

Kvalitetskontroll med Machine Vision

Viktor Nordström

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)

Utbildningsprogrammet för el- och automationsteknik

Vasa 2019



EXAMENSARBETE

Författare:	Viktor Nordström
Utbildning och ort:	El-och automationsteknik, Vasa
Inriktningalternativ:	Automationsteknik
Handledare:	Ronnie Sundsten

Titel: Kvalitetskontroll med Machine vision

Datum: Mars 1, 2020

Sidantal: 34

Abstrakt

Detta examensarbete har utförts på uppdrag av Nordic Lights Ab under sommaren och hösten 2019. Nordic Lights utvecklar och tillverkar belysningslösningar för industrimaskiner inom gruv-, bygg-, skogs-, jordbruks-, logistik-, transport- och räddningsindustrin.

Arbetsuppgiften var att planera och konstruera ett kvalitetskontrollsystem med hjälp av Machine vision som skulle kontrollera att lamporna blivit monterade med rätt komponenter och att de är korrekt installerade. Machine vision är ett system där en kamera fotograferar verkliga objekt. Matematiska funktioner och andra analyseringsmetoder markerar ut och känner igen olika former, färger, texter, avstånd och streckkoder i bilden.

Systemet använder sig av en Omron Microscan Microhawk MV-40 smartkamera som fotograferar och inspekterar lamporna och ger ut ett godkänt eller underkänt resultat till de som monterar lampan.

Resultatet blev ett självständigt Machine vision-system som bestod av 31 olika inspektionsprogram. Systemet demonstrerades till en av kunderna och ansågs utföra sin uppgift effektivt och användarvänligt.

Språk: svenska

Nyckelord: kvalitetskontroll, Machine vision, smartkamera, Computer vision

BACHELOR'S THESIS

Author: Viktor Nordström
Degree Programme: Electrical Engineering and Automation, Vasa
Specialization: Automation technology
Supervisor: Ronnie Sundsten

Title: Quality Control with Machine Vision

Date: March 1, 2020

Number of pages: 34

Abstract

This bachelor's thesis has been made for Nordic Lights Ltd. during the summer and autumn of 2019. Nordic Lights is a company that develops and manufactures lighting solutions for heavy industry Machines working in the mining, construction, forestry, agricultural, logistics, and emergency industry.

The purpose of the thesis was to develop and build a quality control system using Machine vision. The system controls that the lamps have been assembled with the correct components and that said components have been correctly installed. Machine vision is a system that utilizes a camera which photographs different objects. Mathematical functions and other analytic methods then recognize and mark out different shapes, colors, texts, measurements and barcodes in the picture.

The quality control system uses an Omron Microscan Microhawk MV-40 smart camera. The camera photographs and inspects the lamps and reports back a passed or failed result to the lamp assembler.

The result was a working and independent Machine vision-system which has 31 different inspection jobs installed. The system fulfills its intended purpose effectively and with an easy to use interface. The system was demonstrated to one of Nordic Lights customer who was satisfied with the product.

Language: Swedish

Key words: Quality control, Machine vision, smart camera, computer vision

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	1
2	Uppdragsgivare.....	3
3	Machine Vision	4
3.1	Definition.....	4
3.2	Bildtagning.....	5
3.2.1	CMOS-sensor	5
3.2.2	CCD-sensor.....	6
3.3	Slutare	7
3.3.1	Rolling shutter	8
3.3.2	Global shutter.....	9
3.4	Kameraobjektiv.....	10
3.4.1	Bländare	11
3.4.2	Brännvidd.....	12
3.5	Bildanalys	13
3.5.1	Edge detection	14
4	Utförande.....	15
4.1	Val av kamera.....	15
4.1.1	Omron FQ2-S2	16
4.1.2	Cognex In-Sight 2000 mini.....	17
4.1.3	Microscan Microhawk MV-40.....	18
4.1.4	Användargränssnitt.....	19
4.1.5	Slutgiltigt val av kamera.....	20
4.2	Vad kan kontrolleras?.....	21
4.3	Anslutning och kopplingar	22
4.3.1	Ethernetuppkoppling.....	22
4.3.2	I/O-uppkoppling	23
4.3.3	Trigger-input.....	24
4.3.4	Extern belysning	25
4.4	Kameraställning och jigggar.....	26
4.4.1	Jigggar.....	27
4.5	Inspektionsprogram.....	27
4.5.1	KL1001LED	28
4.5.2	KL2001LED	29
4.5.3	KL1401LED.....	30

4.5.4	Scorpius LED	31
4.5.5	N46LED.....	31
5	Resultat	32
5.1	Testning	32
6	Diskussion.....	33
6.1	Möjlig vidareutveckling	33
7	Källförteckning.....	34

Figurförteckning

Figur 1.	Nordic Lights logo. [1]	3
Figur 2.	Illustration av en Machine vision produktionslinje. [2].....	4
Figur 3.	Visualisering av funktionsprincipen i en CCD-sensor och en CMOS-sensor. [3]	5
Figur 4.	CCD-sensorn i världens största digitala kamera. [4]	6
Figur 5.	Exempel på motion blur. Ljusen från bilarna blir utdragna till linjer som effekt av att bilarna rört på sig medan kameran tar en bild. [5].....	7
Figur 6.	Exempel på hur en bild kan se ut om belysningen förändras under bildtagningen. [6]	8
Figur 7.	Jämförelse mellan en rolling shutter och en global shutter. [7].....	9
Figur 8.	Primärlins, Telefoto-objektiv och ett vidvinkelobjektiv (vänster till höger) [8]	10
Figur 9.	Objektiv med mindre formfaktor för Machine vision kameror från Cognex. [9]	10
Figur 10.	Bländarens storlek vid olika f-värden. [10].....	11
Figur 11.	Jämförelse mellan bländarvärden och hur de påverkar bakgrunden. [11] ..	12
Figur 12.	Omron FQ2 kamera med HMI (human Machine interface) tillbehör. [12] ...	16
Figur 13.	Cognex In-Sight 2000 mini. [9].....	17
Figur 14.	Microhawk MV-40 kameramodul. [13].....	18
Figur 15.	Närbild av lampa tagen med Omron FQ2. [14]	19
Figur 16.	Cognex kamera räknar antalet doseringar av kylpasta i ett lamphus. [14] ..	19
Figur 17.	Mer avancerad kontroll av en lampas delar med en MicroHAWK MV-40. Programmet kontrollerar, logo, linsens produktnummer, fästet, bricka och mutter till fästet. [14].....	20
Figur 18.	Konfiguration för kamerasytemets nätverk. [14].....	22
Figur 19.	Kopplingsdiagram för kamerasytemets strömförsörjning, in- och utgångar. [13]	23
Figur 20.	Kopplingschema för kamerans NPN utgångar. [13]	24
Figur 21.	Camdef-filens innehåll. Rad 32-35 visar tiderna för I/O line filter och debounce. [13]	25
Figur 22.	Nordic Lights KL1501 lampa. [1]	26
Figur 23.	Guide för inställning av Autovisions locate tool. [15]	28
Figur 24.	Lampmodell KL2001LED och förtstörning på linsens produktnummer. [16]	30

1 Inledning

Ett företag som utvecklar och säljer produkter har ett stort behov av att uppfylla olika krav i fråga om kvalitet och funktion. För att försäkra sig om att dessa krav uppfylls utförs tester under produktionen rutinmässigt. Testerna kan utföras manuellt av anställda eller med hjälp av avancerade testsystem och det ligger i företagets bästa förmåga att göra dessa tester så omfattande som möjligt.

1.1 Bakgrund

Sommaren 2016, efter mitt första studieår på Yrkeshögskola Novia, hade jag mitt första sommarjobb på Herrmans Nordic Lights. Jag fick jobb som sommarvikarie på serviceavdelningen, vart jag har återvänt varenda sommar efteråt.

På vårterminen 2019 bad jag om möjligheten att få utföra mitt examensarbete vid Herrmans Nordic Lights och de gav mig uppgiften att undersöka vilka komponenters placering som är möjlig att upptäcka med hjälp av Machine vision. Under mina tidigare somrar hade jag skapat en bra kännedom för monteringsprocessen för Nordic Lights produkter, vilket var till stor hjälp under examensarbetets gång.

Under arbetets gång utvecklades uppgiften till att utveckla ett system som skall användas i fabriken för kvalitetskontroll av företagets produkter. Tidigare hade en kvalitetskontroll utförts manuellt av en anställd i fabriken men en kund ställde som krav att det skulle finnas ett funktionerande Machine vision-system som identifierar och kontrollerar förutbestämda komponenters placering, orientering och ibland färg.

1.2 Syfte

Som tidigare nämnt, ligger det i ett företags bästa intresse att kontinuerligt och effektivt tillverka och sälja högkvalitativa produkter. För att minimera antalet reklamationer av nämnda produkter är det bäst att eventuella fel alltid upptäcks under tillverkningen.

En av de viktigaste punkterna att kontrollera på samtliga lamp-modeller är att lampans lins har placerats i lamphuset rätt väg. Linsen i sig själv har en symmetrisk form och kan placeras upp-och-ner i misstag eller för att somliga kunder har specialbeställda lampor

som monteras på olika sätt. Däremot kan vissa linser ge olika ljusbilder beroende på dess orientering och om en lins då monteras på fel sätt resulterar det ofta i omedelbar reklamation av produkten.

Tidigare har en slutgiltig granskning av produkten utförts av en anställd i fabriken men med hjälp av ett Machine vision-system skulle man eliminera fel som uppstår p.g.a. mänskliga misstag, som det alltid finns en risk för när människor är inblandade. Samtidigt görs kontrollen snabbare och effektivare och den anställda har ett lättare arbetsflöde.

2 Uppdragsgivare

Nordic Lights är ett företag som utvecklar och tillverkar effektiv och högkvalitativ arbets- och körbelysning för de svåraste och mest krävande arbetsmiljöerna. Företaget fokuserar på hållbarhet och att använda den bästa teknologin som marknaden har att erbjuda för sina belysningslösningar.

Nordic Lights produkter kan hittas på fordon inom gruv-, bygg-, skogs-, jordbruks-, logistik-, transport-, räddnings-, samt fartygssektorn. De levererar sina produkter till fler av världens ledande tillverkare av industrimaskiner till exempel Caterpillar, Liebherr, Sandvik och Komatsu och har återvändande kunder genom att alltid erbjuda produkter av samma höga kvalitet och prestanda. Nordic Lights har erhållit kvalitetscertifikatet ISO 9001 och miljöcertifikatet ISO 14001.

År 1959 grundade Bernhard Herrmans företaget Herrmans. Företaget tillverkade cykelkomponenter och var tidigt inte rädda för att automatisera processer, vilket har varit en bidragande faktor till företagets framgång. Nordic Lights grundades 1992 som en separat enhet och gick under namnet Herrmans Nordic Lights. Företaget har sett snabb tillväxt och stod 2018 för cirka 75 % av företagets totala omsättning. Investeringsbolaget Sponsor Capital blev ny majoritetsägare av företaget år 2018 och efter köpet planerades en separering av de två enheterna till att bli två skilda företag. Separeringen trädde i kraft vid årsskiftet till 2020.

Nordic Lights har över 150 anställda och oms 2018 över 40 miljoner euro. Förutom fabriken i Sandsund, Finland där de också har sitt huvudkontor, har de också en mindre fabrik lokaliserad i Suzhou, Kina som ligger en bit utanför Shanghai. Fabriken i Kina har ca. 40 anställda. [1]



Figur 1. Nordic Lights logo. [1]

3 Machine Vision

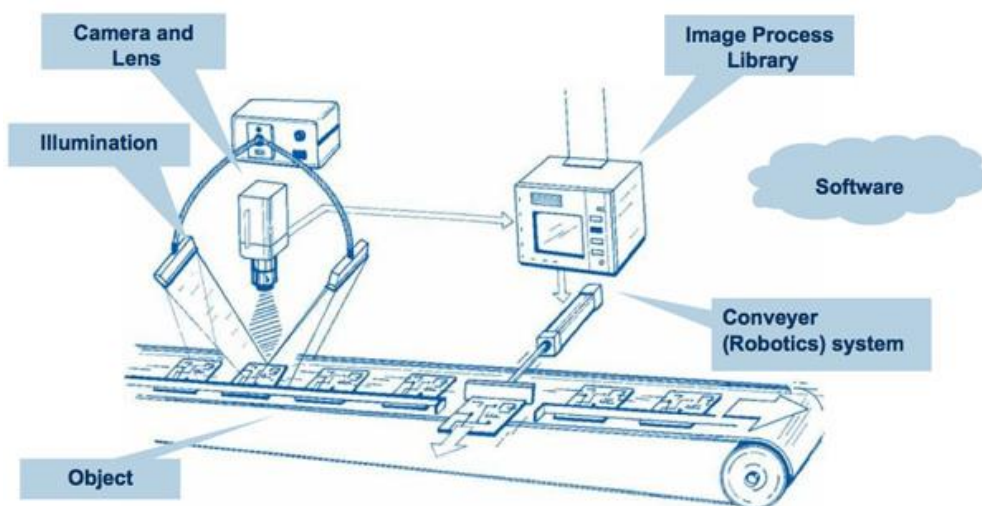
Detta kapitel är ämnat för att presentera och ge läsaren en överblick för de olika komponenter och ämnen som är nödvändiga för kameror och Machine vision.

3.1 Definition

Som namnet föreslår är Machine vision ett sätt att artificiellt ge en maskin eller dator möjlighet att interagera med omvärlden, oftast med hjälp av en image capturing device, i form av en kamera.

Machine vision används flitigt i industrier runtom i världen för att kontrollera och styra produktionsprocesser. Användningsområdet är brett och kan omfatta uppgifter som inspektion av produkters form och storlek, läsa texter, QR-koder och streckkoder, mäta avstånd, räkna antalet av produkter eller objekt på bilden och många andra funktioner.

Machine vision förekommer i enklare modeller i 2D-format, dvs. bara en vanlig kamera men för mer avancerade processer kan 3D-format användas där en 3D-bild skapas med hjälp av ett flertal av avbildningsenheter.



Figur 2. Illustration av en Machine vision produktionslinje. [2]

3.2 Bildtagning

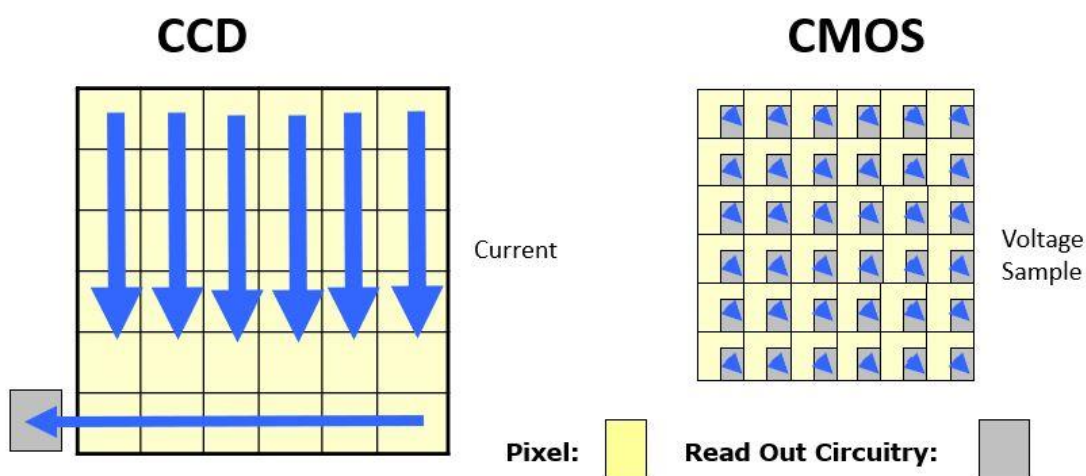
Det finns ett flertal komponenter som definierar och bestämmer hur en tagen bild kommer se ut. För att kalibrera en kamera korrekt enligt de behov man har för sin specifika Machine vision process behövs förståelse för vad dessa olika komponenter gör.

Den viktigaste komponenten i en kamera är bildsensorn och fungerar som en digital ersättning för den fotografiska filmen som används i analoga kameror. Dess funktion bygger på absorption av fotoner, också kallat fotoelektriska effekten. Huvudsakligen finns det två olika typer av bildsensorer som används i kameror, båda med sina för och nackdelar.

3.2.1 CMOS-sensor

CMOS-sensorn (complementary metal oxide semiconductor) är den mest förekommande kameran sensorn för kommersiellt bruk. Den hittas oftast i de flesta handhållna kameror och webbkameror på grund av sin låga energikonsumtion och produktionskostnad samt betydligt bättre funktionalitet för videoinspelning jämfört med en CCD-sensor.

Funktionsprinciperna mellan CCD- och CMOS-sensorn är väldigt liknande men med skillnader i konverteringen från analog till digital data.

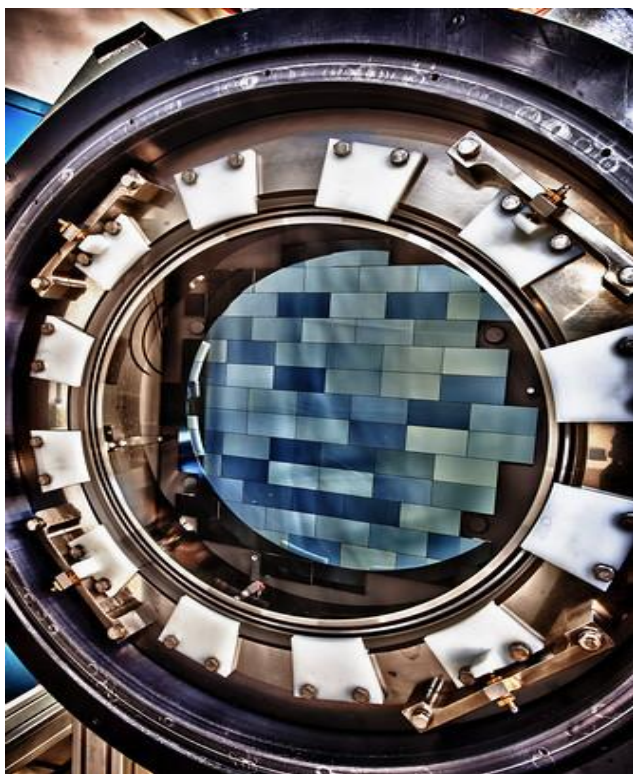


Figur 3. Visualisering av funktionsprincipen i en CCD-sensor och en CMOS-sensor. [3]

3.2.2 CCD-sensor

En CCD-sensor eller charge coupled device är den en av de vanligaste typerna av kameran sensor. Sensorn kan föreställas som en 2-D matrix av tusen- eller miljontals små solceller (pixlar) som fångar upp fotonerna. Det analoga ljuset som cellerna fångar upp konverteras i sin tur till digitala binära data med en analog till digital konverter. CCD-sensorn har länge erbjudit bättre bildkvalitet, dynamisk räckvidd och brus-kontroll jämfört med andra sensorer.

En av nackdelarna som CCD-sensorn medför är hög energikonsumtion, där jämfört med den populära CMOS-sensorn kan en CCD-sensor använda upp till hundra gånger mera energi. Eftersom CCD-sensorn som tidigare nämnt erbjuder bättre bildkvalitet med mindre brus, används de oftare inom forskning och bildtagning av astronomiska objekt. [3]



Figur 4. CCD-sensorn i världens största digitala kamera. [4]

3.3 Slutare

Inom fotografering, är slutaren en del av kameran som tillåter, för en bestämd tid, ljus att passera och exponera kameran sensorn. Rätt inställning av slutartiden är viktig för korrekt mängd uppsamling av ljus för sensorn. Om man fotograferar i en mörk omgivning ställs slutartiden längre och tvärtom för en ljus omgivning. Desto längre slutartid som används, desto stabilare måste kamerans positionering vara. Om kameran rör sig under tiden då slutaren är öppen resulterar det i en suddig bild. För fotografering av snabbt rörande motiv krävs det att man använder en väldigt snabb slutartid för att fånga upp ljuset från föremålet så snabbt som möjligt innan det hinner förflytta sig och i så fall resulterar i s.k. "motion blur". Vid dåliga ljusförhållanden används ofta extern belysning (ofta kallad blix) som synkroniseras i takt med slutartiden. Den externa belysningen möjliggör fotografering och videoinspelning vid förhållanden där en tillräcklig mängd naturligt ljus inte finns tillgängligt. [5]



Figur 5. Exempel på motion blur. Ljuset från bilarna blir utdragna till linjer som effekt av att bilarna rör sig medan kameran tar en bild. [5]

Det finns slutare som använder olika funktionsprinciper men de vanligaste inom fotografering och Machine vision överlag är s.k. "rolling shutter" och "global shutter".

3.3.1 Rolling shutter

Funktionsprincipen för en rolling shutter är att en ridå öppnas och stängs framför kameran sensorn. Beroende på hur ridån öppnas, exponeras kameran sensorn i sin tur antingen vertikalt eller horisontellt och bilden registreras i samma ordning. Hur snabbt ridån öppnas och stängs bestäms av slutartiden och på vanliga systemkameror kan hastigheterna gå upp till $1/8000$ s. Användning av en rolling shutter ger bilderna en högre dynamisk räckvidd jämfört med till exempel en global shutter samt mindre brus. En nackdel med en rullande sensor är att om man fotograferar snabbt rörande föremål kan det uppstå förvriddning av objekt i bilden, eftersom, som tidigare nämnt, bildens pixlar registreras vart efter ridån öppnas. Det betyder att objektet kan ha flyttat sig så mycket att det representeras som snett i bilden. En annan möjlighet är att ljusförhållandena har ändrats snabbt under slutartiden (kan ses vid bilder på blixtnedslag). [6]



Figur 6. Exempel på hur en bild kan se ut om belysningen förändras under bildtagningen. [7]

3.3.2 Global shutter

En global slutare fungerar genom att läsa av hela sensorn samtidigt. De förekommer vanligtvis i CCD-sensorer jämfört med den tidigare nämnda rolling shutter, som oftast förekommer i CMOS-sensorer. Förvrängningarna som uppstår på snabbt rörande motiv i en rolling shutter förekommer inte hos en global slutare på grund av den omedelbara läsningen av hela sensorytan.

De nackdelar som globala slutare medför är en högre prislapp, lägre dynamisk räckvidd, mer brus i bilden och lägre antal bilder per sekund (frames per second, fps) vid videoinspelning eller kontinuerlig bildtagning. En sensor med global slutare kan utvecklas för att kompensera bort den lägre dynamiska räckvidden och det ökade bruset men kostnaderna ökar samtidigt. [6]



Figur 7. Jämförelse mellan en rolling shutter och en global shutter. [6]

3.4 Kameraobjektiv

Ett kameraobjektiv eller kameralins är en samling av glaslinser som kombinerat med ett kamerahus hjälper till att skapa en korrekt och tydlig representation av ljuset som kameran sensorn samlar in. Somliga kameror har utbytbara linser som möjliggör att man kan byta mellan linser med olika egenskaper för att ta en bild på ett specifikt sätt. Beroende på linsens egenskaper varierar mängden ljus som kan tas in och hur stor vinkel ljuset tas upp ifrån; vilket bestämmer hur mycket zoom ett objektiv har. En kameralins är inte olik från linserna som används i teleskop och mikroskop, skillnaden är bara designen och konstruktionen av linserna. Ett objektiv har två fundamentala egenskaper; brännvidd och bländare.

Inom Machine vision och computer vision förekommer både kameror med utbytbara linser likväl som kameror med fasta linser. Vid val av kamera måste man använda sig av rätt lins för det system man utvecklar.



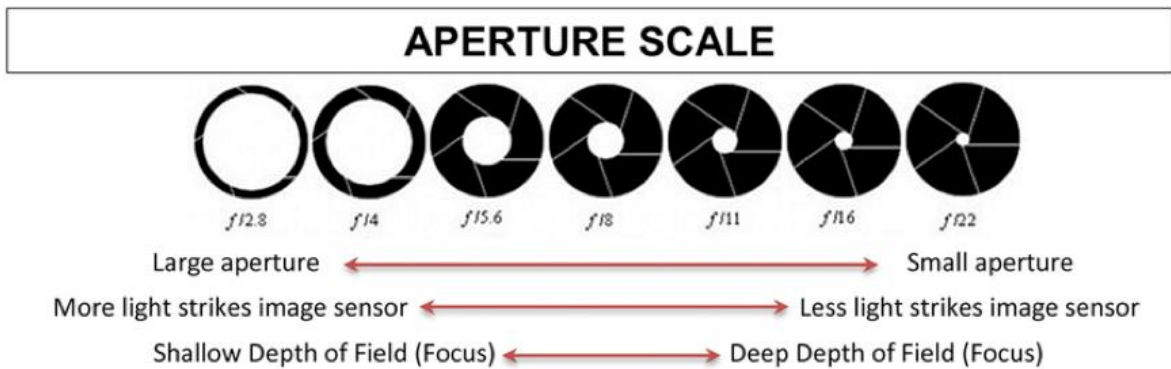
Figur 8. Primärlins, Telefoto-objektiv och ett vidvinkelobjektiv (vänster till höger) [8]



Figur 9. Objektiv med mindre formfaktor för Machine vision kameror från Cognex. [9]

3.4.1 Bländare

Bländaren är den komponent som tillsammans med slutaren bestämmer hur mycket ljus som exponeras för kameran sensorn. Bländaren är en öppning som kan variera i storlek och på så sätt variera mängden ljus som släpps igenom. En av de vanligaste bländarna är en irisbländare. Den varierar storleken på bländarens öppning med ett visst antal blad som dras ihop eller utvidgas så att öppningen ska hållas så cirkulär som möjligt. Hur stor öppningen är anges i ett f-värde. Desto lägre värdet är desto större är öppningen.



Figur 10. Bländarens storlek vid olika f-värden. [10]

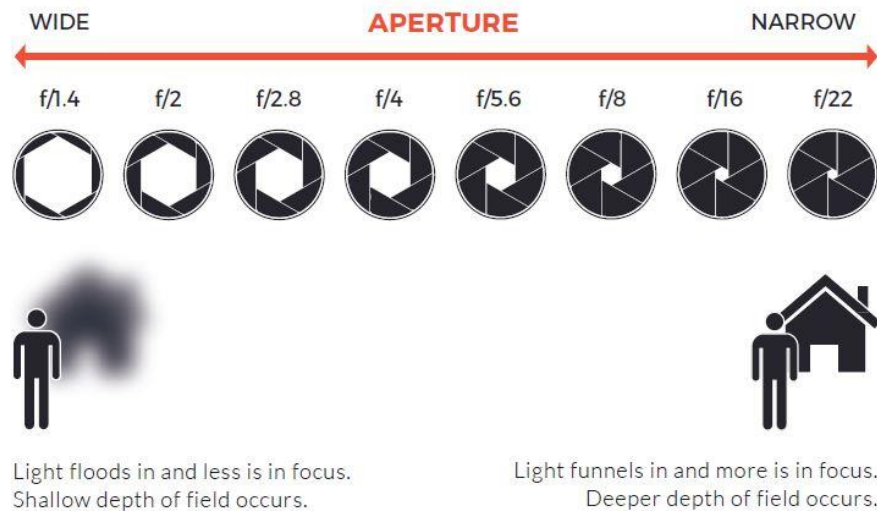
Förutom mängden ljus som tillåts passera påverkar bländaren också hur fokuseringen beter sig, dvs. skärpedjupet. Med högre f-värde får man mer skärpedjup och tvärtom med lägre f-värde. Skärpedjupet kan beräknas på följande sätt. [11] [10]

$$D_n = \frac{d \cdot H}{H + d - B}$$

$$D_f = \begin{cases} \frac{d \cdot H}{H - d - B}, & \text{om } H > (d - B) \\ \infty, & \text{om } H \leq (d - B) \end{cases}$$

Där,

- B är brännvidden
- H är hyperfokalavståndet
- d är det fokuserade avståndet
- D_n är närmaste avstånd som avbildas skarpt
- D_f är längsta avstånd som avbildas skarpt
- Skärpedjupet fås sedan från $D_f - D_n$



Figur 11. Jämförelse mellan bländarvärden och hur de påverkar bakgrunden. [11]

3.4.2 Brännvidd

Ett kameraobjektivs brännvidd är ett värde som oftast anges i millimeter. Talet representerar inte objektivet's egentliga längd eller bredd, men istället avståndet mellan kamerarens sensor och den punkt i objektivet där ljuset man samlar in konvergeras.

Brännvidden på ett objektiv bestämmer hur stort kamerans synfält är. En kortare brännvidd resulterar i ett stort synfält och en längre brännvidd i ett mindre synfält. Då synfältet ändras resulterar det också i mera zoom på bilden. Objektiv med en brännvidd mellan 8-35mm betraktas som vidvinkelobjektiv, 35-70mm ger en bra representation av hur det mänskliga ögat ser omgivningen och allt över 70mm betraktas som telefoto objektiv.

Objektiv kan ha en fast brännvidd och kallas då fasta objektiv (eller prime lens på engelska) eller så kan de ha varierbar brännvidd som resulterar i varierbar zoom. Inom Machine vision har kamerorna ofta en fast brännvidd men det förekommer också modeller med varierbar.

3.5 Bildanalys

Efter att en bild har blivit tagen behöver den bearbetas. I ett smart kamerasystem bearbetar systemets egna processorer och mjukvara bilden men i egenutvecklade system kodas bearbetningsprocessen på egen hand. Bildens bearbetning delas ofta upp i olika sekvenser. Det första steget är ofta att använda sig av funktioner som filter för att modifiera bilden och framhäva kontrasten mellan bildens detaljer mera tydligt. Efteråt extraheras objekt i bilden med hjälp av olika funktioner som följs av läsning av koder och text. Till slut används informationen för att jämföras mot önskade värden och gränser som i sin tur skapar ett godkänt eller underkänt resultat. Olika analysfunktioner beskrivs i listan nedan:

- Pixel counting: Räknar antalet ljusa eller mörka pixlar inom ett område (se mutter och bricka på Figur 17).
- Edge detection: Identifierar skarpa kontrast-, djup- och ljusförändringar som skapar ett mönster i en bild med hjälp av matematiska metoder. Punkterna var förändring upptäcks organiseras ofta om till segment av linjer som markerar kanten.
- Filtering: Teknik som hittar geometriska strukturer i en bild med hjälp av matematisk morfologi. Baserad på mängdteori, gitter och topologi.
- Color analysis: Identifierar delar, föremål och kontrollerar kvalitet av föremål med hjälp av färg. Kan också filtrera bort färg ur bilden ifall den förekommer i överskott.
- Blob detection: Identifierar regioner i en bild som skiljer sig i till exempel ljusstyrka och färg jämfört med omgivningen (se Figur 16).
- Pattern recognition: Funktion som kan matcha, identifiera och räkna specifika former utifrån en mall. Föremålet kan variera i storlek och rotation eller vara delvis gömt bakom andra föremål.
- OCR (optical character recognition): Automatisk läsning av text, olika fonter kan installeras och appliceras för kontroll.
- Läsning av streck- och QR-koder.

3.5.1 Edge detection

Edge detection inkluderar en variation av matematiska metoder med mål att indentifiera punkter i en digital bild där ljusstyrkan tydligt ändrar eller avbrott. De punkter var det hittas en kraftig skillnad i ljusstyrka organiseras ofta till en uppsättning av kurvade linjer som kallas för *edges*. Edge detection är ett fundamentalt verktyg i bildprocesseringen som äger rum i Machine vision.

En av de vanligaste algoritmerna för edge detection kallas Canny edge detector. Utvecklad år 1986 av John Canny. Metoden använder sig av en algoritm som generellt kan brytas ner till fem olika steg:

1. Apply Gaussian filter to smooth the image in order to remove the noise
2. Find the intensity gradients of the image
3. Apply non-maximum suppression to get rid of spurious response to edge detection
4. Apply double threshold to determine potential edges
5. Track edge by hysteresis: Finalize the detection of edges by suppressing all the other edges that are weak and not connected to strong edges.

Även fast Cannys metod för edge detection utvecklades i de tidiga dagarna för Machine vision, betraktas den fortfarande idag som en toppmodern edge detector och är en av de mest använda funktionerna inom Machine vision världen runt. [12] [13]

4 Utförande

Under denna rubrik kommer det praktiska utförandet behandlas och härledas. Arbetet inleddes med att bekantas med Machine vision. Arbetets mål började med att undersöka vilka komponenter och deras detaljer som kan kontrolleras och undersökas med hjälp av Machine vision.

Under arbetets gång kom det krav från en kund att en kontroll på ett flertal lampmodeller skulle genomgå en Machine vision kontroll under tillverkningsprocessen. I och med kundens krav utvecklades arbetet till att planera ett funktionsdugligt system som uppfyllde kundens krav och kunde användas i produktionen.

4.1 Val av kamera

Vilken kamera som används är ett kritiskt val vid utvecklingen av ett Machine vision-system. Man vill på förhand försäkra sig om att kameran uppfyller alla krav som uppfyller att de inspektioner som kommer utföras är tillräckligt noggranna.

Då arbetet inleddes fanns det färdigt till hands en Omron FQ2 kamera på Nordic Lights som användes för att bekanta sig med Machine vision. FQ2-kameran är ett komplett system som kombinerar kamera, mjukvara och processor i en kompakt enhet, ofta kallat smart kamera. Ett Machine vision-system kan också kudas med hjälp av t.ex. OpenCV som är ett bibliotek för programmeringsfunktioner med fokus på Machine vision i realtid. Det valdes att vidare utforska kompletta system jämförbara med FQ2-kameran p.g.a. avsaknad av tidigare erfarenhet inom Machine vision och att underlätta tidskraven att lära sig systemet.

En återförsäljare av Machine vision-system lånade ut olika modeller av olika tillverkare för att testas. De modeller som testades var:

- Omron FQ2-S2
- Cognex In-Sight 2000
- Microscan microhawk MV-40

4.1.1 Omron FQ2-S2

Med Omrons FQ2 system erbjuds en kameramodul med ett flertal olika specifikationer. Upplösningen på kameran varierar mellan 0,3 megapixlar, 0,7 megapixlar och 1,3 megapixlar. Kameran som testades i samband med arbetet var 0,7 megapixlars modellen. Kameran använder sig av en CMOS-sensor och erbjuds i färg eller monokrom. Modulen kommer med inbyggd belysning i form av LED lampor som går runt kameran.

Kameran kan fås med två olika utgångar; Ethernet med möjlighet att kommunicera med PC eller PLC (till exempel via PROFINET) och möjlighet för RS232C eller flying leads I/O. Under arbetet användes Ethernet kopplat till PC och flying leads I/O för att skicka trigger-signaler, inputs och outputs.

Omrons egen mjukvara TouchFiner ingår och används för att styra och programmera kameran. Mjukvaran var lätt att använda men hade en något daterat användargränssnitt jämfört med konkurrenterna. Kameran erbjuder en mängd olika funktioner, så som: mätning av avstånd, läsa text, läsa streckkoder, räkna objekt och känna igen mönster och färg. Med mjukvaran kan man även redigera bilder som kameran tar före inspektionsprogrammet körs, för att till exempel lättare urskilja mönster och objekt. [14]



Figur 12. Omron FQ2 kamera med HMI (human machine interface) tillbehör. [14]

4.1.2 Cognex In-Sight 2000 mini

Cognex är ett ledande företag inom Machine vision sektorn och erbjuder mångsidiga lösningar. För arbetet testades deras In-Sight 2000 minimodell. Det kompakta systemet kan fås i 0,3, 0,48 och 1,3 megapixelar samt med både färg och monokrom CMOS-sensor. Alla modeller kan fås med fast brännvidd eller med flytande (autofokus). Med systemet ingår Cognex egna mjukvara, In-Sight Explorer, som är ett fullfjädrat program med modernt användargränssnitt och många funktioner. Kameran kan användas och styras med många olika kommunikationsprotokoll, till exempel: Ethernet/IP, PROFINET, MODBUS, RS-232, TELNET, FTP och fler, vilket gör Cognex produkter till ett attraktivt val för industrier och företag världen runt.

Kameran som testades för arbetet använde en 0,48 megapixelars sensor i färg som styrdes via Ethernet/IP. Inspektionsfunktionerna är i stort sett samma som fås med både Omron och Microscans system men funktioner som kant-, mönster-, och konturigenkänning verkade vara mer precis med Cognex kamera och mjukvara. Inbyggt i kamerahuset finns extra belysning i form av vita och röda LED:ar men extrautrustning erbjuder även blåa och infraröda LED:ar. [9]



Figur 13. Cognex In-Sight 2000 mini. [9]

4.1.3 Microscan Microhawk MV-40

Microscan är ett företag som tidigare specialiserat sig på streckkodsläsare men på senare tid expanderat till Machine vision området. Sedan 2017 är Microscan uppköpt av Omron, och deras produkter kommer säljas under deras namn. Microscans MV-40 erbjuds med 0,36, 1,2 och 5 megapixlar. Varav de två förstnämnda fås med monokrom CMOS-sensor med global slutare och den sistnämnda i CMOS-sensor med färg med rullande slutare. På grund av den rullande slutaren har den modellen mycket lägre fps (frames per second) jämfört med de andra två. Kommunikation med kameran görs genom RS-232, Ethernet eller PROFINET. Kameran kan drivas med "power over ethernet (PoE)" eller via extern strömkälla på 24V. Trigger och in- och utgångar kan kopplas med lösa kabeländor eller via ett av standardprotokollen som tidigare nämndes.

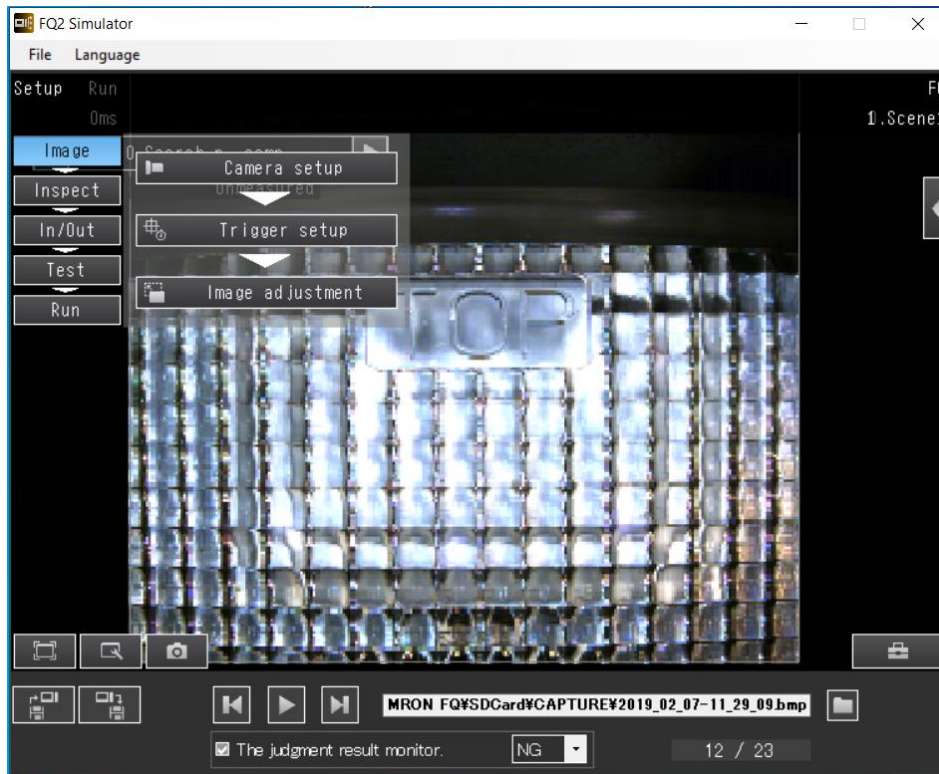
Med kameran följer två konfigureringsmjukvaror, Autovision och Visionscape. Autovision är ett mer lättanvänt program men erbjuder ändå kamerans alla funktioner, medan Visionscape är ett mer avancerat program som kan tillämpas om man styr kameran via PLC eller dylikt. Mjukvarorna har bra användargränssnitt och kontrollfunktionerna som erbjuds är samma som Omrons och Cognex, men som tidigare nämnt, märkte man att de olika kamerorna upptäckte mönster och dylikt annorlunda, var Cognex lösningar verkade vara bättre optimerade. Microscans system kan också kontrolleras via en vanlig webbläsare genom att mata in kamerans IP-adress i sökfältet. I webbläsargränssnittet kan man lätt byta program i kameran och kontrollera resultaten utan att installera någon mjukvara på datorn. [15]



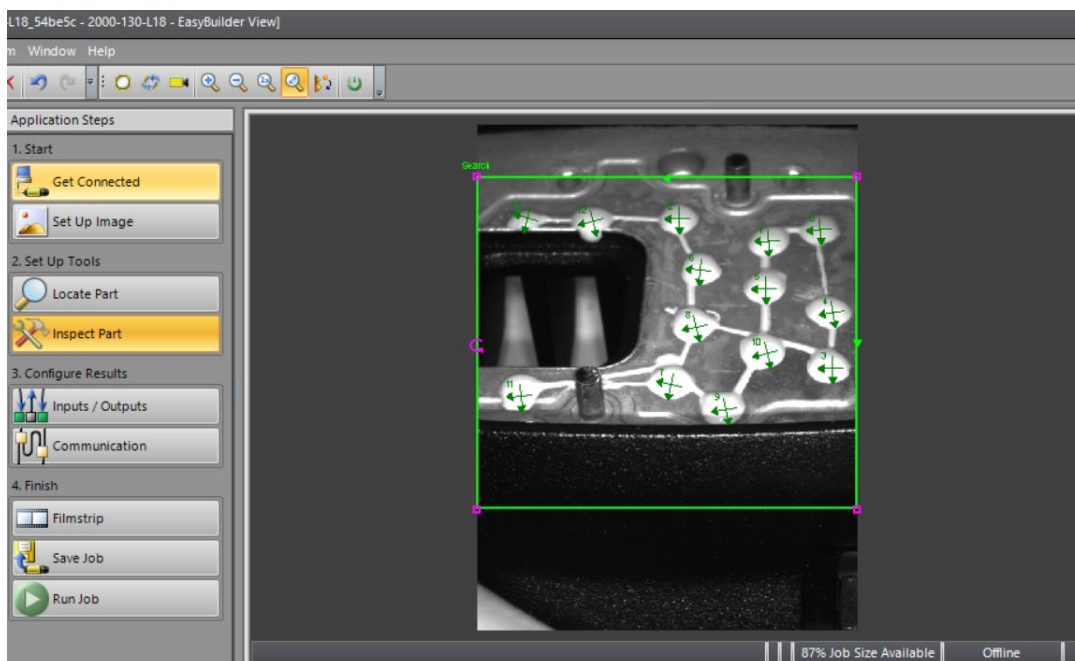
Figur 14. Microhawk MV-40 kameramodul. [15]

4.1.4 Användargränssnitt

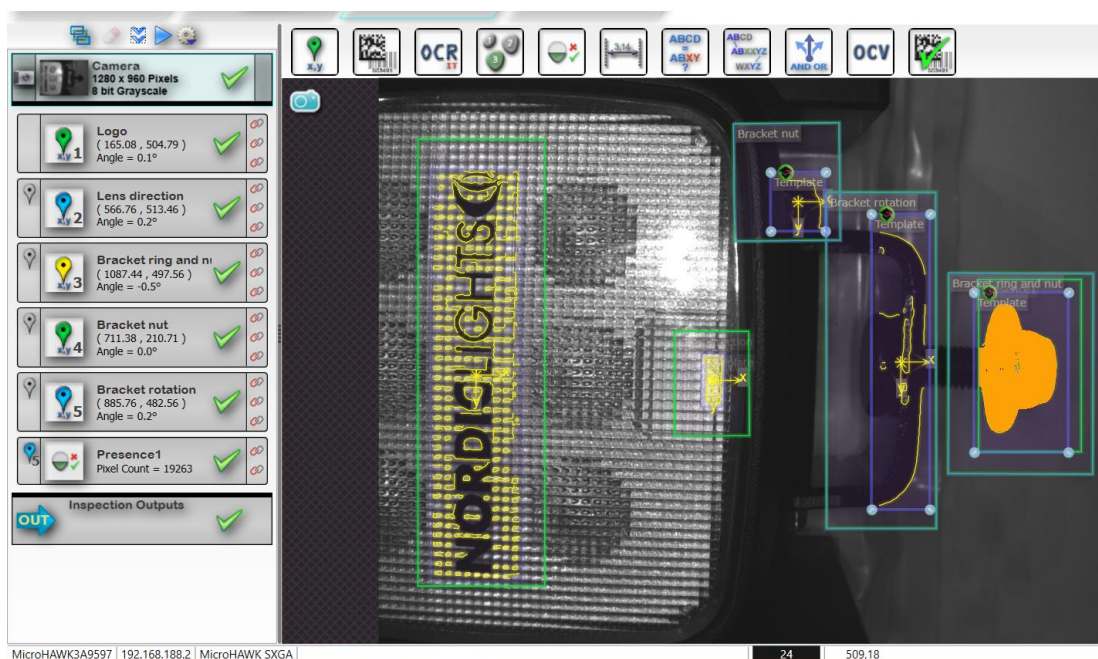
I detta kapitel visas bilder som visar skillnader mellan de olika kamerasytemens användargränssnitt och inspektionernas utseende.



Figur 15. Närbild av lampa tagen med Omron FQ2. [16]



Figur 16. Cognex kamera räknar antalet doseringar av kylpasta i ett lamphus. [16]



Figur 17. Mer avancerad kontroll av en lampas delar med en MicroHAWK MV-40. Programmet kontrollerar, logo, linsens produktnummer, fästet, bricka och mutter till fästet. [16]

4.1.5 Slutgiltigt val av kamera

Efter att har prövat tre olika kamerasystem konstaterades det att upplösningen på de testade kamerorna var för låg. En av de viktigaste delarna att kontrollera med kameran är ett produktnummer och en yta på linsen med texten "TOP" ingjutet (se figur 14). Många lampor har ett flertal linser som är nästan identiska i utseende och skiljs endast åt i hur ljuset bryts från dem och med hjälp av det ingjutna produktnumret. Kontrollen av TOP-märkningen och produktnummer bekräftar att lampan har installerats rätt väg och med korrekt lins. Alla kameror klarade av att upptäcka märkningen på nära håll men eftersom andra kontroller också önskas genomföras i ett program, krävs det att kameran är placerad på ett avstånd så att hela lampans främre sida syns i en bild.

Alla tre testade konkurrenter erbjuder kamerasystem med högre upplösning än de som testades. En MicroHAWK MV-40 med fem megapixels upplösning valdes slutligen eftersom den gick att fås för en tredjedel av priset jämfört med Cognex och Omrons system med samma upplösning. En av de större nackdelar med den högupplösta MV-40 modellen var den långsamma bildtagningen men i systemet som skulle utvecklas var

hastighet inte ett pressande krav. Kameran köptes med möjlighet för Ethernet uppkoppling och kabel med lösa ändor för I/O-kopplingar.

4.2 Vad kan kontrolleras?

I början av arbetet undersöktes det vilka kontroller som ett Machine vision-system kan utföra på en av Nordic Lights lampor. Det som kan undersökas är:

- Linsens produktnummer och orientering.
- Linsens logo och logons orientering.
- Linsens färg
- Antal doseringar av kylpasta.
- Närvaro av fäste, fästets bricka och mutter.
- Vilken sida fästets skruv och mutter installerats på

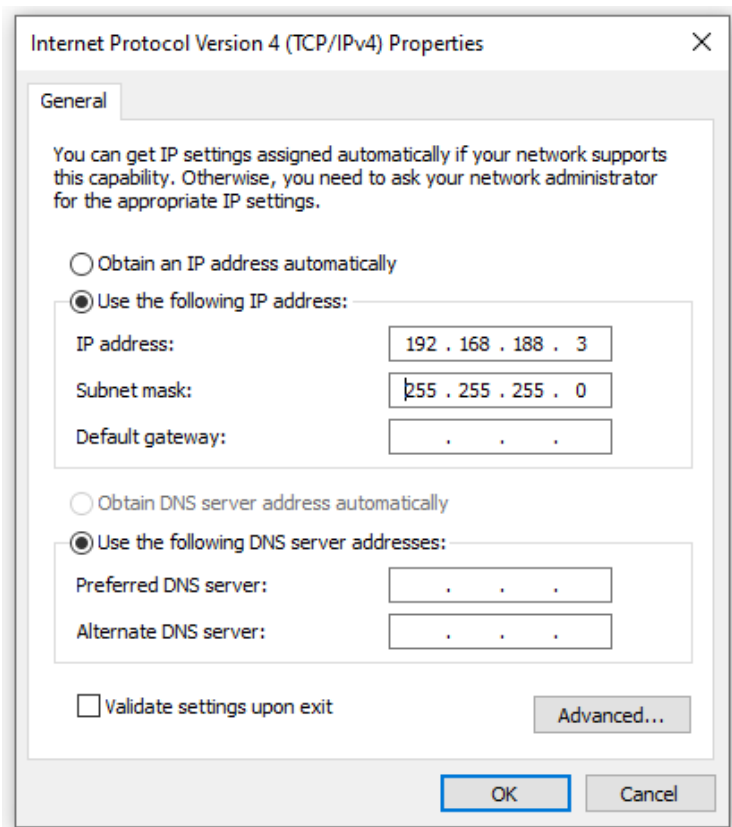
I den slutliga produkten utförs Machine vision kontrollen på en färdigt monterad lampa. Kontrollerna som utförs är de som nämns i de tre första punkterna eftersom de hade störst orsakande av inkommande reklamationer och det var de viktigaste kontrollerna som kunden specificerade i sina krav. Kontrollen utförs på fem olika lampmodeller, alla med olika variationer av lins.

4.3 Anslutning och kopplingar

Kameran som används kom utrustad med Ethernetuppkoppling och lösa kablar för I/O-uppkoppling. För att göra systemet lättanvändbart och smidigt installerades olika delar hårdvara för att underlätta användningsprocessen.

4.3.1 Ethernetuppkoppling

Att ansluta kameran till en dator var en rätt smidig process. Kameran ansluts via vanlig Ethernetport. I Windows nätverksinställningar konfigurerar du sedan IP-adress och subnet mask för datorns Ethernet anslutning så att de stämmer överens med kamerans. Microscan erbjuder mjukvara för att upptäcka systemet ifall den inte hittas direkt. I Autovision kan man sedan ändra kamerans IP-adress ifall så önskas.

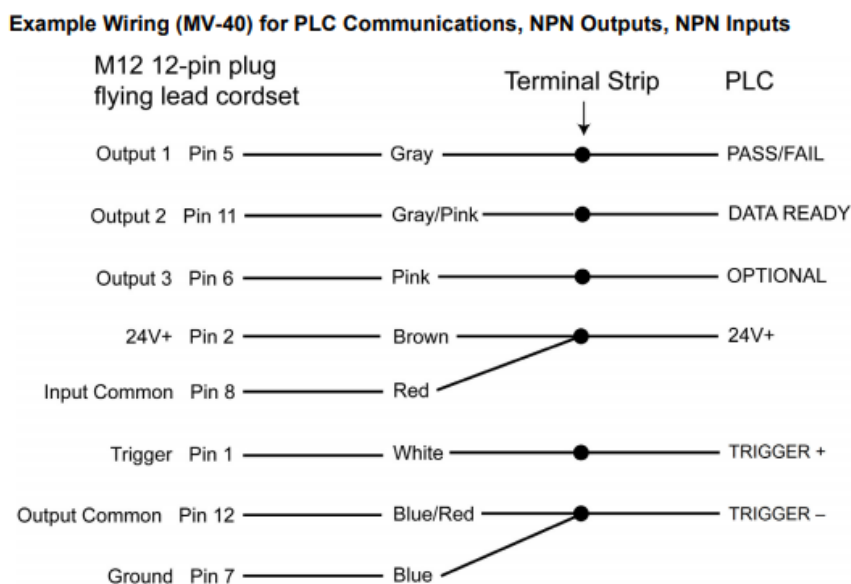


Figur 18. Konfiguration för kameranätverkets nätverk. [16]

På Omrons hemsida finns en snabbstartguide för samtliga MicroHAWK modeller. Standard IP-adress för kameran är "192.168.188.2". För att etablera kontakt med kameran bör din IPv4-adress ändras så den hör till samma subnätverk, till exempel, "192.168.188.3".

4.3.2 I/O-uppkoppling

Kamerasystemets I/O-uppkoppling köptes med lösa kabeländor så man själv får koppla dem hur man vill. Som kan ses i kopplingsdiagrammet (figur 19) nedan får systemet sin strömförsörjning från I/O-kabeln. Strömförsörjningen med ett Siemens 24V LOGO! Power nätaggregat.



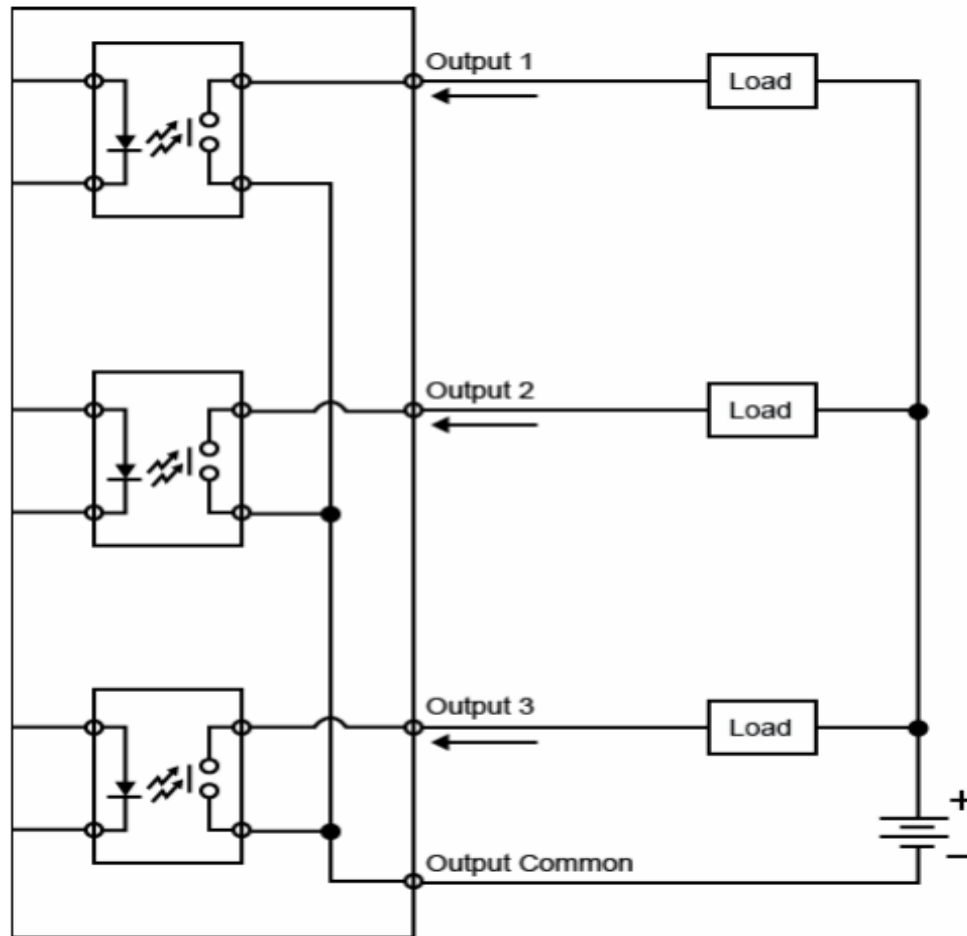
Figur 19. Kopplingsdiagram för kamerasystemets strömförsörjning, in- och utgångar. [15]

Kameran använder sig av optoisolerade in- och utgångar som skickar signaler till extern extrautrustning. En optoisolator är en komponent som skickar elektriska signaler mellan två isolerade kretsar med hjälp av ljus. Den skyddar kretsarna från störning av varandra och det mottagande systemet från högspänningssignaler. Utgångarna och ingångarna kan konfigureras som antingen NPN eller PNP, men NPN och PNP får inte blandas i systemet eftersom common output på pin 12 delas av alla utgångar. Ut- och ingångarna i arbetet konfigurerades som NPN enligt nedanstående kopplingschema (figur 20).

Två av kamerans utgångar användes för att sätta igång ett ställbart tidsrelä, som i sin tur tändes en LED-lampa. En grön LED som lyser vid godkänd inspektion och en röd LED som lyser vid underkänd inspektion. Man kan konfigurera utgångarna i Autovision för att bestämma när de ska ge hög eller låg signal. I programmen som skapades i samband med arbetet lyser inspektionslamporna i 5 sekunder efter en inspektion har utförts. [15]

NPN Output for External Load (MV-40)

Camera



Figur 20. Kopplingsschema för kamerans NPN utgångar. [15]

4.3.3 Trigger-input

En tryckpedal med en strömbrytare kopplades in för att låta användaren styra när kameran ska ta en bild för inspektion. Till en början uppstod ibland problem vid en trigger-input, vilket gjorde så att upp till tre bildtagningar utlöstes trots att pedalen bara trycktes ned en gång.

Problemet löstes genom att konfigurera kamerans camdef-fil. Camdef-filen bestämmer vissa grundinställningar för kameran som inte kan ställas direkt via AutoVision. I filen justerades värdena för trigger-debounce och I/O line filter time. Att öka trigger debounce tiden skyddar mot störningar vid en trigger state switch och trigger overrun (när systemets trigger används snabbare än systemet kan bearbeta dem) och att öka I/O line filter time skyddar systemet mot elektriska störningar och filtrerar bort signaler som är under eller över den specificerade låg- och hög tiden (se figur 21).

Lampan monteras snett ovanför inspektionsytan för att minimera mängden ljus som reflekteras tillbaka in i kameran. För att den externa belysningen bara ska lysa när en bild ska tas, kopplades den in parallellt med trigger-ingången så att då man stänger brytarpedalen drar den igång ett tidsrelä som i sin tur tänds lampan i fem sekunder. Lampan behöver en matningsspänning på 12–24 volt, därför drivs den från samma Siemens nätaggregat som resten av kameran.



Figur 22. Nordic Lights KL1501 lampa. [1]

4.4 Kameraställning och jigger

För att positionera kameran noggrant så konstruerades en modulär ställning av aluminiumrör med en fanerskiva i botten. Rören spänns fast med metallklämmor som skruvades fast i fanerskivan. Kamerans position i ställning är justerbar i X-, Y- och Z-led och kan vinklas för att lätt möjliggöra justering av kamerans position för att testa inspektionsprogram från olika positioner och vinklar. Kameran spändes slutligen fast rakt

ovanför inspektionsytan, från en höjd så att alla inspektionsarbeten kunde användas utan att flytta på kameran.

4.4.1 Jiggar

För att få lampan som ska inspekteras noggrant placerat under kameran behövs en jigg för varje lampmodell konstrueras.

Jiggarna konstruerades med en fanerskiva i botten. Sedan gjöts en form i epoxy-massa för den avsedda lampmodellen fast i bottenplattan, som sedan finslipades för att uppnå en bra passform. På undersidan av jiggarnas fanerskivor borrades två hål var det limmades fast metallpinnar som sedan sänktes in i två identiska hål i botten kameraställningens fanerskiva. Totalt konstruerades fem olika jiggar.

4.5 Inspektionsprogram

Slutligen skapades det inspektionsprogram för fem olika lampmodeller; Scorpius LED N4402, N46LED, KL1401LED, KL2001LED och KL1001LED. Totalt skapades det 31 olika program för dessa lampor, eftersom några modeller har många olika variationer där till exempel endast linsen eller logon har ändrats. Programmen kontrollerade följande delar och märkningar:

- Linsens produktnummer (somliga linser har sitt produktnummer på insidan av linsen och kan inte kontrolleras).
- Linsens orientering kontrollerades i samband med linsens produktnummer.
- Lampans logo och orientering (somliga linser har ingen logo, då kontrolleras istället färgen på linsen var logon annars skulle befinna sig).
- Linsens färg kontrolleras på de modeller där en lins av annan färg än den vanliga genomskinliga användes, till exempel gul eller vit.
- Linsens TOP-märkning för att bestämma linsens orientering ifall produktnumret inte är tillgänglig.

4.5.1 KL1001LED

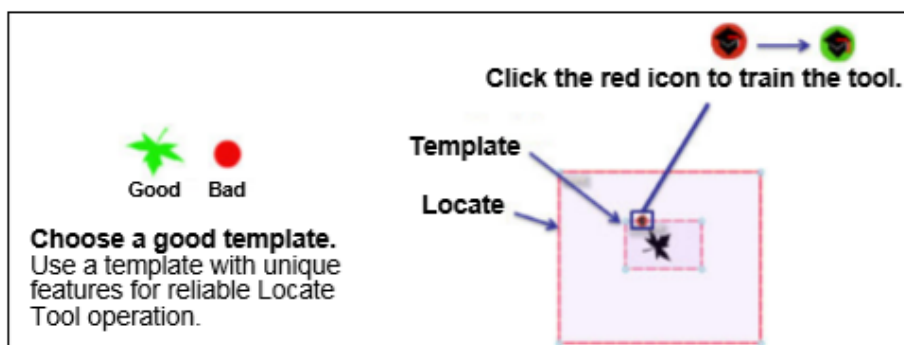
KL1001LED-modellens bildtagningsparametrar ställdes in med fokus på 100mm och kamerans slutartid på 25 000 mikrosekunder, dvs. 0,025 sekunder. Med dessa inställningar fås en tydlig bild utan överexponerade områden. Enligt kundens kravspecifikation skapades endast ett inspektionsprogram för denna modell.

Med kamerans locate tool markerades konturerna för lampans logo ut. Denna funktion ger en möjligheten att anpassa hur många grader den markerade konturen får roteras för att fortfarande ge ett godkänt resultat. En tolerans på $\pm 10^\circ$ rotering valdes för logon och för att programmet skall godkänna logon måste konturen stämma överens med referensbilden till 80% (accept threshold på 0,8 i programinställningarna).

Samma locate tool användes för att lokalisera TOP-märkningen på linsens övre del. Märkningen avgör ifall linsen har installerats rätt väg. Verktöget markerar konturerna runt bokstäverna och ställdes in med godkännings-tröskel på 0,5.

Setting Up the Locate Tool

- Add the **Locate Tool** to the image area.
- Adjust the **template ROI** around the feature that you want the tool to learn.
- Adjust the **locate ROI** to cover the area within which you expect your feature to move from image to image. For best results, make this ROI as large as possible.
- Train the tool to recognize the pattern by clicking the **Train** icon.



Figur 23. Guide för inställning av Autovisions locate tool. [17]

4.5.2 KL2001LED

För KL2001-modellens program valdes en slutartid på 16 000 mikrosekunder för genomskinliga linser och modellerna som använder sig av en så kallad diffused lins tillämpar en slutartid på 4000 mikrosekunder. Fokusavståndet för alla modeller är runt 80mm. Sammanlagt skapades fjorton olika program för KL-2001, med variation på linser och logotyper.

Kamerans locate tool används för att hitta konturerna för linsens produktnummer (8B211) samt linsens logotyp. Produktnumret är ingjutet i plasten på linsens nedre högra hörn. Lampan har också modeller som monteras enligt instruktionerna top down. Det innebär att lampan kommer placeras på sin arbetsmaskin med fästet uppåt, men lampan monteras med linsen upp och ner så att ljusbilden blir korrekt och logon ses rätt väg. Eftersom lampan kan monteras på så många olika sätt krävs det att hela lampan är synlig i en bild. För granskningen av produktnumret kontrolleras endast de två sista siffrorna (11). Orsaken för det är att eftersom produktnumret är väldigt litet och lampan fotograferas från ett avstånd blir det utmanande från kameran att korrekt identifiera numret. På de andra linsmodellerna varierar endast de tre sista siffrorna och "8B" är alltid detsamma. Därför är det större förändring mellan till exempel, "211" och "195" jämfört med "8B211" och "8B195", och därför en noggrannare granskning och mindre chans för ett falskt-positivt resultat. Programmen ställdes in med tolerans på 60% i jämförelse med referensbilden och ± 10 grader i rotation.

Logotyperna kontrolleras som i föregående program också med kamerans locate tool. I de olika variationer som det skapas program för förekommer det tre olika logotyper och ett flertal varianter som saknar logotyp. Ifall logotyp saknas så kontrollerar kameran färgen på linsen med funktionen "Color ID" var logon annars skulle befinna sig, och ifall fel lins installerats underkänns inspektionen. I programmen för lampor med logotyp används toleransen 80% likhet jämfört med referensbilden och ± 10 grader i rotation.

KL2001 har också varianter med diffused lins. Linsen är blåvit och matt i färgen vilket jämnar ut lampans ljusbild. Linsen saknar i dessa fall både produktnummer och logotyp. Inspektionsprogrammen kontrollerar istället linsens färg, där 80% av pixlarna i det bestämda granskningsområdet skall vara den specificerade färgen. Locate tool kontrollerar utifrån linsens gjutningspunkt med 50% tolerans ifall linsen är rätt väg.



Figur 24. Lammodell KL2001LED och förstoring på linsens produktnummer. [18]

4.5.3 KL1401LED

För KL1401 skapades det program för två olika varianter. Slutartiden ligger på 12 000 mikrosekunder och fokusavståndet på cirka 80 millimeter. De olika varianterna använder sig av samma lins och en av dem saknar logotyp.

Locate tool används som tidigare för att identifiera linsens produktnummer nere i linsens högra hörn, med tolerans inställd på 70 % jämfört med referensbild och ± 10 graders rotation. Samma funktion används för att kontrollera logotypen och använder sig av samma parametrar som granskningen av produktnumret.

För att kontrollera linsen utan logotyp används color ID-funktionen som kontrollerar färgen på linsen där logotypen annars skulle befinna sig. För godkänd granskning måste 80% av pixlarna i inspektionsområdet vara samma som den specificerade färgen, i detta fall blåvit.

4.5.4 Scorpius LED

Sammanlagt skapades elva olika program för lampmodellen Scorpius. Liksom de föregående programmen så är det linsen och logotypen som inspekteras. Program skapades för varianter med tre olika logotyper och fem olika linser, varav tre är genomskinliga, en är gul och en är diffused. Fokusavståndet ligger på ca. 90 millimeter och slutartiden för de genomskinliga linserna valdes att vara 13 000 mikrosekunder.

Produktnumret på linsen kontrollerades med kamerans locate tool på alla linser där numret var synligt. På de färgade linserna kontrollerades utöver produktnumret också linsen färg med hjälp av color ID funktionen. En likhet på 80% jämfört med referensbildens produktnummer valdes för programmen och tillåten rotation på ± 10 grader.

De tre olika logotyperna som används kontrollerades också med kamerans locate tool, som markerar ut konturerna runt logotypens bokstäver. För godkänd inspektion av logotypen krävs en 80% likhet jämfört med referensmodellen och en rotationstolerans på $\pm 10\%$. Ett program för en modell monterad i TD-läge (top-down) gjordes också och använde sig av samma funktioner som resten av programmen.

4.5.5 N46LED

N46LED-lampan använder sig av stort sett samma komponenter som Scorpius LED. Det som skiljer dem åt i utseende är att N46LED konstruerats med ett annat lamphus. Totalt fyra olika program skapades för N46LED, varav tre olika linser användes och alla varianter använde sig av samma logotyp. Ett program skapades för en TD-modell. Slutartiden som används är 16 000 mikrosekunder och fokuseringsavståndet ligger på ca. 65 millimeter.

För kontroll av linsens produktnummer används kamerans locate tool med en noggrannhet på 80%. Kontroll av lampans logotyp använde sig av samma funktion och tolerans som för linserna. Rotationstoleransen för båda delar ställdes in på ± 10 grader.

5 Resultat

Under denna rubrik beskrivs resultatet av examensarbetet. Resultatet testades med att installera kamerastationen som ett nytt arbetsmoment i en arbetsstation. Arbetaren i stationen använde kameran självständigt.

5.1 Testning

Kamerasystemet testades på två olika lampmodeller; KL1401 och Scorpius LED. Kameran och dess tillhörande ställning, kopplingslåda och externa belysning installerades i en arbetsstation i fabriken. Montören fick instruktioner om hur kameran skall användas och lade till kamerakontrollen som ett sista arbetsmoment före lampan packas in i en låda.

Beställningarna som kontrollerades innehöll ungefär 50 lampor styck och under de två testerna stötte varken användaren eller kameran på några problem. Både testen för KL1401 och Scorpius LED fungerade som de skulle. Under testets gång testades också en lampa som var avsiktligt fel monterad utan montörens vetskap. Den felaktiga lampan upptäcktes av kameran och underkände inspektionen.

I arbetets slutskede besökte kunderna som begärt implementeringen av ett Machine vision kvalitetskontrollsystem Nordic Lights fabrik. Under besökets gång demonstrerades systemet åt kunderna och visade upp systemets funktioner på ett par lampmodeller. Kunderna berättade att de var nöjda med systemet och att det uppfyllde deras krav.

6 Diskussion

Examensarbetet har varit mycket lärorikt eftersom tidigare kunskap om kvalitetskontroller och Machine vision saknades. Både jag och Nordic Lights är nöjda med resultatet av examensarbetet. Det finns fortfarande mycket som går att förbättra implementera i systemet för att göra kvalitetskontroller ännu bättre men examensarbetet valdes att avslutas i detta steg.

I framtiden kommer Machine vision högst antagligen ytterligare implementeras i fabriken och detta arbete har satt en grund och en viss förkunskap för framtida projekt.

6.1 Möjlig vidareutveckling

För tillfället är kameran helt och hållet självständigt från annat i fabriken. I framtiden vore det gynnsamt att implementera kvalitetskontrollen i andra system som används i fabriken. Att kontrollera fler komponenter på lampan skulle förstås också vara gynnsamt.

Kameraprogrammen lagras för tillfället i kamerans minne men i framtiden om fler kameran system införskaffas kommer det vara en tidskrävande process att installera alla program manuellt till kamerorna. Lösningen kunde vara att lagra alla program på en server och att istället skulle det önskade programmet föras över när en beställning förbereds i arbetsstationen. Testprogrammet som används för att kontrollera lampornas strömmar, spänningar och jordning startas med att skanna en beställnings streckkod som berättar för systemet vilken lampa det är frågan om. I samma process kunde man köra script som med hjälp av FTP-protokoll (file transfer protocol) för över det önskade kameraprogrammet från servern till kameran. Kameran kan också kontrolleras med TELNET-protokoll. En kombination av dessa kunde kontrollera kameran på ett mer integrerat sätt.

Ett idealt test skulle innebära att kameran är implementerad i de nuvarande testjiggarna och att ingen extra ställning för systemet skulle behövas.

7 Källförteckning

- [1] Nordic Lights OY, "About Us," 2019. [Online]. Available: <https://www.nordiclights.com/>.
- [2] Digi-key's European Editors, "Versatile LEDs Drive Machine Vision in Automated Manufacture," 2012. [Online]. Available: <https://www.digikey.com/en/articles/versatile-leds-drive-machine-vision-in-automated-manufacture>. [Använd 2019].
- [3] J. Chouinard, "What are the benefits of CMOS based machine vision cameras vs CCD?," 19 July 2019. [Online]. Available: <https://www.1stvision.com/machine-vision-solutions/2019/07/benefits-of-cmos-based-machine-vision-cameras-vs-ccd.html>. [Använd 2019].
- [4] Fermilab, "World's most powerful digital camera opens eye, records first images in hunt for dark energy," Fermilab, 17 September 2012. [Online]. Available: <https://news.fnal.gov/2012/09/worlds-powerful-digital-camera-opens-eye-records-first-images-hunt-dark-energy/>. [Använd 2019].
- [5] D. Rowse, "How to Capture Motion Blur in Photography," Digital Photography School, [Online]. Available: <https://digital-photography-school.com/how-to-capture-motion-blur-in-photography/>. [Använd 2019].
- [6] Juvan-Beaulieu, D. C. Coates och D. Ines, "Rolling Shutter vs Global Shutter Mode | How to Choose," Oxford Instruments, 2020. [Online]. Available: <https://andor.oxinst.com/learning/view/article/rolling-and-global-shutter>. [Använd 2020].
- [7] Unknown user, "Wikimedia," 2006. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lightning_rolling_shutter.jpg. [Använd 2019].
- [8] R. Roletschek, Artist, [Art]. 2011.
- [9] Cognex Corporation, "In-Sight 2000 Mini Vision Sensors," 2020. [Online]. Available: <https://www.cognex.com/en-fi/products/machine-vision/vision-sensors/in-sight-2000-mini>.
- [10] How things work, "Electronics- How camera aperture works," 2016. [Online]. Available: <http://howthingswork.org/electronics-how-camera-aperture-works/>. [Använd 2020].
- [11] City Academy, "What is aperture?," City Academy, [Online]. Available: <https://www.city-academy.com/news/what-is-aperture-in-photography/>. [Använd 2020].
- [12] J. Canny, "A computational approach to edge detection," 1986. [Online]. Available:

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.420.3300&rep=rep1&type=pdf>.

- [13 P. Nerakae, P. Uangpairoj och K. Chamniprasart, "Using Machine Vision for flexible automatic assembly system," 2016. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916318798?via%3Dihub>. [Använd 2020].
- [14 Omron Corporation, "FQ2," 2019. [Online]. Available: <https://industrial.omron.eu/en/products/fq2>.
- [15 Omron Microscan Systems Inc., "MicroHAWK MV-20 / MV-30 / MV-40 Smart Camera Guide," 2019. [Online]. Available: <https://files.microscan.com/downloadcenter/microhawkmguide.pdf>.
- [16 V. Nordström, *Bilder tagna under arbetets gång..*
]
- [17 Omron Microscan Systems Inc., "AutoVISION Software User Manual," 2018. [Online]. Available: <https://files.microscan.com/downloadcenter/autovisionmanual.pdf>.
- [18 Nordic Lights Ltd., "KL2001," Nordic Lights, 2020. [Online]. Available: <https://www.nordiclights.com/products/kl/kl-series/kl2001/>.