

Lauri Haataja

KAMERATYÖKALUN SUUNNITTELU TESTILAITTEESEEN

KAMERATYÖKALUN SUUNNITTELU TESTILAITTEESEEN

Lauri Haataja
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Lauri Haataja
Opinnäytetyön nimi: Kameratyökalun suunnittelu testilaitteeseen
Työn ohjaaja: Timo Heikkinen (OAMK), Risto Toljamo (JOT Automation)
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019
Sivumäärä: 44

Tämän työn tarkoituksena oli luoda kuluttajaelektroniikkatuotteita varten käytettävään testuslaitteeseen visuaalisen testauksen ja tarkastuksen mahdollistavan kameratyökalun suunnitelma. Visuaalinen testaus teollisuudessa tarkoittaa valotai videokuvien ottamista tietokonesovelluksen tai ihmisen tutkittavaksi. Testuslaitteeseen oli mahdollista jo aikaisemmin asentaa kamera kiinteästi, mutta se ei ollut modulaarinen. Tästä johtuen sen hinta oli huomattavasti korkeampi kuin mihin erillisellä kameratyökalulla päästäisiin. Itsenäinen työkalu lisää testuslaitteen monipuolisuutta sekä mahdollistaa taloudelliset säästöt. Työ tehtiin JOT Automation Oy:lle.

Työn tavoitteena oli tehdä kameratyökalun rakentamissuunnitelma. Jotta oikeat päätökset osakokonaisuuksista voitiin tehdä, tutustuttiin asiaan kuuluvien teknologioiden keskeisiin menetelmiin ja valmistajiin. Kaikki osakokonaisuudet huomioon ottaen oli mahdollisten laitekoonpanojen määrä käytännössä loputon, joten työkalu rakennettiin yksi komponentti kerrallaan. Keskeisin komponentti visuaalisessa tarkastuksessa on yleensä kamera, niin kuin tässäkin työkalussa.

Työkalun rakentaminen tai testaus ei sisälly tähän työhön, sillä käyttöön alustavasti valittua kamerakorttia ei ollut vielä julkaistu. Komponentointia ja osien valintaa suoritettiin niin pitkälle kuin se oli järkevää ennen kamerakortin julkaisua. Kamerateknologia, konenäkö ja visuaalinen tarkastaminen ovat monimuotoisia ja paljon tutkittuja aiheita, joten alan kirjallisuutta on saatavilla riittävästi. Lisäksi kameravalmistajien artikkelit olivat nopea ja tehokas tapa löytää kamerakorttien erot ja yhtäläisyydet.

Työn tulos muodostuu suunnitelmasta, joka tarjoaa pohjan modulaarisen kameratyökalun rakentamiselle moderniin testilaitteeseen. Kerätty informaatio on sovellettavissa myös muihin konenäkösovelluksiin.

Asiasanat: Automaatio, konenäkö, tarkastus, testaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Automation Engineering

Author: Lauri Haataja

Title of thesis: Design of Camera Tool for Tester

Supervisor(s): Timo Heikkinen (OAMK), Risto Toljamo (JOT Automation)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019

Number of pages: 44

This thesis was made for JOT Automation Oy, which is a testing and manufacturing automation company. The goal of the project was to create to design a camera tool for a tester cell. The cell had a capability of utilizing a camera previously, but the camera had to be of higher resolution, and it was not modular. Due these factors the price was higher than that of a modular tool. An independent tool increases the potential of the tester cell by reducing the cost and allowing the camera to be moved.

While defining the mechanical structure of the device, a lot of information regarding cameras, optics, on-chip-systems, lighting and data control had to be acquired. In order to be able to make a comprehensive decision on aforementioned topics, it was necessary to get to know the most important camera manufacturers. Taking every variable to count, the number of possible configurations was virtually limitless. A camera is usually the backbone of any machine vision application, as it was in this case too. Allied Vision has a camera card series called Alvium, which seemed promising regarding its capabilities and was chosen for this project. After making this choice, the possibilities regarding every other component narrowed down.

Building the camera tool itself is not included in this thesis due to the chosen camera not being available to open market at the time. The project was shifted to a plan which could help create a modular camera tool. To create such a plan, the components of the tool had to be identified and studied. Luckily the field of machine vision and visual inspection is a largely investigated topic, and useful literary is found in plenty. The numerous articles and data sheets provided by camera manufacturers were proven to be useful. Pricing information on cameras is not openly shared and must usually be quoted from vendors. This makes price comparison tedious and inefficient.

The goal of the project was to create a plan of designing a camera tool. Choosing components and picking parts was completed as far as it is reasonable before the chosen camera card publication.

Keywords: Automation, machine vision, visual inspection, testing.

SANASTO

Bluetooth	lyhyen kantaman langaton tiedonsiirtotekniikka, jota käytetään usein matkapuhelintekniikassa korvaamassa kaapelit laitteiden välillä
CAD	Computer Assisted Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CameraLink	kamerarajapinta, eli kameran ja ohjauslaitteen välinen kommunikaatioyhteys
CCD	Charged Coupled Device, kameran sensorityyppi analogisella ulostulolla
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor, kameran sensorityyppi digitaalisella ulostulolla
CSI-2	Camera Serial Interface, tarkemmin: MIPI CSI-2, kamerarajapinta, joka on yleinen etenkin älylaitteiden kameroissa
D/A-muunnin	Digital to Analog Converter, laite, joka muuttaa digitaalisen signaalin analogiseksi
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, uudelleenkirjoitettava käyttömuisti järjestelmäpiireissä
FireWire	käytöstä hitautensa vuoksi väistyvä kamerarajapinta, eli kameran ja ohjauslaitteen välinen kommunikaatioyhteys
GigE Vision	kamerarajapinta, eli kameran ja ohjauslaitteen välinen kommunikaatioyhteys, jossa tiedonsiirto tapahtuu Ethernet-verkossa
GPIO	General Purpose Input/Output
LED	Light Emitting Diode, valoa säteilevä diodi

SPI	Serial Peripheral Interface, lyhyen kantaman väyläratkaisu, jota käytetään etenkin järjestelmäpiireissä
UART	Universal Asynchronoys Receiver Transmitter, sarjaliikennepiiri
USB	Universal Serial Bus, etenkin tietokoneissa yleisesti käytettävä sarjaväyläarkkitehtuuri
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko
3D-grafiikka	kolmiulotteinen grafiikka, joka on mallinnettu kolmen tilaulottu- vuuden suhteen
I2C	Inter-integrated Circuit, tiedonsiirtoon ja ohjaukseen käytet- tävä kaksisuuntainen väylärakenne, käytössä yleisesti kulu- tuselektronikassa

SISÄLLYS

SANASTO	4
1 JOHDANTO	7
2 TOIMINTAYMPÄRISTÖ	8
2.1 G5 Final Tester	8
2.2 Testilaitteen akselisto ja makasiini	9
3 TUOTETESTAUS	11
3.1 Testilaitteet	11
3.2 Toiminnallisuustestaus	12
3.3 Sovellus- ja käyttöliittymätestaus	14
3.4 Testauksen sijoittelu tuotannossa	15
3.4.1 Linjan ulkopuolinen tarkastus	17
3.4.2 Linjan sisäinen prosessinaikainen tarkastus	17
3.4.3 Linjan sisäinen prosessinjalkeinen tarkistus	17
4 KONENÄKÖ	19
4.1 Kamerateerit ja rajapinnat	20
4.2 Kameran sensorit	22
4.3 Valaistus	24
5 KAMERAKORTIN JA PROSESSORIN VALINTA	26
5.1 Kameratyökalun vaatimukset	26
5.2 Käytettävän rajapinnan määrittäminen	27
5.3 Kamerakortin valinta	28
5.4 Ohjainkortti	29
6 VALAISIN JA PIIRILEVY	33
6.1 Rengasvalo	33
6.2 System on chip -piirilevy	34
7 SÄHKÖ- JA AUTOMAATIORAKENNE	37
7.1 EPLAN	37
7.2 Suunnittelu	37
8 POHDINTA	39
LÄHTEET	41

1 JOHDANTO

Konenäkö on yksi automaatioteollisuuden nopeimmin kasvavista tekniikoista monipuolisten käyttömahdollisuuksien ja jatkuvasti halventuvien ratkaisujensa vuoksi. JOT Automation Oy on yksi testaus- ja kokoonpanoautomaatiolaitteiden johtavista valmistajista. Automaatiosovellusten kehittyessä konenäkö on keskeisessä roolissa yhä useammassa tapauksessa tekniikan kehittyessä ja tarvittavien laitteiden halventuessa.

Tämän työn tarkoituksena oli luoda kuluttajaelektroniikkatuotteita varten käytettävään testauslaitteeseen visuaalisen testauksen ja tarkastuksen mahdollistavan kameratyökalun suunnitelma. Tässä opinnäytetyössä perehdytään konenäköön ja testiautomaatioon, minkä jälkeen suunnitellaan kameratyökalu jo olemassaolevaan testilaitteeseen. Työkalun tarkoitus on alentaa visuaalisen tarkastuksen hintaa testilaitteessa luomalla modulaarinen työkalu.

Työn suorittamiseksi tuli konenäköön, visuaaliseen tarkastamiseen ja muihin aiheeseen liittyviin menetelmiin perehtyä kattavasti. Opinnäytetyön alkuosassa käydään läpi keskeisimpiä menetelmiä ja teknologioita, joita tulee ymmärtää tämän opinnäytetyön kokonaisuuden sisäistämiseksi. Useista alikokonaisuuksista muodostuva projekti oli hyvin monitahoinen ja mahdollisuudet eri konfiguraatioille olivat käytännössä rajattomat. Työmäärää rajattiin valitsemalla ensin käytettävä kamerakortti. Kamerakortin toiminnallisuuksien perusteella määriteltiin tukilaitteet, valaistus ja laiterunko.

Kameran kommunikaatorajapinta oli yksi keskeisimmistä ongelmakohdista. Testausta suorittavan laitekokonaisuuden eli isäntälaitteen rajoittuneisuus pakotti tekemään kompromisseja tiedonsiirron nopeuksien suhteen, ja vaikutti siten väyläratkaisuihin ja järjestelmäpiirin komponenttien valintaan. Järjestelmäpiiri tuli suunnitella siten, että se tukee samoja tiedonsiirtoyhteyksiä kuin isäntälaitte. Keskeinen ratkaisu ongelmiin oli Cypress CX-3 -ohjainkortti, joka kontrolloi kameraa ja valaistusta mahdollistaen myös kuvien käsittelyn ennen niiden välittämistä isäntälaitteelle.

2 TOIMINTAYMPÄRISTÖ

JOT Automation on vuonna 1999 Suomessa perustettu yhtiö, joka keskittyy kokoonpano- ja testausautomaatioon (1). Yhtiön toiminta jakautuu asiakastasolla kahteen osaan: Products business unit (PBU) sekä Custom Automation Business Unit (CABU). PBU valmistaa toimintavalmiita tuotteita avoimille markkinoille eikä tuotekokonaisuuksia lähtökohtaisesti muokata yksittäisen asiakkaan tarpeiden mukaan. Toimintaperiaate muistuttaa tavallista kuluttajakauppaa, jossa asiakas valitsee haluamansa tuotteen katalogista, jonka jälkeen tuote toimitetaan asiakkaalle sellaisenaan. Toinen puoli yhtiön tuotteistosta on Custom Automation Business Unit, joka tuottaa yksilöllisiä ratkaisuja asiakkaiden määrittelemiin teknisiin ongelmiin. Jokainen ratkaisu on siis ainutlaatuinen ja suunniteltu täysin tarpeen mukaan.

Products business unitin asiakaskunta koostuu älylaitevalmistajista ja suurista tuotantolaitoksista. Valmistettavat laitteet eivät ole JOTilla varsinaisesti käytössä, vaan ne toimitetaan asiakkaalle, joka käyttää niitä tarpeidensa mukaan. Laitteen toimitukseen voi kuulua asennustyöt, tekninen tuki, korjaus ja koulutus. Jokainen työtehtävä on kuitenkin tapauskohtainen, ja kuten yleensä teollisuuden parissa, ei ole olemassa vain yhtä oikeaa toimintamallia.

2.1 G5 Final Tester

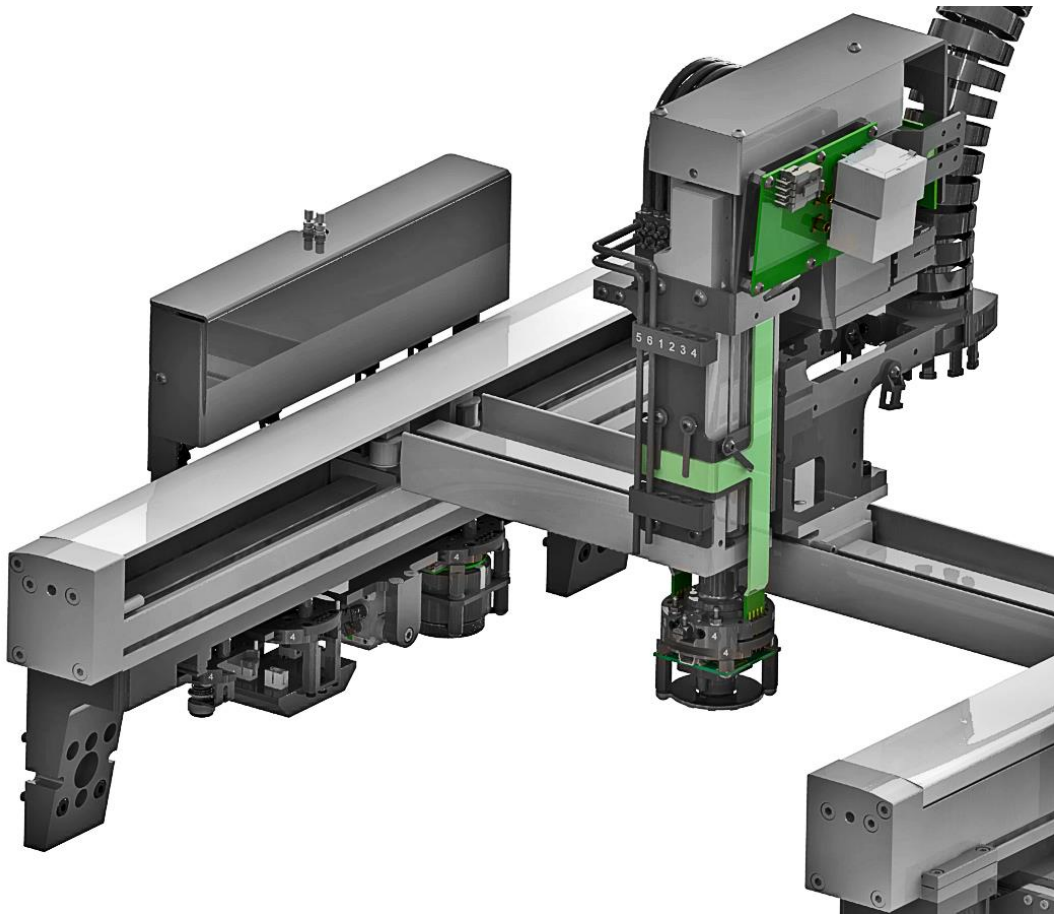
Products business unit tarjoaa testilaitteita tuotannon eri vaiheisiin keskittyen kuitenkin tuotannon loppupuoleen. Komponenttitason testaus tai rakennusmateriaalien laadun varmistaminen ei ole ensisijaisesti niin tärkeässä roolissa. Lopputestauslaite (final tester) on laite, jota käytetään jo valmiiden tai tuotannon loppuvaiheessa olevien tuotteiden testaamiseen. Näitä testejä voivat olla esimerkiksi kaiuttimien, kosketusnäytön tai mikrofonin toiminnan testaaminen. Yksi JOTin tuoteperheen lopputestauslaitteista on nimeltään G5 Final Tester. G5 toimii testityökaluperiaatteella modulaarisesti eli testien suorittamiseen käytetty työkalu voidaan irrottaa ja vaihtaa laitteesta tarpeen mukaan. Laitteen sisällä on säilytystila kahdelle työkalulle, jotka laite voi itsenäisesti vaihtaa käytettäväksi. (2) Tämän järjestelyn etu on siinä, että vaikka modulaarinen työkalu maksaa kiinteää enemmän, on

huomattavasti taloudellisempaa pystyä käyttämään useita testityökaluja samassa laiterungossa. Testaus monipuolistuu eikä laite vaadi ihmistä vaihtamaan työkaluja tai testattavaa tuotetta toiseen testilaitteeseen.

Laitteen sisäkattoon voidaan asentaa kamera, jonka käyttötarkoituksena on kuvata testattavia kohteita, tarkastaa esineitä visuaalisesti tai tarkkailla testausprosessia. Koska kamera on kauempana testattavista kohteista ja kiinteästi asennettu, tulee sen resoluution olla suuri, jotta kuvattavasta kohteesta saadaan tarkka tulkinta. Lisäksi laitteessa sijaitseva akselisto voi paikoittain olla kameran ja kuvattavan kohteen välissä, joka tekee kamerasta käyttökelpottoman joitakin tuotteita kuvatessa.

2.2 Testilaitteen akselisto ja makasiini

G5 Testerin käyttölaitteena toimii kolmiulotteinen akselisto, joka on havainnollistettu kuvassa 1. Akseliston tarkoitus on mahdollistaa kaikki testiin tarvittava liike laitteen sisällä. Akseliston päähän kiinnitetään asiakas- tai testikohtaisen tarpeen mukainen työkalu, joka voi vaihdella huomattavastikin kohteesta riippuen (2.) Akseliston sivussa sijaitsevassa makasiinissa on paikka kahdelle testityökalulle, jotka voidaan automaattisesti vaihtaa käyttöön, jos testisekvenssi vaatii useamman kuin yhden työkalun käyttöä. Työkalujen saumaton vaihtaminen myös testauksen aikana mahdollistaa monipuolisemman ja nopean testauksen. Tämä modulaarisuus tarkoittaa laitteen kannalta myös skaalautuvuutta, joka mahdollistaa laitteen päivityksen helposti vain työkalua vaihtamalla.



KUVA 1. Testilaitteen akselisto (2)

3 TUOTETESTAUS

Kun tehdään tuotetta täysin itsenäisesti, käytetään modernia massatuotantolinjastoa, tai mitä tahansa näiden välimuotoa, on laadun ja toimivuuden tarkkailulla ja varmistuksella keskeinen merkitys. Tuotetestausta ei ole pelkkää muodon- ja pinnankäsittelyn tulosten tarkkailua, vaan myös mekaanisen rasituksen sietokyvyn ja toiminnallisuuksien varmistamista (3). Tuotetestausta on niin yksinkertaista mekaanista kuin prosessinomaista, eli useista vaiheista sekä erillisistä testeistä koostuvia toiminnallisuustestauksia. Mekaaninen testaus voisi olla esimerkiksi painonapin painallus, siinä missä toiminnallisuustestaus kattaa tehtävät, joita toimiva laite tekisi, kuten esimerkiksi Bluetooth-laitteen yhdistäminen. Laite siis altistetaan samoille vaikutuksille ja toiminnoille, sekä yhdistetään samantyyppisiin verkkoihin kuin se kuluttajan käytössä tulisi kokemaan, mutta niin runsaalla toistuvuudella, että normaalin käytön rajat löytyvät (4.)

Testaukseen reagointi eli testattavan tuotteen tuotannon muokkaaminen löydettyjen vikojen perusteella olisi suotavaa olla mahdollisimman nopeaa. Testilaitteen löytäessä samalla tavalla vikaantuneita laitteita tavallista vikaantumistahtia lyhyemmällä aikavälillä on syytä ottaa huomioon suunnitteluvirheen mahdollisuus. Tapauksissa, joissa vikaantumisväli pienenee huomattavasti, on syytä automaattisen tarkistuksen tueksi ottaa esimerkiksi manuaalinen tarkastus vian paikantamiseksi. Näin testauksen merkityksellisyys kantautuu yksittäisten virheiden tunnistamisesta myös suunnittelu- ja tuotantoprosessiin. Hyvä tuotetestausta toimii siis kriitikkona tuotteen valmistus- ja testausprosessille sekä pyrkii enustamaan tuotteen hyvyyttä tulevaisuudessa. Optimitalanteessa testilaitte ei koskaan löydä tuotteista vikoja, eikä yhtäkään tuotetta hylätä testissä (3). Edellä mainitussa tilanteessa on kuitenkin huolestuttava piirre: jos yhtään tuotetta ei koskaan hylätä, herää epäily testauksen toimivuudesta.

3.1 Testilaitteet

Tuotetestausta automatisoituu jatkuvasti muun tuotannon ohessa, sillä nykypäivän automaattisilla järjestelmillä päästään helposti kustannussäästöihin. Varsinkin toistuvassa ja yksinkertaisessa työssä, kuten mekaanisessa testauksessa, ihmisen tekemä työ jää helposti toisarvoiseksi koneen rinnalla. Teknologia, suunnittelutyö ja laitehankinnat on tehty

helpommaksi ja halvemmaksi kuin koskaan, joten kynnyks automatisoida prosessi on hyvin pieni.

Helppoimmat koneella korvattavat työtehtävät ovat yksinkertaisia ja toistuvia. Testilaitteen tehtävä on suorittaa tällaista tehtävää mahdollisimman tarkasti, toistuvasti ja vaivattomasti. Laitte siis vapauttaa ihmisen tekemään vaikeampaa tai monimutkaisempaa tehtävää säästämällä aikaa ja rahaa. Elektronisen laitteen painonapin painallus tuhansia kertoja peräkkäin ei ole sellainen tehtävä, johon nykypäivänä kannattaisi käyttää mitään muuta kuin konetta.

Testilaitteen hankkiminen on kuitenkin aina investointi, laitteen pitkäikäisyys olisi siis investoijan etu. Jos testilaitte ei pysty kehittymään tuotteen mukana, voi investointi olla suurelta osin hukkaan heitetty. Hyvä laite pystyy siis testaamaan useita tuotteita pitkän ajan kuluessa (3.) Kuinka tulevaisuuden tuotteen yhteensopivuus testilaitteeseen voidaan varmistaa? Tuote itsessään voidaan suunnitella sopimaan jo olemassa olevaan järjestelmään, mutta se saattaa rajoittaa innovaatio- ja kehitystyötä. Parempi vaihtoehto olisi varmistaa, että testilaitte on siinä määrin säädettävä, että myös vaihtoehtoiset tuotteet voidaan käsitellä sillä. Testilaitteen tulisi siis olla halpa investointi, joka suorittaa tehtävänsä täydellisesti nyt ja tulevaisuudessa vaihtuvilla tuotteilla. Usein paras ratkaisu tähän on tehdä testilaitteesta helposti muokattava tai modulaarinen, jotta sopeutuminen uusiin tuotteisiin on mahdollista ilman koko testilaitteen uusimista.

3.2 Toiminnallisuustestaus

On olennaista, että testilaitte suoriutuu tehtävästä testistä energia- ja aikatehokkaasti, kuten edellisessä luvussa kerrottiin. Monimutkaiselle laitteelle yksi testi ei ole koskaan tarpeeksi. Laitte-esimerkkinä on kuvassa 2 JOT G5 final tester. Esimerkiksi älylaitteet käyvät

läpi satoja eri testejä, sillä kaikki ne toimenpiteet, joita kuluttaja tulee laitteelle tekemään, on testilaitteen tehtävä ennen tuotteen julkaisua. Näitä testejä voivat olla esimerkiksi:

- älylaitteen akun lataaminen USB-portin kautta
- äänikomentojen antaminen
- kasvojentunnistuksen testaaminen
- kaiuttimen äänen laadun mittaus
- kosketusnäytön herkkyyden testaus.

Tietoliikenneyhteyksiä, kuten Bluetoothia ja WLANia, testattaessa on syytä ottaa huomioon virheellisen testituloksen mahdollisuus ympäristössä, jossa on useampi kuin yksi tuote. Usein testilaitteita ja testattavia tuotteita on kymmeniä tai satoja samassa tilassa. Jos esimerkiksi testataan langatonta verkkoyhteyttä, on mahdollisuus samanlaisilla laitteilla sekoittaa signaalit keskenään. Nämä ongelmat voidaan estää fyysisesti eristämällä testilaitteet siten, että signaali ei voi saavuttaa kuin testattavan laitteen. Modernimpi tapa ratkaista ongelma on parittaa jokainen testattava tuote testilaitteen kanssa. Tämä tarkoittaa sitä, että tuote odottaa testilaitteelta laitekohtaista signaalia, joka tunnistetaan oikeaksi vain yhden laitteen kohdalla. Tämä joskus välttämätön ratkaisu saattaa olla hitaampi

ja työläämpi toteuttaa. Päätös testauksen toteuttamisesta ja testaustavasta tehdään aina tapauskohtaisesti, koska yhtä oikeaa ratkaisua ei ole.



KUVA 2. JOT G5 Final Tester (2)

3.3 Sovellus- ja käyttöliittymättestaus

Sovellukset ja käyttöliittymä ovat esimerkiksi älylaitteessa se osio, joka on kuluttajan kannalta eniten näkyvillä ja käytössä. Käyttöliittymättestaus voi käsittää esimerkiksi kosketusnäytön herkkyden ja tarkkuuden testausta sekä kosketusnäytön käyttöviivettä. Tämä testaus on yleensä yhdistelmä ohjelmoitujen toimintojen konfigurointia ja mekaanista testausta, sillä vain toista käyttämällä saadaan harvoin käyttökelpoisia tuloksia (6). Kosketusnäytön herkkyttä testatessa tulee kommunikoida testilaitteen kanssa samaan aikaan

kun laitteen näyttöä käsitellään, jotta kyseinen laite voidaan kalibroida haluttuun herkkyyteen.

Kokonaan sovelluksia tai käyttöliittymää ei voi testata ohjelmoinnin kautta. Tästä hyvänä esimerkkinä toimii nykypäivän kasvojen- tai eleentunnistus, jossa älylaite tarkkailee fyysistä kohdetta. Älylaitteen kamera tulee kalibroida oikeaa käyttäjätilannetta vastaavalla tavalla, jotta sen oikea toiminta voidaan varmistaa.

Käyttömukavuus on yksi nykypäivän älylaitteiden testauksen kulmakivistä (6). Mekaaniset painikkeet ja kytkimet ovat yksinkertaisempia saada tuntumaan käyttäjästä hyvältä, sillä niiden toiminta perustuu mekaaniseen liikkeeseen. Kosketusnäytön herkkyyden, kohdekuvan liikenopeus ja muuttuvat liikesuunnat ovat vaikeampia hallita ja mitata, sillä ihmisen liike, pyyhkäisy tai ele ei ole koskaan täysin suoraviivainen. Liikkeen älylaitteen näytöllä tulee siis vaikuttaa pehmeältä ja suoraviivaiselta, vaikka käyttäjän liikkeet eivät sitä olisikaan. Tulee siis pystyä seuraamaan ja testaamaan sitä, mitä käyttäjä haluaa saada aikaan, ei sitä, mitä käyttäjä käytännössä saa aikaan.

3.4 Testauksen sijoittelu tuotannossa

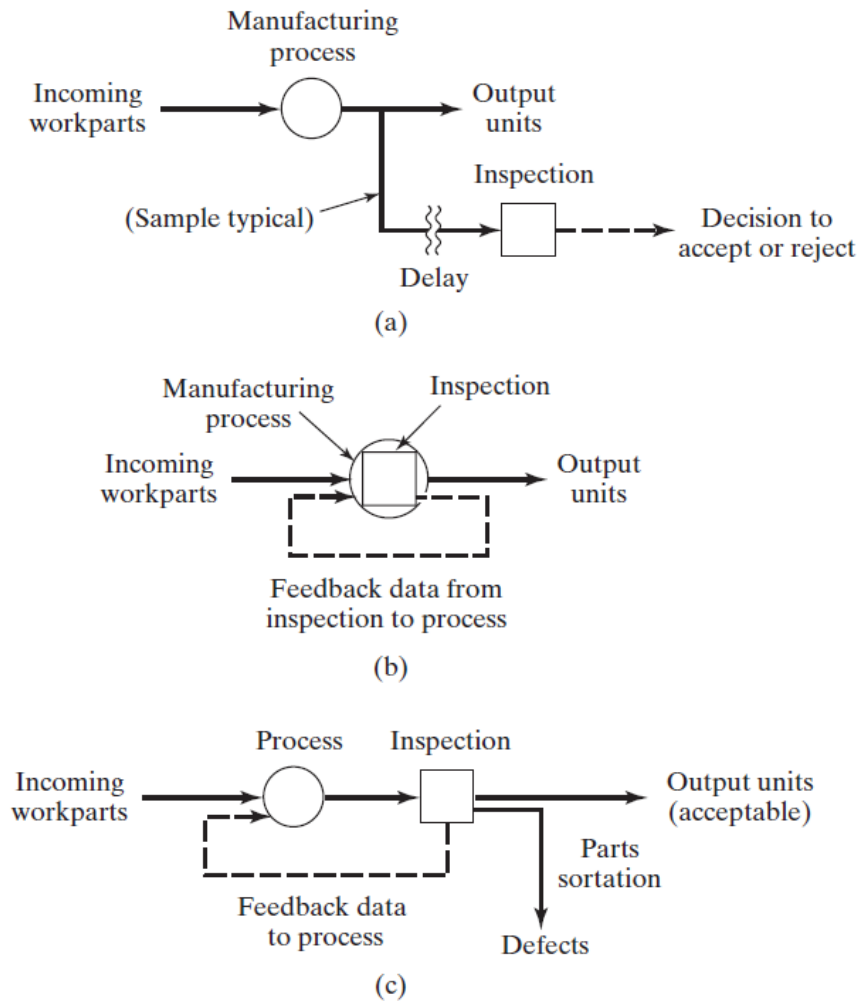
Tuotetestausta ei aina suoriteta tuotteen valmistusprosessin samassa vaiheessa, vaan testattavan tuotteen ominaisuuksiin ja toiminnallisuuteen nähden vaihtelu on huomattavaa. Jos on mahdollista testata useamman työvaiheen tulos yhdellä kertaa riskeeraamatta tuotantoprosessia, on niin syytä tehdä. Aina tuotetestaus ei kata kaikkia valmistettuja tuotteita, vaan valmistuneesta tuote-erästä testataan vain osa. Varmin vaihtoehto on tarkistaa ja testata kaikki tuotteet erikseen, mutta tämä on usein massatuotannossa ja etenkin elintarviketeollisuudessa tuotteiden suuresta lukumäärästä johtuen turhaa ja liian kallista. (7.)

Tuotetestauksen kolme toimintamallia tuotantoon sijoittelun suhteen näkyvät kuvasta 3, ja ne ovat

a: Linjan ulkopuolinen tarkastus (off-line inspection)

b: Linjan sisäinen prosessinaikainen tarkastus (On-line/in-process inspection)

c: Linjan sisäinen prosessinjälkeinen tarkastus (On-line/post-process inspection)



KUVA 3. Tuotetestauksen toimintamallit (7)

3.4.1 Linjan ulkopuolinen tarkastus

Linjan ulkopuolinen eli yksittäiskappaletarkastus on mainituista tyypeistä yleisin mutta epätarkin. Keskeisin ongelma tässä johtuu viiveestä tuotteen valmistumisen ja tarkastuksen välillä, jonka seurauksena viallinen tuote löytyy vasta huomattavasti tuotteen valmistamisen jälkeen. Koska tarkastus tapahtuu tuotteen valmistamisprosessin ulkopuolella, eikä kaikkia tuotteita käsitellä, on kohtalaisen suuri riski päästää tuotannosta kulutukseen viallinen tuote (7). Tällaiseen tarkastukseen liittyvät testit ovat usein käsityönä tehtyjä ja sattumanvaraisesti valittuja, mikä nostaa virhemarginaalia. Tätä tarkastusta käytetään yleensä vain prosesseissa, jotka itsessään ovat hyvin yksinkertaisia tai luotettavia, jotta voidaan olla varmoja viallisten tuotteiden vähyydestä. Joissain tapauksissa tuotteen tarkastuksen suuri hinta voi myös ajaa yksittäiskappaletarkastukseen, mutta tässä tapauksessa on myös tuotantoprosessin syytä olla varmatoiminen, tai riskit viallisten tuotteiden julkaisuihin nousevat radikaalisti.

3.4.2 Linjan sisäinen prosessinaikainen tarkastus

Linjan sisäinen prosessinaikainen tarkastus tapahtuu välittömästi tuotannon aikana. Samalla kun tuotetta luodaan, sitä tarkkaillaan ja mitataan virheiden varalta. Näin varmistetaan, ettei yksikään viallinen tuote tai osakokonaisuus etene prosessissa huomaamatta. Esimerkiksi viallisen komponentin asentaminen tuotteeseen, minkä jälkeen tuote rakennettaisiin loppuun, on turhaa työtä, sillä tuote tulisi kuitenkin rikkinäisen komponentin takia purkaa tai korjata. Välitön tarkastus on kuitenkin kallista ja työlästä, ja siksi sitä tulisi tehdä vain, jos viallisten tuotteiden pääseminen tarkistuksen ohi luo enemmän kustannuksia ja haittoja kuin niiden tarkastaminen. Tämä prosessi on syytä automatisoida, jos tarkastuksen tulee olla 100%:sen tarkka. (7.)

3.4.3 Linjan sisäinen prosessinjälkeinen tarkistus

Tämän opinnäytetyön kannalta olennaisin testaustyyppi on linjan sisäinen prosessinjälkeinen tarkistus, sillä projektin testilaitteen toimintamalli perustuu tähän. Vaikka testaus saattaa tapahtua viiveellä tuotannosta, ja jopa eri paikassa kuin tuotanto, käsitetään se silti tuotannon osaksi (7). Prosessinjälkeinen tarkastus käsittelee tuotteita, jotka ovat jo

valmistuneet tai ovat ohittaneet valmistusprosessissa jonkin keskeisen vaiheen. Tarkastettavaa tai testattavaa tuotetta ei voida vikatilanteessa korjata, mutta optimitilanteessa jo seuraavan tuotteen kohdalla voidaan tehdä korjauksia. Tämänkaltainen tarkastus on jokseenkin kallista ja työlästä, mutta tarkastamalla 100% tuotteista voidaan varmistua tuotteiden laadusta, mikä vähentää riskejä seuraavassa osaprosessissa tai varmistaa tuotteiden kelvollisuuden markkinoille.

Kaikki yllämainitut testausprosessit voi suorittaa ihminen manuaalisesti tai ne voidaan tehdä automaattisesti. Automatisointi on linjan ulkopuolista tarkastusta lukuun ottamatta lähes aina kalliimpaa ja työläämpää (7). Kuitenkin nykypäivän teknologian halventuessa ja parantuessa on koko ajan tavanomaisempaa käyttää automatisoitua järjestelmää suorittamaan testausta ja tarkastusta.

Jos linjan sisäisistä tarkastustyypeistä kumpikaan ei vaikuta laitteen tuotantoprosessiin, on kyseenalaista, onko edes kyse linjan sisäisestä tarkistuksesta. Ottaen huomioon linjan sisäisen tarkastuksen kustannukset, on aina sitä hyödyntäessä syytä myös vaikuttaa tuotantoprosessiin niin nopeasti kuin mahdollista. Jos tuotantoprosessiin ei haluta tai pystytä vaikuttamaan, on syytä käyttää linjan ulkopuolista tarkastusta, jotta voidaan säästää kustannuksissa.

4 KONENÄKÖ

Teknologian ja teollisuuden parissa yksi huomattavimmista kehityskohteista ja innovaatioista on konenäkö. Konenäkö (machine vision) on tietokonenäön (computer vision) aläsite, joka viittaa yleisesti teollisuuden ja tuotannon parissa käytettyyn kuvantunnistusteknologiaan. Konenäkö on yleensä valjastettu tutkimaan ja suorittamaan yhtä tarkkaa tehtävää prosessissa. Kameran ovat konenäön olennaisin osa. (8; 9.)

Tietokonenäöllä tarkoitetaan kaikkea tiedonhankintaa, joka tapahtuu digitaalisesta kuvasta (8). Tietokonenäkö kattaa siis lähtökohtaisesti sovellukset, jotka tutkivat kuvaa itseään. Konenäön voisi siis olettaa olevan se työvaihe, jonka tietokonenäkö vaatii ennen toimintaansa.

Konenäön ja tietokonenäön raja kuitenkin haalistuu jatkuvasti, sillä monet älykamerat ja soveltavat laitteistot eivät enää määritelmän perusteella sovi vain toiseen kategoriaan. Teknologian kehittyessä laitteistoista tulee jatkuvasti itsenäisempiä, ja prosessi, joka aikaisemmin vaati toimiakseen kameran, ruutukaapparin, tietokoneen ja kuvankäsittelyohjelman, voi nykypäivänä sisältyä samaan laitteeseen.

Dokumentaation tarkkuusvaatimusten ja tuotteiden laadunvalvonnan kysynnän kasvun vuoksi konenäkö on usein optimaalinen ratkaisu nykypäivän teollisuudessa. Ohjelmistopohjaisen kuvantarkastelun toistuvuus ja tarkkuus on lyömätön ihmissilmään verrattuna, ja työn jälki on vaivatonta tallentaa. Kuten kaiken automaation kanssa, laitteisto voi toimia luotettavasti, ennalta-arvattavasti ja ympärivuorokautisesti muodostaen luotettavan osan tuotantoketjua.

Manuaalinen laadunvalvonta perustuu useasti mallikappaleisiin ja satunnaistestaukseen (10). Konenäköä hyödyntämällä voidaan eliminoida satunnaisen virhekappaleen ohitus tarkastamalla kaikki tuotteet yksitellen. Suuria kappalemääriä tarkastellessa on lähes mahdotonta päästä samaan luotettavuuteen ilman konenäköä kuin konenäön kanssa, joten nykypäivän prosesseissa, joissa laatua on tarkkailtava suurista kappalemääristä huolimatta, on konenäkö välttämätön. (11.)

Tuoteseuranta tehostuu konenäköä hyödyntämällä, sillä kamera voi olla jopa mikro-skoopin tarkka, toimia satoja kertoja sekunnissa, eikä se tee koskaan inhimillisiä virheitä (11). Konenäkö voi tunnistaa ja poistaa virheellisen tuotteen hihnalta, jolla kulkee jopa kymmeniä tuotteita sekunnissa. Esimerkiksi elintarviketeollisuudessa on yleistä käyttää konenäköä tuotteiden tarkistukseen. Esimerkiksi tuhansien juomatölkkiä säännöllisen muodon ja pinnan tarkastus olisi mahdotonta ihmiseltä samalla tehokkuudella kuin automaatiolaitteistolla.

4.1 Kamerat ja rajapinnat

Rajapinta tarkoittaa kahden järjestelmän välistä yhdyskohtaa. Kamera- ja konenäköympäristössä tämä tarkoittaa kameran ja tietokoneen välistä tiedonsiirtoyhteyttä. Esimerkkejä konenäkössä käytettävistä rajapinnoista ovat esimerkiksi GigE Vision, CameraLink, USB 3.0 ja MiPi CSI-2. Universal serial bus (USB) on maailman yleisin rajapinta, joka on lähivuosina laajentanut otettaan konenäkömarkkinoilla USB 3.0 -protokollasta johtuen. (12; 13.)

Kameramallia valittaessa on otettava huomioon, että rajapintojen toiminnallisuuksissa on eroja. Koko järjestelmän suunnittelussa on otettava huomioon hintaerojen lisäksi myös se, että esimerkiksi käytettävien kaapelien enimmäispituudet ja kaistanleveys vaihtelevat rajapinnasta riippuen. Kaistanleveys vaikuttaa siirrettävän kuvan enimmäistarkkuuteen ja ruutumäärään. Korkearesoluutiokuvat tai raskaat videot vaativat leveämmän kaistan toimimiseen, tästä syystä vanhemmat rajapintatyypit kuten FireWire ja USB 2.0 häviävät todennäköisesti kokonaan markkinoilta uudempien, halvempien ja monipuolisempien ratkaisujen tieltä. Kamerarajapintojen eroja ja yhtäläisyyksiä voi tarkastella kuvasta 4.

Interface	Cable length in m	Bandwith max. in MB/s	Multi-camera	Cable costs	"Real-time"	"Plug & Play"
 USB 2.0	5M	40				
 FireWire	4.5M	64				
 GIGE VISION	100M	100				
 USB3 VISION	8M	350				
 CAMERA Link	10M	850				

KUVA 4. Rajapintojen vertailu konenäköympäristössä (12)

Vaihtuvuus kamerateollisuudessa ei ole aina nopea prosessi (12). Järjestelmän rakenne on aina hyvin ainutlaatuinen rajapinnan, kameratyyppin, käyttötarkoituksen ja ympäröivän arkkitehtuurin vuoksi. Tästä johtuen vain yhden osakokonaisuuden vaihtaminen toimivaan järjestelmään on harvoin mahdollista, vaan vaihdettaessa yksi osa on vaihdettava koko laitekokonaisuus. Tämä ongelma kohdataan usein etenkin siirryttäessä suorituskyvyssä ylöspäin, sillä tiedonsiirtokaapelin väylänopeuksien ja prosessorien laskentatehojen vaatimukset kasvavat.

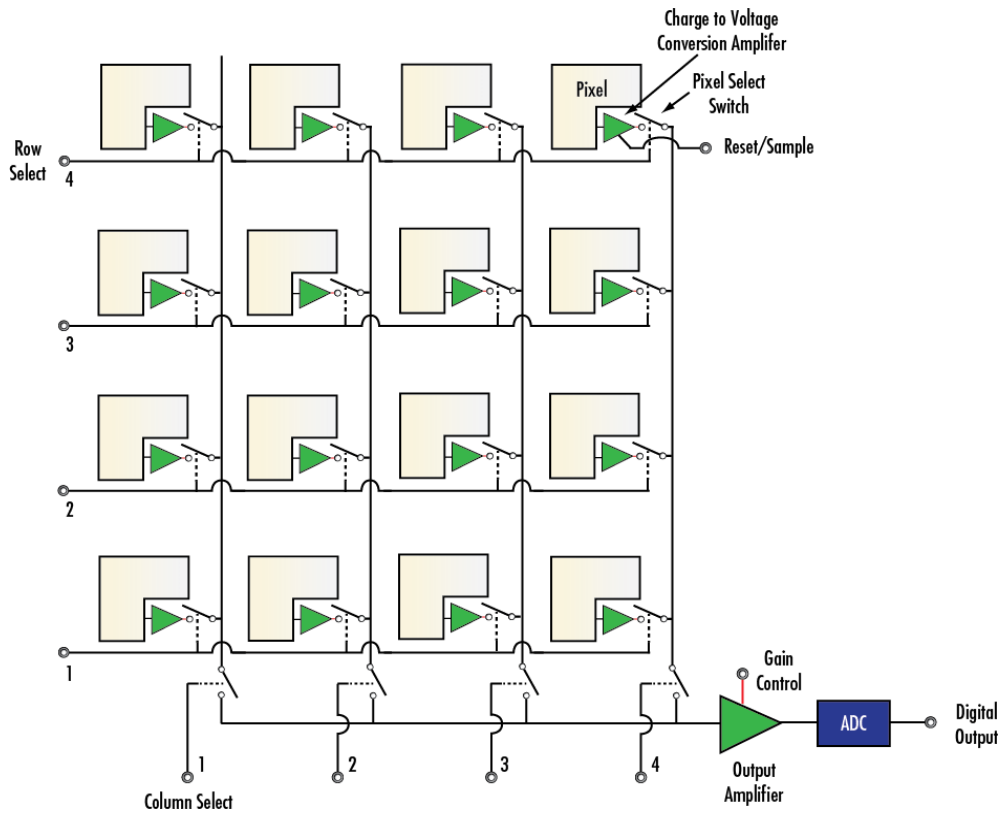
Joskus esimerkiksi taloudellisista syistä on syytä vaihtaa laitteiston kamera tehottomampaan ja yksinkertaisempaan malliin. Tämä vaihto on yleensä hieman vaivattomampi kuin päivitys tehokkaampaan laitteistoon ja esimerkiksi USB 2.0 -rajapintaa hyödyntävät kamerat ovat täysin yhteensopivia USB 3.0 -laitteistossa. On muistettava, että aina pelkkä

suorituskyvyn nostaminen ei ole tarkoituksenmukaista. Laitteiston hinnalla on suuri vaikutus takaisinmaksuaikaan, joka on yksi tärkeimmistä ennusteista konenäköjärjestelmään investoidessa. On siis tärkeää määrittää kameralle käyttövaatimukset ja suorituskyvyn tarve ennen hankintaa, etenkin hankinnoissa, jotka koskevat useita kameroita. Pienemmissä käyttökohteissa tai vain muutaman kameran ratkaisuisa yksi mahdollisuus on rakentaa kameran alustasta vapaasti muokattava, jolloin kameran tai jopa kamerakortin voi vaivatta vaihtaa laitteeseen tarpeen mukaan.

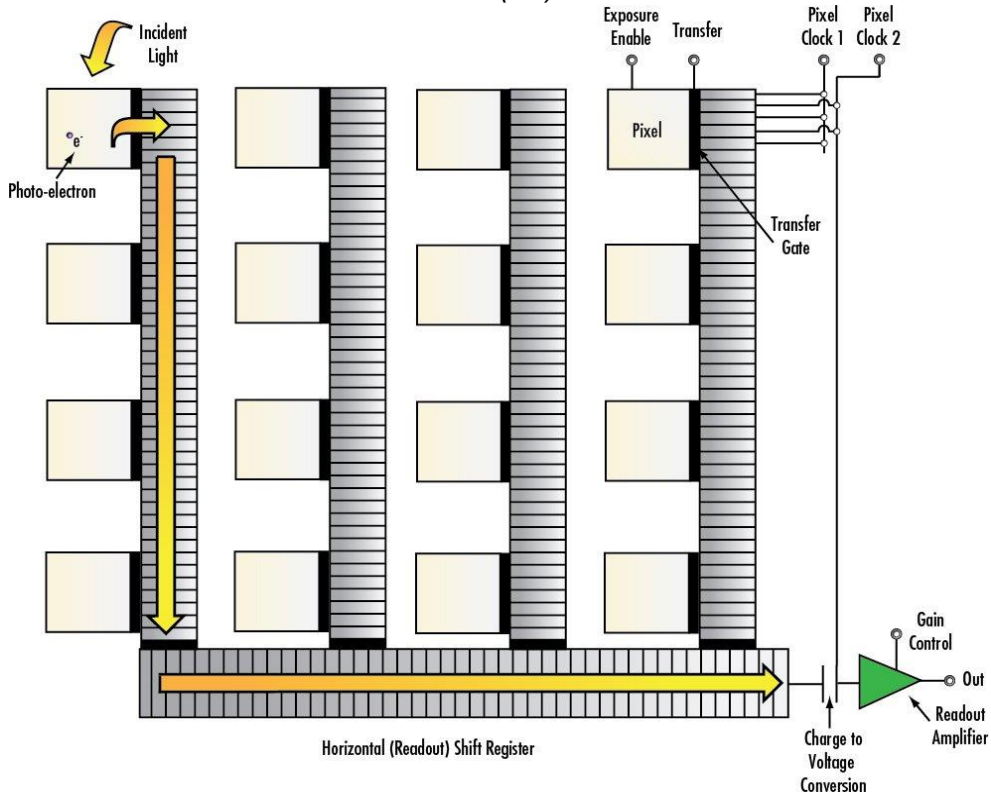
4.2 Kameran sensorit

Valokuvan muodostaminen digitaalisessa ympäristössä tapahtuu sensorilla, jonka tehtävä on muokata valon tuoma informaatio tallennettavaan muotoon. Jokaisen kameran keskeisin elementti on sensori, joka määrittää suurimman osan kameran toiminnasta ja toiminnallisuuksista.

Nykypäivän kamerat ovat lähes poikkeuksetta jompaakumpaa kahdesta seuraavasta sensorityypistä: Complementary metal oxide semiconductor (CMOS, kuva 5) tai Charge coupled device (CCD, kuva 6). Keskeisin ero näillä sensoreilla on kamerakortilla tapahtuva tiedonsiirto, joka CMOS-sensorilla tapahtuu digitaalisesti CCD-sensorin signaalin ollessa analogista. CCD-tyyppin sensorit olivat alan huippua useita vuosia, mutta viimeisen kahden vuosikymmenen aikana CMOS on yleistynyt ja ohittanut CCD:n käytännöllisyydessä ja saatavuudessa. (14.)



KUVA 5. CMOS-sensorin toiminta (14)



KUVA 6. CCD-sensorin toiminta (14)

Kamerakokonaisuuksia maailmassa valmistavat ja jakelevat useat yritykset. Lähes kaikki kameran ominaisuudet voivat vaihdella huomattavasti valmistajasta riippuen. Runko, ulkomuoto, käyttöliittymä ja toiminnallisuudet ovat yleensä ainutlaatuisia jokaisella valmistajalla. Kameran sensoreilla tilanne on kuitenkin erilainen: vain muutama yritys maailmassa valmistaa suurimman osan kameran sensoreista, joita käytetään lähes kaikissa kameroissa (14). Tämä tarkoittaa sitä, että kilpailevilta kameravalmistajilta voi löytyä hyvin samankaltaisia tuotteita, joiden pääkomponenttina toimii sama sensori. Kameraa hankkiessa on siis syytä ottaa selvää useista kameravalmistajista, koska teknisesti toisiaan täysin vastaavien tuotteiden hinnoittelut eri yrityksissä saattavat poiketa huomattavasti.

4.3 Valaistus

Konenäkö ei varsinaisesti käsittele kuvattavaa kohdetta, joten kohteen tulee heijastaa kameralle valoa, joka voidaan tallentaa. Kaikki kuvaus perustuu valoon, mutta aallonpituuksista riippuen valo voi olla ihmissilmälle näkymätöntä. Esimerkiksi infrapuna on aallonpituudeltaan ihmisen näkökyvyn ulkopuolella, ja siten kaikki infrapunasta tallennettu tieto tulee esittää näkyvän valon spektrillä ihmisiä varten. Tämä tarkoittaa sitä, että kameran sensorin on vastaanotettava valoa kuvattavasta kohteesta. Heijastus on yksi kuvattavan kohteen näkemistä vaikeuttava asia (14.) Karikatyyrisenä esimerkkinä toimii peili: otettaessa kuva peilistä, kuvassa ei varsinaisesti näy peili vaan peilin ruudusta näkyvä kohde, joka kohtisuorassa tilanteessa olisi kamera itse. Heijastus muodostuu yleensä ongelmaksi joitain kirkkaita metallisia, muovisia tai lasisia kohteita kuvatessa, ja sen vaikutusta voi vähentää esimerkiksi maalaamalla kuvattava kohde tai kuvaamalla infrapuna-aallonpituuksia.

Kameran tehtävä on muodostaa kuvattavasta kolmiulotteisesta asiasta kaksiulotteinen kuva, joten kolmiulotteisen kuvannon muodostamiseen tarvitaan enemmän kuin yksi kuva (15). Näin ollen 3D-grafiikkaa varten tulee joko kameran tai kuvattavan kohteen liikkua. Kuvia on otettava useita, mutta teoriassa jo kahdesta eri kulmasta otetusta kuvasta voi muodostaa osittaisen 3D-mallin.

Valoisuus, valoisuuden tasaisuus tai valon väri ovat elementtejä, joita tulee kontrolloida, jos halutaan päästä optimaaliseen lopputulokseen. Kaikki tekijät ovat kuitenkin riippuvaisia toisistaan, ja etenkin valon määrän ja tasaisuuden tasapainottaminen saattaa olla haasteellinen tehtävä. Heijastuksilla on suuri rooli virheiden muodostuksessa, sillä tasainen valaistus muuttuu yleensä epätasaiseksi valaisimen tehoa nostaessa tai lasiessa. Tämä on seuraus siitä, että valo heijastuu jokaisesta erilaisesta pinnasta eri voimakkuudella. Diffuusio tarkoittaa valon hajontaa kohteessa. (15.) Esimerkiksi diffuusiokalvo valaisimen päällä toimii lampunvarjostimen tavoin hajottaen valoa valaistavaan kohteeseen tasaisemmin.

5 KAMERAKORTIN JA PROSESSORIN VALINTA

Kamera, kameran rajapinta ja muut ominaisuudet ovat yleensä irrallisia toisistaan, ja halutut ominaisuudet ja konfiguraatiot löytyvät valmiina jostain markkinoilla tarjolla olevasta kamerasta. Tämä lähestymistapa saattaa kuitenkin olla huono, sillä tuhansien kamerakorttien joukosta juuri tietyn konfiguraation löytäminen kaikki muuttujat mukaan lukien on erittäin haasteellista. On tehokkaampaa valita jokin kamerakortti tai kamerakorttisarja esimerkiksi hinnan tai yhden halutun ominaisuuden perusteella, ja yrittää rakentaa loput kokonaisuudesta sen ympärille. Tässä projektissa tätä lähestymistapaa toteutettiin valitsemalla alustavasti Allied Visionin Alvium -kamerasarja projektin selkärangaksi (16). Sarjasta löytyy useita kamerakortteja, joissa on vaihteleva suorituskyky ja yleisimmät rajapinnat, joten se vaikutti lupaavalta.

5.1 Kameratyökalun vaatimukset

Suunniteltavan työkalun alustava tarkoitus oli korvata testilaitteessa jo valmiiksi sijaitseva korkearesoluutioinen kamera. Tämän kameran sijoittelu laitteessa on korkealla laitteen katossa, joten välimatka kameran ja kuvattavan kohteen välillä on suurehko. Tämä välimatka tarkoittaa sitä, että tarkan kuvan pienestä kohteesta ottaakseen kameran resoluution tulee olla suuri, tai käytössä tulisi olla zoom-objektiivi. Zoomaus ei tässä tapauksessa ollut käytettävä vaihtoehto, sillä konenäkökameraan on hyvin työlästä ja kohtuuttoman kallista asentaa sellainen objektiivi, joka mahdollistaa polttovälin säätämisen. Lisäksi zoom-objektiivi täytyisi automatisoida, mikä aiheuttaisi lisävaivaa. Suurempi resoluutio kamerassa tarkoittaa myös hinnan korotusta, joten myös taloudellisista syistä oli syytä selvittää, kuinka tehtävästä suoriuduttaisiin heikommalla kameralla.

Testilaitte toimii modulaariperiaatteella, jossa testityökalu on irrallinen kappale, joka voidaan kiinnittää akselistoon robotin käytettäväksi (2). Akseliston sijaitseminen testattavan laitteen välittömässä läheisyydessä mahdollistaa kameran ja kuvattavan kohteen välimatkan pienentämisen, pienentäen kameran resoluution tarvetta ja tehden samalla mahdollisesta zoom-objektiivista turhan. Työkalulla on myös makasiinin ja akseliston takia kokorajoitus, joka pakottaa kameravalinnan avoimeen piirikorttimuotoiluun, tai korkeintaan

puolirunkokameraan. Kokonaan kotelolla päällystetty teollinen konenäkökamera ei mah-
tuisi työkaluun.

Suuremman resoluution kamera laitteessa on 5MP, mutta rajapinnan ja tiedonsiirtokais-
tojen vuoksi saman tiedonsiirtoluokan kameraa on hyödytöntä käyttää työkalussa. Kame-
ran ja kuvattavan kohteen välimatkaa pienentämällä resoluution tarve putosi huomatta-
vasti, mikä osittain ratkaisee ongelman suuren tietomäärän siirrosta. Kahden megapikse-
lin kamera vaatii huomattavasti vähemmän kaistaa isäntäjärjestelmältä, ja on näin hel-
pommin käsiteltävissä. Kamerakortin vaihtaminen kevyempään malliin tarkoittaisi myös
huomattavia kustannussäästöjä.

Resoluutio, jota mitataan yleensä megapikseleissä, muodostuu pikselien määrästä. Pik-
seli on kuvan tai grafiikan yksikkö, joka muodostuu yhdestä pisteestä. Esimerkiksi 1,5
megapikselin kamerassa näitä pisteitä on 1,5 miljoonaa. (17, 18.)

Kameralta vaaditaan myös värien tunnistaminen. Monokromaattiset kamerrat, jotka ovat
yleisesti hieman värikameroita tarkempia, eivät sovellu tähän laitteeseen. Värikamerrat
toimivat yleensä kolmen värin (punainen, vihreä, sininen = RGB) yhdistelmällä. Yksi pik-
seli ei voi tulkita yhtä väriä enempää, mikä tarkoittaa sitä, että värikamerassa on vähem-
män pikseleitä jokaista väriä kohden verrattaessa yksiväriseen. (17.) Hinta väriä tunnis-
tavien ja tunnistamattomien variaatioiden välillä on yleensä pieni tai olematon.

5.2 Käytettävän rajapinnan määrittäminen

Testilaitteen oma tiedonsiirto työkalulle tapahtuu I2C ja USB 2.0 -väyliä pitkin (2). I2C:tä
käytetään työkalun ohjaukseen ja diagnostiikkaan, eikä sillä ole osuutta esimerkiksi tie-
donsiirrossa kameralta isäntälaitteelle. Näin ollen tiedonsiirtoa varten laitteessa on USB
2.0, joka etenkin korkeaa kaistanleveyttä vaativissa tehtävissä jää helposti vajavaiseksi.
Nykypäivän vaatimuksia vastaavat kamerrat ylittävät helposti sen tiedonsiirtokapasiteetin,
jota USB 2.0 pystyy välittämään. Tätä ongelmaa voi kuitenkin osittain kiertää ja mitätöidä
tekemällä oikeita valintoja siinä, miten ja kuinka paljon tietoa siirretään. Tässä tapauk-
sessa kameratyökaluun oli tarpeellista lisätä ohjainkortti, joka pystyy käsittelemään, tal-

lentamaan ja muokkaamaan dataa ennen kuin se siirretään isäntälaitteelle. Jos isäntälaitte olisi ollut USB 3.0 -yhteensopiva, olisi samaa rajapintaa hyödyntävän kamera käyttö ollut luonnollista, poistaen mahdollisesti myös ohjainkortin ja väliprocessoinnin tarpeen.

I2C on vain kahta linjaa käyttävä väyläratkaisu, joka on yleistynyt ja kehittynyt valtavasti sen jälkeen kun se luotiin 1980-luvulla. Master/slave-teknologiaan perustuva ratkaisu mahdollistaa monitahoisen ja helposti muokattavan ympäristön tiedonsiirrolle ja ohjaintekniikalle. (20.)

Ohjainkortin käytöstä päättäminen vapautti kameran rajapinnan vaihtoehtoja, sillä ohjainkortit pystytään hyödyntämään siten, että kameran luettava rajapinta muutetaan toiseksi ennen tiedonsiirtoa isäntälaitteelle. Näin ollen voitiin valita kameran sensori sen toiminnallisuuden perusteella, vaikka rajapinta ei ollut täysin yhteensopiva isäntälaitteen kanssa. Kameran sensorin määrittelyssä päädyttiin osittain ohjainkortin ominaisuuksien takia MIPI CSI-2 -rajapintaan. Suorituskyvyssään MIPI CSI-2 on markkinoiden huippuluokkaa, ja kaistanleveys voi olla jopa 5,7 Gbit/s (19). Rajoitteisuus on ennen kaikkea kommunikatiivisuuden pituudessa, joka voi CSI-2:ssa olla enintään 20 cm. Tämä lyhyt vetomatka ei kuitenkaan koidu ongelmaksi kameratyökalua rakentaessa, sillä matka kameran ohjainkortille tulee olemaan alle 20 cm.

Ohjainkortteja tutkiessa etsittiin myös korttia, joka olisi pystynyt sekä ottamaan vastaan että välittämään USB 3.0 -signaalia, mutta tämän yksinkertaiselta vaikuttavan toimintamallin etsiminen ei tuottanut haluttua tulosta. Suorituskyvyltään USB 3.0 ja MIPI CSI-2 ovat erittäin lähellä toisiaan, ja etenkin Alvim-sarjan kamerat ovat usein identtisiä toiminnallisuuksiltaan rajapintaa lukuun ottamatta. Vaikka USB 3.0 on äärimmäistapauksissa hitaampi, siitä ei koidu ongelmia tämän resoluutioluokan kameroissa, sillä tiedonsiirtonopeus ei ole laitteiston rajoittava tekijä.

5.3 Kamerakortin valinta

Rajapinnan vaihtoehtojen kaventuessa MIPI CSI-2:een voitiin alkaa tarkastelemaan saatavilla olevia kamerakortteja tarkemmin. Eri valmistajien vertaaminen helpottui huomattavasti, kun määrittäviä tekijöitä oli enemmän. Sadat vaihtoehdot ja useat kameravalmistajat karsiutuivat pois ja jäljellä olevista voitiin alkaa tarkastelemaan sopivaa vaihtoehtoa

hinnan, saatavuuden ja muiden toistaiseksi määrittämättömien ominaisuuksien perusteella. Jo alussa suunnittelupohjaksi valittu Allied Visionin tarjoama Alvium-sarja vaikutti edelleen yhdeltä lupaavimmista vaihtoehdoista nykyaikaisuutensa ja kilpailukykyisen hintansa vuoksi. Alviumin taipumus käyttää samaa kamerasensoria MIPI CSI-2 ja USB 3.0 -rajapintaisissa kameroissa mahdollistaisi myös sen, että jos isäntälaitte tulevaisuudessa pystyisi käsittelemään USB 3.0 -signaalia, voitaisiin kamera vaihtaa siihen hyvin vähällä vaivalla (16). Yksi valintaan kannustava piirre oli myös kameravalikoima, joka kyseisessä sarjassa on laaja. Tämä mahdollistaa uusien vastaavien tuotteiden suunnittelemisen samaan runkoon vähemmällä vaivalla. Myös kamerakortin vaihtaminen jo olemassa oleviin laitteisiin helpottuisi.

Kamerakortin valinta ei kuitenkaan tapahtunut irrallisena muusta suunnittelusta, sillä koko työkalun rakennetta tarkkailtiin jatkuvasti, ja lopulliset päätökset käytettävistä komponenteista tehtiin ikään kuin toistensa lomassa, sen sijaan että päätöksiä olisi tehty yksi komponentti kerrallaan. Kameran rajapinta, valmistaja tai sensorityyppi saattaisi siis muuttua, jos muut työkalun ominaisuudet sitä vaatisivat.

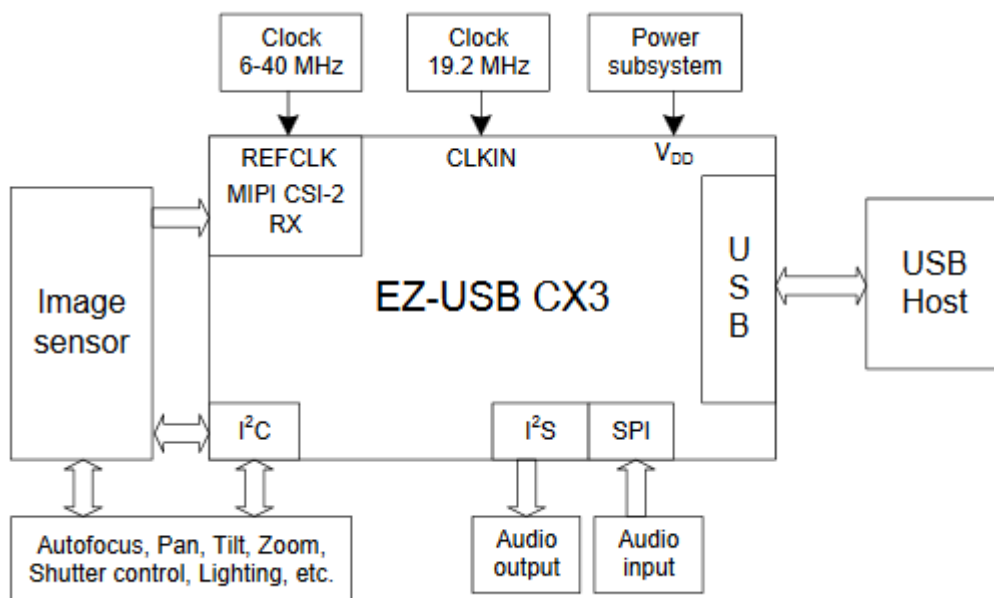
5.4 Ohjainkortti

Cypress on yhdysvaltalainen monialainen teknologiayritys, jonka tuotelistoilta löytyy muiden vaihtoehtojen ohessa kameraohjaimia. Kameratyökaluprojektiin liittyen näistä ohjainkorteista löytyi potentiaalisia laitteita käsittelemään dataa ja ratkaisemaan useita kehitysvaiheen ongelmia. Kyseessä on ohjainkortit, joiden tehtävä on muokata kameralta tuleva data USB 3.0 -yhteensopivaksi. USB 3.0 on yleinen tiedonsiirtoprotokolla, jonka lukeminen onnistuu hyvin vaivattomasti lähes jokaiselta modernilta tietokoneelta, jonka takia se on turvallinen valinta rajapinnaksi. Tämä USB 3.0 -rajapinta on ohjainkortin ja isäntälaitteen välissä, kameran itsensä ei siis tarvitse, eikä se voi olla USB 3.0 -rajapintaa hyväksikäyttävä.

Cypress tarjoaa kahta uudenaikaista ohjainkorttirakennetta juuri kuvatiedon muokkamiseksi USB 3.0 -rajapinnan mukaiseksi. EZ-USB CX3 ja EZ-USB FX3 toteuttavat molemmat tätä tehtävää, sillä keskeisellä eroavaisuudella, että CX3 ottaa vastaan MIPI CSI-

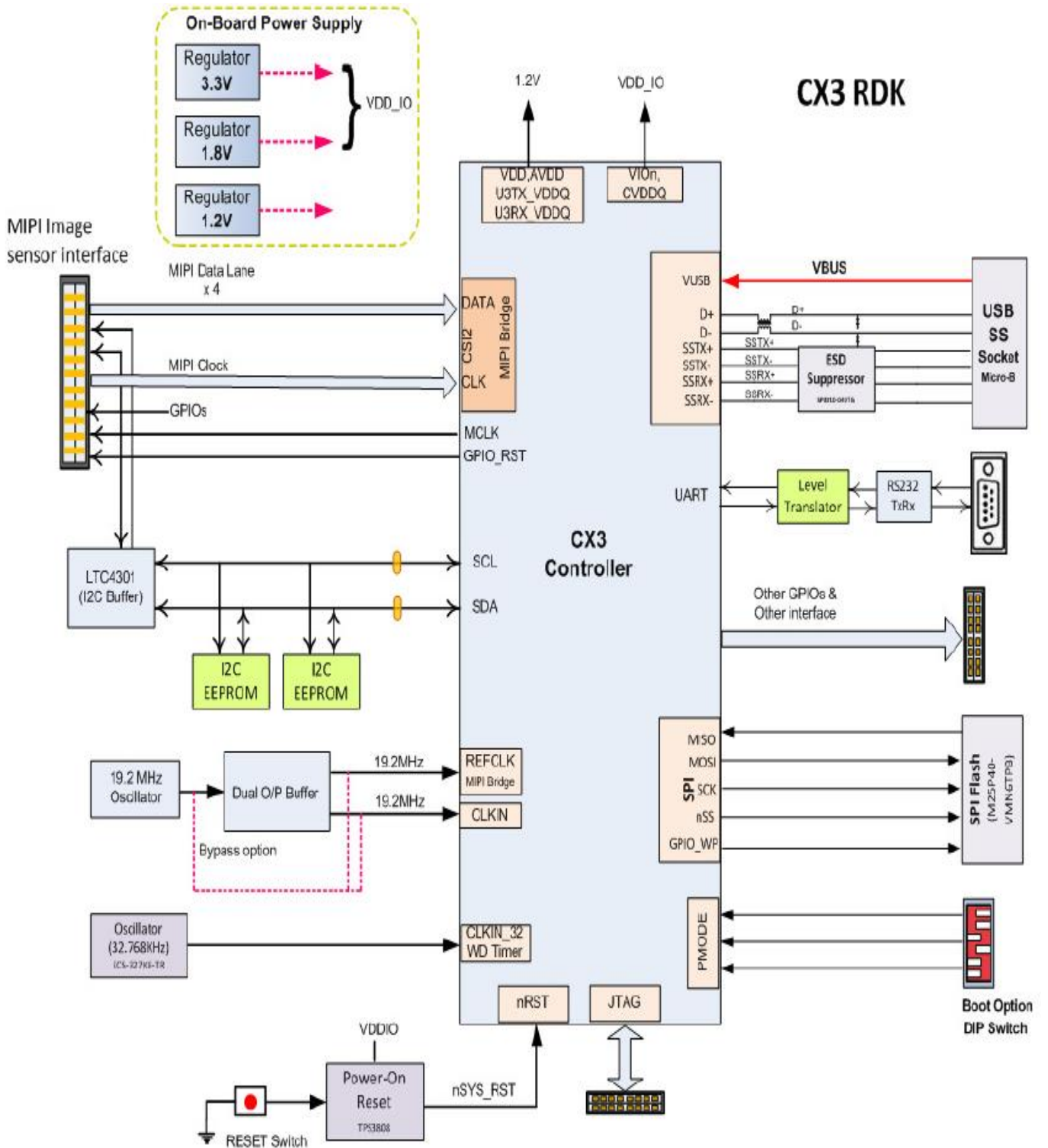
2 -rajapinnan dataa, ja FX3 puolestaan muita rajapintoja, kuten ASIC ja FPGA. Kumpi-kaan sensoreista ei kuitenkaan ota vastaan USB 3.0 -signaalia, ja koska alustavasti käyttöön suunniteltu Alvium -kameran sensori toimisi joko USB 3.0 tai MIPI CSI-2 -rajapinnalla, ohjasi tämä kameran esivalinta ohjainkortin valinnassa EZ-USB CX3:een. Näin ollen kameran ja ohjainkortin yhdistelmällä saataisiin aikaan jo toimiva kamerajärjestelmä, joka pystyy tuottamaan kuvaa ja välittämään sitä eteenpäin USB 3.0 -rajapinnalta. (22; 23.)

CX3:n tarkoitus yksinkertaisuudessaan on ottaa vastaan MiPi CSI-2 -signaalia kamerasensorilta ja muokata, tallentaa sekä lähettää se eteenpäin USB 3.0 -yhteensopivana. Lisäetuna ohjainkorttia käytettiin kuitenkin myös valaistuksen ohjaamiseen. Kuvissa 7 ja 8 on kuvattu CX3:n toiminnallisuutta kahdella eri tasolla. Ensimmäisessä kuvassa on yksinkertaistettu kaavio CX3:n toiminnallisuuksista ja eri rajapintojen käytöstä yhteydessä toisiinsa ja oheislaitteisiin. Kuvassa 8 on kuvattu CX3:n ominaisuudet ja rajapinnat jokaiseen käyttötilanteeseen. Kuvasta voi tulkita myös oheistoimintojen johtimien tarkoitukset, kuten esimerkiksi USB-liittymän yksittäiset kanavat. Tämä kuva oli erityisen hyödyllinen I2C:n ja MIPI CSI-2:n yhteisiä toiminnallisuuksia kartoittaessa. Kuvasta 7 ilmenee selkeästi I2C:n yhteys kamerasensorin lähettämään dataan.



KUVA 7. CX3:n toiminnallisuus laitetasolla (22)

Ohjainkortti mahdollistaa kameran ohjaamisen fyysisesti, jos kamerassa on sitä tukevat ominaisuudet. Tarkennus, zoomaus tai kameran kohdistaminen ovat esimerkkejä fyysisestä ohjauksesta. Kameran voi käyttökohteen niin salliessa asentaa myös erilliselle liikkuvalla jalustalle kuten robottiin tai servoakselistoon, jonka ohjaus voidaan järjestää ohjainkortilla. Ohjainkortin välimuisti mahdollistaa kuvien säilyttämisen ja prosessoinnin, jos esimerkiksi isäntälaitte ei pysty vastaanottamaan kuvatietoa, tai lähetettävän kuvan kais-tavaatimus ylittää järjestelmän suorituskyvyn. Ohjainkortin toiminnallisuutta havainnollis-tetaan kuvassa 8.



KUVA 8. CX-3:n toiminnallisuus rajapinta- ja komponenttitasolla (22)

6 VALAISIN JA PIIRILEVY

6.1 Rengasvalo

Tässä projektissa kameratyökalu tulee sijaitsemaan testilaitteen sisällä, joka ei ole normaalissa tilanteessa valaistu. Visuaalinen tarkastus tarvitsee aina riittävän valaistuksen, eikä useimmissa tapauksissa tavanomainen huonevalaistus riitä (15). Kuvattava kohde täytyy valaista kohdevalaisimilla, jotka valaisevat kohteen tasaisesti ja riittävästi. Valo voi olla aallonpituudeltaan näkyvällä tai infrapunaspektrillä, eivätkä kaikki kamerat pysty tarkastelemaan molempia (15). Tähän projektiin ei ollut syytä huolehtia infrapunasta, joten valaistus ja kamera toimisivat näkyvän valon aallonpituuksilla.

Yksinkertainen ja yleinen ratkaisu kameran kuvattavan kohteen valaisuun on rengasvalo (ring light). Valo muodostuu yleensä LEDeistä, jotka ovat renkaan muodossa, jättäen keskelle tyhjän tilan kameran optiikalle. Näin kohde saadaan valaistua kohtisuoraan ja kattavasti linssiin nähden. Hyvä kohdevalo on ainut huolehdittava asia, jos kohdevalo on suunnattu oikein, sillä kamera ei tule näkemään mitään, mitä valo ei valaise. Näin ehkäistään myös valaistuksen ylirajoittamista tai turhia valaisimia. Kohtisuorassa valaisimessa voi kuitenkin olla kiiltäviä materiaaleja kuvatessa heijastumisen vaara. Jos heijastus on liian voimakas ja kuvattava kohde muuttuu kuvassa epäselväksi, on valaistus syytä toteuttaa siten, ettei heijastuksia muodostu. (15; 25.)

Tarkoitukseen löytyi helposti sopiva valaisin valaisinvalmistajien internetsivuilta etsimällä. CCS Inc. on tarkastusvalaistukseen erikoistunut yritys, jolta löytyy laaja katalogi rengasvaloja. Lukuisista vaihtoehtoista valittiin LDR2-70SW2, joka on 35 mm:n sisämitalla, valkoisella valolla ja +24 V ohjausjännitteellä sopiva vaihtoehto tähän työkaluun. Kyseinen valaisin näkyy kuvassa 9.



KUVA 9. LDR2-70SW2 (24)

6.2 System on chip -piirilevy

Ohjainkortti on lähtökohtaisesti vain yksi toimilaitte, joka ei ole käytännöllinen sellaisenaan, vaan sen ympärille tulee niin fyysisesti kuin elektronisesti rakentaa toiminnallisesti tukikykyinen järjestelmä. Tällaista usean toimilaitteen yhdistelmää kutsutaan järjestelmäpiiriksi (System on chip, SoC) (22). Järjestelmäpiiri voidaan valjastaa haluttuun käyttötarkeitukseen oikealla komponentoinnilla ja ohjelmoinnilla, ja nykypäivän laitevaihtoehtoilla erilaisia järjestelmäpiirejä on käytännössä rajattomasti.

Järjestelmäpiirin työtehtäviä tässä kameratyökalussa ovat

- vastaanottaa MIPI CSI-2 -signaali kamerasensorilta,
- ohjata rengasvaloa GPIO ja I2C -linjojen kautta,
- mahdollistaa UART-liitäntä,
- sisältää käyttömuisti kuvien käsittelyä varten,
- käsitellä kuvatietoa,
- lähettää kuvatieto USB 2.0 -väylää pitkin isäntälaitteelle.

Kuten piirilevykokoontimet yleensä, myös tämä järjestelmäpiiri käyttää vain korkeintaan +5 V:n jännitettä. Rengasvalon kannalta tämä tarkoittaa sitä, että sen käyttöjännite tulee ottaa kameratyökalun liitännästä. Jotta rengasvalon ohjaus saatiin ohjauskortille, tuli syötön ja kameran välille asentaa DA-muunnin, jota ohjattiin I2C:n ja GPIO:n kautta. Näin saatiin tarpeellinen käyttövirta rengasvalolle mahdollisuudella himmentää valaisimen tehoa ohjelmallisesti. Ilman järjestelmäpiirin käyttöä rengasvaloa ei olisi voinut ohjata, vaan sen olisi täytynyt olla päällä jatkuvasti. Energiankulutuksen, käyttömukavuuden ja toimilaitteiden käyttöänsä puolesta on parempi ratkaisu käyttää valoa vain sitä tarvittaessa. Kuva 10 on lohkokkaavio järjestelmäpiirin toiminnasta. Siitä ilmenevät toimilaitteet piirin sisällä, ja niiden väliset rajapinnat. Tätä lohkokkaaviota käytetään järjestelmäpiirin piirtämiseen ja piirilevyn suunnitteluun.

7 SÄHKÖ- JA AUTOMAATORAKENNE

7.1 EPLAN

KytKentäkuvien piirtämiseen käytettiin EPLAN Electric P8 -ohjelmistoa. EPLAN tarjoaa modernit ja intuitiiviset ratkaisut nykypäivän suunnittelu- ja piirtotehtäviin. Eplan P8 on lähtökohtaisesti varsin tavanomainen piirustustyökalu, jossa on huippuluokan raporttityökalut ja maailmanlaajuiset osakirjastot. Ohjelmisto on mahdollista yhdistää tuotannonohjausjärjestelmiin, ja se helpottaa projektinhallintaa ja osaluetteloiden luontia entisestään. Työskentely EPLANilla muistuttaa hyvin paljon muita CAD-ohjelmistoja, ja sen opettelu on yleensä nopeaa. Ohjelmistoa päivitetään säännöllisesti, mutta päivitykset tulevat vain vuosittain uuden version mukana. (26.)

7.2 Suunnittelu

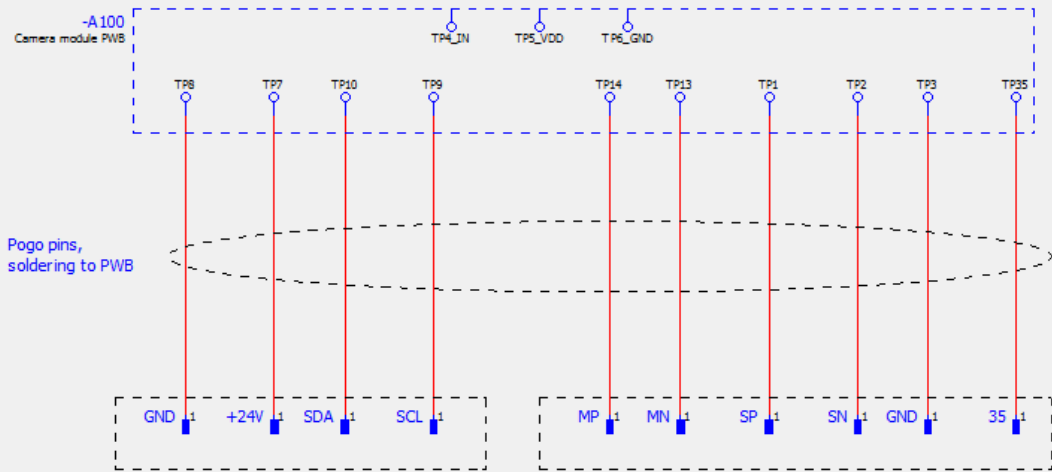
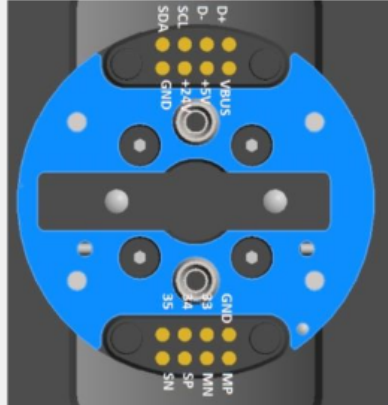
Automaatorakenteen mallipohjana käytettiin edellisten testityökalujen automaatorakenteita. Koska työkalun runko ja liitännät ovat yhdenmukaisia, ei automaatorakennekaani muutu olennaisesti. Rakenteen perustana toimii järjestelmäpiirin levy, mutta koska sitä ei ollut tämän projektin suorittamisen aikaan vielä suunniteltu, ei siihen voinut suoraan viitata. Automaatiokuvaan määritettiin työkalun rajapinta isäntälaitteelle sekä kamerakortille.

Kokonaisuuden ymmärtämiseksi tulisi siis ottaa huomioon myös elektroniikkapiirustus järjestelmäpiiristä. Järjestelmäpiirin kytkentä on huomattavasti automaatorakennetta monimutkaisempi, ja sitä kuvataan kytkentäkuviissa vain pintapuolisesti. Vaikka järjestelmäpiirissä on kymmeniä komponentteja, on se oikein suunniteltuna kameratyökalussa kuin yksi toimilaite, eikä sitä siksi tarvitse kuvata automaatiopiirustukseen tarkasti. Rajapintojen yhteyksien ja toiminnallisuuksien huomioiminen ovat ainoat merkitsevät asiat automaatorakenteen kannalta.

Automaatiokuvien pääasiallinen tarkoitus on näyttää kameratyökalun kokoamisesta vastaavalle henkilölle rajapintojen pinnien kytkentäjärjestys järjestelmäpiiriin nähden.

Automaatiokuvat EPLAN:ista on esitetty kuvassa 11. Kuvista ilmenee kytkentöjen lisäksi työkalun ja testilaitteen rajapinnan järjestely.

Tool Pads, Top view (soldering from bottom side)



KUVA 11. Kameratyökalun kytkentäkuva

8 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella taloudellisempi kameratyökalu testilaitteeseen. Uusi työkalu olisi toiminnallisuuksiltaan laajempi, kustannustehokkaampi ja sopisi laitteen modulaariperiaatteeseen paremmin. Työ koostui pääosin komponentoinnista, oheislaitteiston määrittämisestä ja kamerakorttien vertailusta.

Suurin osa projektiin kulutetusta ajasta kului opiskellessa optisen tarkastuksen ja kamerateknologian perusteita, ja tämän tiedon soveltamista osakokonaisuuksien valintaan. Kohteeseen sopivan kameran valitsemiseksi tuli tietää kameroiden toiminnasta ja sovel-lusvaihtoehdoista tarpeeksi, mutta koska koko laitteisto toimii yhtenä kokonaisuutena, tuli muut osat ottaa aina huomioon. Oheislaitteiston ja väyläratkaisuiden yhteensovittaminen toistensa ja kameran kanssa oli haasteellista, sillä muuttuvia osia oli niin paljon.

Kamerakorttien hintavertailussa oli mielenkiintoista huomata, että ominaisuuksiltaan täysin samanlaisilla kameroilla saattoi olla satojen eurojen hintaeroja. Varsinkin kun ottaa huomioon, että kameran sensorit ovat hyvin usein täysin samoja eri kamerakorteissa, näyttävät monen valmistajan tuotteet keskenään yhtäläisiltä. Vaikuttaisi siltä, että konenäköön tarkoitettua kameraa hankkiessa ei kannata olla merkkiuskollinen, vaan kilpailuttaa kameravalmistajia keskenään ja etsiä taloudellisin ratkaisu.

Jatkoa tälle projektille on tiedossa, ja se etenee varsin suoraviivaisesti: tilataan oheislaitteet ja kamera, suunnitellaan piirilevy ja kokoonpannaan kameratyökalu. Kameran ja ohjainkortin toiminnallisen kokonaisuuden muodostaminen mahdollistaa jatkossa myös muihin projekteihin kameratyökalun suunnittelun samalla periaatteella. Ilman modulaarista rakennetta konenäkö on nykypäivänä parhaimmassa tapauksessa hyvinkin yksinkertaista toteuttaa. Opinnäytetyön tekeminen näytti miten monipuolisesti konenäköä voi toteuttaa ja kuinka rajaton erilaisten toiminnallisten kokonaisuuksien määrä on.

Ottaen huomioon, että tässä työssä ei käsitelty 3D-kuvausta tai muita liikkuvia kameroita, on tämä projekti ollut vasta pintapuolinen tutustuminen konenäköön ja sen eri käyttötarkoituksiin. Lisäksi hyvin olennainen osa konenäköä on tietokoneohjelmistot, jotka toimivat rajapintojen toisella puolen. Kuvien automaattinen tulkitseminen ja ohjelmiston toiminta

kuvattavan kohteen ominaisuuksien mukaan on nykypäivänä konenäön suurimpia haasteita ja kehitysalueita. Näiden ohjelmistojen käsittely tai opettelu ei kuitenkaan ollut tarkoituksenmukaista tässä projektissa.

Jo kauan jatkunut kameroiden, teknologian ja ohjelmistojen halpeneminen johtaa väistämättä tulevaisuudessa konenäön yleistymiseen entisestään. Entistä monimutkaisemmat prosessit ja tarkastelutehtävät ohjataan automaattisten järjestelmien suoritettavaksi, mikä tarkoittaa yksinkertaisten työtehtävien poistumista. Tulevaisuus vaikuttaa lupaavalta konenäön ja testilaitteiston parissa työskenteleville.

Koko tähänastisesta projektista jäi siis ennen kaikkea ymmärrys konenäöstä, suunnitelma kameratyökalusta sekä vankka tietopohja vastaavanlaisien projektien toteuttamiselle. Projektin onnistumista saattaa olla vaikeaa mitata tässä vaiheessa konkreettisesti, mutta opinnäytetyön tekijälle tämä oli erittäin opettavainen kokonaisuus.

LÄHTEET

1. JOT Automation. Saatavissa: <https://www.jotautomation.com/about.html> Hakupäivä: 1.4.2019
2. G5 Final tester. JOT Automation. Saatavissa: <https://www.jotautomation.com/products/jot-g5-final-tester.html> Hakupäivä: 1.4.2019
3. Lavanya, C. New era of test automation. Testsigma. 2018. Saatavissa: <https://testsigma.com/blog/new-era-of-smart-test-automation/> Hakupäivä: 1.4.2019
4. Hardware test guide for mass products. Fictiv. Saatavissa: <https://www.fictiv.com/hwg/test/hardware-testing-guide-for-mass-production> Hakupäivä: 1.4.2019
5. RD-testing. Optofidelity. Saatavissa: <https://www.optofidelity.com/test-solutions/rd-testing/> Hakupäivä 5.4.2019
6. Li, Kanglin – Wu, Menggi 2004. Effective Software Test Automation: Developing an Automated Software Testing Tool. ISBN-13: 978-0782143201
7. Groover, Mikell P. Automation. 2015. Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing 4th Edition. ISBN-13: 978-0133499612
8. Huang, T. S. 1996. Computer Vision: Evolution and Promise Saatavissa: <http://cds.cern.ch/record/400313/files/p21.pdf> Hakupäivä 15.4.2019

9. Computer Vision vs. Machine Vision. Vision Online. 2014. Saatavissa: https://www.visiononline.org/vision-resources-details.cfm/vision-resources/Computer-Vision-vs-Machine-Vision/content_id/4585 Hakupäivä: 15.4
10. Automated quality control vs Manual inspection. Shelton Vision. 2016. Saatavissa: <https://www.sheltonvision.co.uk/news/automated-quality-control-vs-manual-inspection/> Hakupäivä: 5.4.2019
11. Jain, Ramesh – Kasturi, Rangachar – Schunck, Brian G. 1995. Machine vision ISBN-13: 978-9382661344
12. USB 3.0 — The Camera Interface of the Future (?). Baslerweb. Saatavissa: <https://www.baslerweb.com/en/vision-campus/interfaces-and-standards/usb3-interface-future/> Hakupäivä 25.3.2019
13. Machine vision cost justification. 2000 Saatavissa: <https://imagingtechnologies.com/machine-vision-cost-justification/> Hakupäivä: 25.3.2019
14. Imaging Electronics 101: Understanding Camera Sensors for Machine Vision Applications. Edmundoptics. Saatavissa: <https://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/imaging/understanding-camera-sensors-for-machine-vision-applications/> Hakupäivä: 27.3.2019
15. Hornberg, Alexander 2006. Handbook of machine vision ISBN 0-07-032018-7
16. Alvium camera series for embedded vision. Allied Vision. Saatavissa: <https://www.alliedvision.com/en/products/embedded-vision/alvium-camera-series.html#c7076> Hakupäivä 14.4.2019

17. Chouinard, John 2015. Imaging basics: Calculating resolution. 1stVision. Saatavissa: <https://www.1stvision.com/machine-vision-solutions/2015/07/imaging-basics-calculating-resolution.html> Hakupäivä: 14.4.2019
18. Pixel. Techopedia. Saatavissa: <https://www.techopedia.com/definition/24012/pixel> Hakupäivä: 18.4.2019
19. MIPI Camera Serial Interface 2 (MIPI CSI-2). MiPi. Saatavissa: <https://www.mipi.org/specifications/csi-2> Hakupäivä 4.4.2019
20. I2C – What’s That? Saatavissa: <https://www.i2c-bus.org/> Hakupäivä 4.4.2019
21. The MIPI CSI-2 Interface for Embedded Vision Applications. Baslerweb. Saatavissa: <https://www.baslerweb.com/en/sales-support/downloads/document-downloads/the-significance-of-the-mipi-csi-2-interface-for-embedded-vision-applications/> Hakupäivä: 9.4.2019
22. EZ-USB® CX3 Programmable MIPI CSI-2 to USB 3.0 Camera Controller. Cypress. Saatavissa: <https://www.cypress.com/products/ez-usb-cx3-programmable-mipi-csi-2-usb-30-camera-controller> Hakupäivä: 18.3.2019
23. DENEbola (See3CAM_CX3RDK) - Cypress® CX3™ Reference Design. Denebola. Saatavissa: <https://www.e-consystems.com/CX3-Reference-Design-Kit.asp#key-features> Hakupäivä 2.4.2019
24. CCS-LDR2-70SW2. Saatavissa: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Omron-Automation-and-Safety/CCS-LDR2-70SW2?qs=PRxrzylab1jyGa3VtopJkg==> Hakupäivä: 15.4.2019

25. Hansel, Todd. Machine Vision Systems - The Importance of Lighting. A-S-E 2017.

Saatavissa: <http://www.a-s-e.com/machine-vision-systems-the-importance-of-lighting/> Hakupäivä 15.4.2019

26. EPLAN Electric P8. Eplan. Saatavissa: <https://www.eplan.fi/fi/ratkaisut/tuotteen-yleiskuvaus/eplan-electric-p8/> Hakupäivä 1.5.2019