2.3	2.0
G	3.6	3.5	3.7	3.9	3.9	3.5	3.9	3.8	3.7	4.0	3.9	3.4	3.8	3.5	3.7	3.2	3.8	3.5	3.4
M	3.3	3.0	3.1	2.2	1.7	2.3	1.3	2.5	1.9	1.2	1.2	1.1	1.4	1.2	1.1	0.3	0.7	0.5	0.0
P	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	4.0	3.8	3.8	3.9	3.8	4.0	3.9	4.0	3.9	4.0	3.9	3.7
Läp%	79.2	92.3	97.0	91.7	72.6	88.7	84.5	92.3	83.9	67.7	79.8	71.4	67.1	72.7	74.8	63.4	70.1	63.0	58.8

Aikaisemmin havaitun modulaatioarvon laskemisen vuoksi tutkimusta painotettiin enemmän lyhyille valotusajoille. Tutkimus aloitettiin 300 mikrosekunnin valotusajalla, ja kuvattiin neljä erää käyttäen erilaisia Gain-arvon ja linssin aukon koon yhdistelmiä. Järjestyksessä nämä olivat 1/1,4, 2/1,4, 3/1,4 ja 3/3 (Gain/aukko). Nämä ensimmäiset erät saivat tutkimuksen parhaat läpäisyprosentit, ja toisessa ja kolmannessa

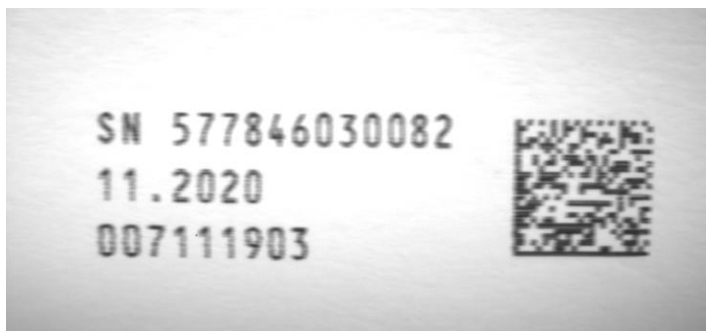
erässä sekä kontrasti- että modulaatioarvot olivat testin parhaimpia. Esimerkki erästä 3 kuvassa 3.



Kuva 2. Esimerkkikuva erästä 3

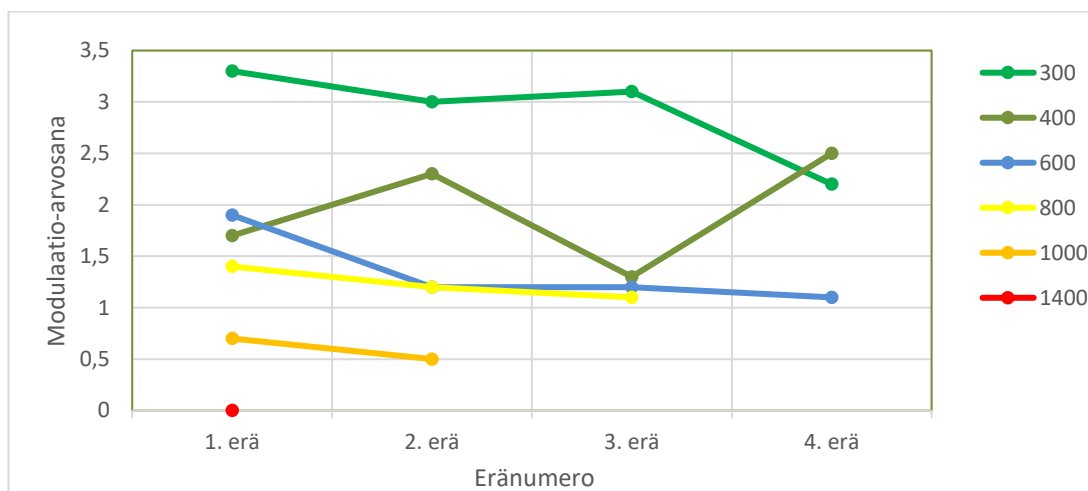
Samanlaiset testit Gain-arvon ja aukon suhteen ajettiin 400 ja 600 mikrosekunnilla, yhteensä kahdeksan erää. Näistä neljä erää sai läpäisyprosentiksi alle 80%, kolme 80% - 90% ja yksi yli 90%. Tämä yli 90% läpäisyn saanut erä oli asetuksiltaan valotusaika 400 mikrosekuntia, Gain 2 ja aukko 1,4. Erän valokuvat olivat silmin tarkastellessa hyvin saman näköisiä kuin erän 3, eli silmin nähden vaaleita ja reunaa kohti tummenevia. Valotusajan noustua yli kuuteensataan mikrosekuntiin tai ylemmäs vain yksi erä pääsi läpäisyprosenttiltaan yli 80%. Tulosten huononemisen vuoksi näitä eriä ei kannattanut käsitellä yksittäin.

Kolmannen tutkimuksen tärkein havainto oli modulaatioarvon jatkuva putoaminen valotusajan kasvaessa. Mikään muu arvoista ei tuottanut samanlaisia vaikeuksia. Järjestelmätoimittajan manuaaleista käännettynä modulaatio mittaa tummien ja vaaleiden moduulien heijastuskyvyn yhdenmukaisuutta koko symbolissa. Epätasainen heijastus saattaa johtua huonosta valaistuksesta tai epätasaisesta kohteesta. Kuvassa 4 on testikuva numero 404. Tämä kuva sai arvostelussa modulaatiosta arvosanan nolla, samoin kuin usea muu kuva samasta erästä. Kyseinen erä ei ole valottunut huonosti, mutta valotusajan ollessa 1000 mikrosekuntia voitiin huomata kuvan olevan epäselvempi kuin esimerkiksi aikaisemmin ollut kuva 3.



Kuva 4. Esimerkki huonosta modulaatiosta

Kuviossa 1 havainnollistetaan modulaatioarvon putoaminen valotusajan kasvaessa. Samaan kuvioon on kuvattuna useilla valotusajoilla kuvattuja sarjoja, ja näiden sarjojen keskimääräisiä arvosanoja modulaatioissa. Vertikaalisella akselilla on kuvattuna modulaatioarvo, ja horisontaalisella akselilla on kuvattuna eri sarjat. Jokaisella valotusajalla oli tarkoitus kuvata neljä sarjaa, mutta suurilla valotusajoilla huonot kuvat tuottaneet sarjat suljettiin arvostelusta käyttökelvottomina. Kuvioista voidaan huomata, että parhaat modulaation arvot saavutettiin lyhyillä valotusajoilla.



Kuvio 1. Modulaation putoaminen valotusajan kasvaessa, oikealla valotusajat [ms]

Modulaation lisäksi aikaisemmissa tutkimuksissa oli huomattu C-arvon eli kontrastin tuottavan vaikeuksia, mutta esimerkiksi erässä 14 kontrasti on jatkuvasti erittäin hyvä, modulaatioarvon ollessa puolestaan huono. Tästä voitiin johtaa kontrastin olevan kiinni hyvästä valotuksesta, kun puolestaan modulaatio on kiinni heijastuksesta.

Tutkimuksessa voitiin huomata myös satunnaisia epäonnistumia E- ja F-arvojen vuoksi. E-arvo kuvastaa virheenkorjausta ja F-arvo koodin kiinteitä kuvioita. Nämä

kuitenkin pääsääntöisesti saivat hyviä arvosanoja, ja epäonnistumiset olivat melkein jatkuvasti huonon modulaatioarvon saaneissa kuvissa. Tämän vuoksi näiden satunnaisten epäonnistumisten voitiin olettaa vähenevän modulaatioarvoa parantavilla toimenpiteillä.

5 YHTEENVETO JA KEHITYSMAHDOLLISUUDET

Opinnäytetyön tutkimuksissa huomattiin, että kameroissa sekä asetuksissa löytyy optimointimahdollisuuksia. Nämä mahdollisuudet eivät ole suuria, mutta niiden avulla olisi saavutettavissa pieniä etuja. Esimerkiksi eri pakkauslinjojen asetuksia ei olisi välttämättä mahdollista täysin yhdenmukaistaa keskenään, mutta linjojen sisäisten tuoteluokkien yhdenmukaistus olisi mahdollista. Pelkästään tällä olisi mahdollista paremmin vertailla saman linjan luokkia toisiinsa. Tämä olisi etu verrattuna nykyiseen tilanteeseen, sillä tiedettäisiin erojen olevan kamerasta ja asetuksista riippumattomia.

Tärkeänä tekijänä täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että linjojen kuvausasetat eivät ole täysin yhdenmukaisia. Kameroiden taustoille jäävät pinnat saattavat olla eri tavoin heijastavia ja ympäristön valaistusolosuhteet hieman eroavaisia. Täydellinen olosuhteiden yhdenmukaisuus olisi saavutettavissa pimiöillä, mutta näiden suunnitteleminen ja sijoittaminen käytössä olevaan kokonaisuuteen olisi suuri prosessi. Pimiöiden asentaminen aiheuttaisi myös tarpeen kameroiden uudelleenoptimoinnille, mikä vaatisi lisää tutkimusta. Tämä on kuitenkin mahdollisuus tulevaisuutta ajatellen.

Seuraava saavutettavissa oleva etu olisi kameroiden linssien syväterävyysalueen kohdistus. Tällä saavutettaisiin syvempi tarkkuusalue, jolloin kuvattavan kohteen kohdistuksessa olisi hieman liikkumavaraa. Kohteiden ollessa liikkuvalla liukuhihnalla tämä olisi ehdoton etu. Linssien vajavaisten merkintöjen vuoksi tätä ei kuitenkaan ole mahdollista tehdä matemaattisesti, mutta kohdistus voitiin suorittaa silmänvaraisesti kohtalaiseen hyvin. Käytössä olevissa linssissä ei kuitenkaan ole saavutettavissa suurta syväterävyysaluetta, sillä tähän vaadittaisiin pieni aukko, lyhyt polttoväli ja pitkä etäisyys kuvattavasta kohteesta. Käytännössä linssin aukon täytyy olla suurella hyvän valotuksen takaamiseksi ja kuvattavien kohteiden olla lähellä linssiä. Jopa kolmen millimetrin syväterävyys saattaisi kuitenkin olla tarpeeksi kompensoimaan kuvattavien pakkauksien mahdollisia muotoeroja tai liikahduksia linjalla. Linssien kohdistaminen tulisi suorittaa kamerakohtaisesti. Tämän lisäksi linssien säätörenkaat tulisi lukita ruuveilla, sillä siihen on mahdollisuus. Tämä pitäisi linssien säädöt kohdillaan riippumatta muun laitteiston aiheuttamasta värinästä.

Yhteenvetona voidaan todeta kameroiden olevan sellaisenaan kykeneviä lukemaan hyvää ja jopa paljon tarkempaakin tekstiä, mutta tulostuslaadussa olisi parantamisen varaa. Uudella mustekasetilla tulostus tuottaa hyvälaatuisia tulosteita, mutta mustekasetin kuluessa tulostusjälki heikkenee. Tulostusjälki heikkenee myös tulostuspäiden kiuuessa. Kuivumista tapahtuu pitemmillä tuotantotauoilla, kuten esimerkiksi öisin.

LÄHTEET

A Practical Guide to Machine Vision Lighting. 2019. National Instruments. Viitattu 10.6.2019. <http://www.ni.com/fi-fi/innovations/white-papers/12/a-practical-guide-to-machine-vision-lighting.html>

Björn, L. Kuviakin kiinnostaa, Syväterävyys. 2014. Viitattu 12.11.2019. <https://www.kuviakinkiinnostaa.fi/2014/11/syvateravyys.html>

Davies, E. Computer and Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities. Fourth Edition. 2014. Viitattu 20.11.2019

FA/Machine Vision Fixed Vocal Datasheet. n.d. Fujifilm. Viitattu 5.7.2019. <https://www.fujifilmusa.com/shared/bin/1.5Mega-Pixel%202.3%201.2.pdf>

George, D. 2018. CCD versus CMOS: Which is better? Diffraction Limited. Viitattu 9.9.2019. <http://diffractionlimited.com/ccd-versus-cmos-better/>

Gigajot Technology. 2019. Gigajot. Viitattu 9.9.2019. <https://www.gigajot.tech/>

GigE Vision Standards. n.d. Automated Imaging Association. Viitattu 10.10.2019. <https://www.visiononline.org/vision-standards-details.cfm?type=5>

Introduction to Machine Vision. 2019. Assembly Magazine. Viitattu 17.5.2019. https://www.assemblymag.com/ext/resources/White_Papers/Sep16/Introduction_to_Machine_Vision.pdf

Koljonen, J. Computer vision and optimization methods applied to the measurements of in-plane deformations. 2010. Väitöskirja, Vaasan Yliopisto. Viitattu 9.9.2019

Korhonen, J. Konenäön nykytilanne ja mahdollisuudet. 2014. Opinnäytetyö, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Viitattu 17.5.2019.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/75678/Konenaonnykytilannejamahdollisuudet.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Shrestha, P. Optical Character Recognition. 2018. Opinnäytetyö, Turun Ammattikorkeakoulu. Viitattu 19.10.2019

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/151264/Shrestha_Pramoj.pdf?sequence=1&isAllowed=y

TXG13-P, TX Cameras. Baumer Industrial Cameras. 2019. Baumer. Viitattu 10.7.2019.

<http://vt.baumer.com/in-eng/products/identification-image-processing/industrial-cameras/tx-series/tx-series-poe/>