

CHALMERS



Granskning av positioneringssystem för robotstyrning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskin, Mekatronik

EDVIN MAGNUSSON
OSCAR THOLE

Institutionen för signaler och system
Avdelningen för reglerteknik, automation och mekatronik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2013

Förord

Den här rapporten är resultatet av ett examensarbete utfört av Edvin Magnusson och Oscar Thole vid Chalmers Tekniska Högskola på uppdrag av Robotgrader AB. Examensarbetet är en del av våra utbildningar, som är Maskiningenjör (180hp) och Mekatronikingenjör (180hp) respektive. Examensarbetet omfattar 15hp och genomfördes delvis på Chalmers i Göteborg och delvis på Robotgrader i Mölndal under slutet av 2012 och början av 2013.Handledare var Morgan Osbeck från Chalmers samt Mikael Larsson tillsammans med Peter Marmin från Robotgrader.

Vi vill tacka Robotgrader för att vi fick chansen att jobba med det här projektet och för den hjälp de gav oss med de frågor vi haft. Vi vill också särskilt tacka våra handledare som hjälpte oss genom hela arbetet med vägledning och delandet av sina tankar och funderingar, det har varit till stor hjälp.

Sammanfattning

Den här rapporten är en undersökning utförd på uppdrag av Robotgrader med mål att jämföra sensorsystem för implementering i framtida produktion, med positionsbestämning av kycklingfiléer på transportband som huvuduppgift. Positionsbestämningen ger koordinater till en plockrobot som automatiserat utifrån vikt, sorterar filéerna i tråg för paketering. Kontakt inleddes med flera företag specialiserade på de relevanta typerna av system, denna kontakt upprätthölls under större delen av arbetet med mail och telefonkontakt. De slutsatser som har dragits har delvis baserats på information insamlad genom dessa kontakter samt diskussioner som förts med återförsäljare och andra insatta parter. Vision-system, tredimensionella mätsystem, ljusgrindar, ultraljud och den nuvarande sensorboxen är de lösningsalternativ som tas upp. Dessa jämförs i en urvalsmatris, för att på så sätt kunna rangordna dem efter hur väl de kan anpassas till Robotgraders nuvarande behov. Matrisen är gjord i två utföranden, oviktad och viktad. Viktningsvärden och kriterier för jämförelse sattes i samarbete med Robotgrader, för att återspegla deras nuvarande värderingar. Vision-system och tredimensionella mätsystem hamnar högt i båda urvalsmatriserna. Dessa är relativt lika i vad de kan utträta med ett fåtal utstickande skillnader. Slutsatsen drogs att vidare inblick i dessa system med fokus på leverantörer och mjukvara skulle vara fördelaktigt för att bestämma en slutgiltigt bästa produkt.

Abstract

This report is a survey conducted on behalf of Robotgrader with the aim of comparing sensor systems for implementation in future production, with positioning of chicken fillets on a conveyor belt as the main task. The positioning gives the coordinates to a picking robot which sorts fillets in pans for packaging, sorting is mainly based on weight. Contact was initiated with several companies specialized in the relevant types of systems, these contacts was maintained during most of the work by email and telephone. The conclusions have been drawn partly based on information gathered through these contacts. Vision systems, three-dimensional measurement systems, light gates, ultrasound and the current sensor box are the solution alternatives we consider. These are compared in a sample matrix, in order to rank them according to how well they can adapt to Robotgraders current needs. The matrix is made in two versions, unweighted and weighted. Weighting Values and criteria for comparison was done in collaboration with Robotgrader, to reflect their current goals. Vision systems and three-dimensional measurement systems got high marks in both sample matrices. These are relatively similar in what they can do with a few distinct differences. It is concluded that further insight into these systems with focus on providers and software limitations are needed.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Avgränsningar.....	1
1.4 Precisering av arbetsuppgiften.....	2
2. Förklaringar, begrepp och system	2
2.1 Befintliga system	2
2.1.1 Paketeringsmaskin.....	2
2.1.2 Sensorbox	3
2.2 Olika typer av möjliga lösningar	4
2.2.1 Vision-system	4
2.2.2 Tredimensionella mätsystem	5
2.2.3 Ultraljudsgivare	5
2.2.4 Ljusgrind	6
2.3 Urvalsmetoder.....	6
2.3.1 Kravspecifikation	6
2.3.2 Urvalsmatris.....	6
2.3.3 Urvalsmatris med viktning.....	6
3. Metod	7
4. Kravspecifikation	8
5. Lösningalternativ	10
6. Lösningsanalys.....	11
6.1 Vision-kamera med inbyggd logik	11
6.2 Vision-kamera med extern logik.....	11
6.3 Tredimensionella mätsystem	11
6.4 Ljusgrind	12
6.5 Ultraljud.....	12
6.6 Systemegenskaper.....	12
6.6.1 Tredimensionella mätvärden	12
6.6.2 Ytavläsning.....	13
6.6.3 Interna system.....	13
7. Urval	14
7.1 Pughs beslutsmatris.....	14
7.2 Viktad beslutsmatris.....	15
7.3 Pughs beslutsmatris med viktning.....	17
8. Resultat.....	18
9. Diskussion.....	19

1. Inledning

Här förklaras grunderna och förutsättningarna i arbetet.

1.1 Bakgrund

Robotgrader AB är ett företag som startade år 2004 med att tillverka maskiner för automatisk paketering. De har lyckats hitta en marknad och deras produkter finns idag i flera länder där de används för att paketera kyckling i olika former. Maskinerna har några komponenter som Robotgrader har utvecklat själva och bland dessa finns ett system som med hjälp av rader av givare ritat upp en enkel bild av kycklingdelen. Detta används för att bestämma dess storlek och orientering medan den färdas på ett transportband. Detta system har använts i flera år och det har inte gjorts några större förändringar sedan det togs i bruk. Flera företag har erbjudit andra lösningar men eftersom det nuvarande systemet har fungerat så har det aldrig varit en prioritet att sätta sig in i vad ett skifte av system skulle innebära.

Detta arbete är en undersökning av olika lösningar som skulle kunna hjälpa Robotgrader att bestämma vilket system som vore mest lönsamt att satsa på i framtiden.

1.2 Syfte

Syftet med det här arbetet är att ge Robotgrader en uppfattning om deras utvecklingsmöjligheter via ett förbättrat system för positionsbestämning av ett föremål på ett transportband, vad det finns för lämpliga tekniker och hur de står sig mot Robotgraders nuvarande system. Systemet skall klara av att ta fram en mittpunkt av objektet samt beräkna dess orientering i form av vinkeln det ligger i förhållande till bandets färdriktning. Robotgrader vill veta huruvida en förbättring på detta område skulle vara möjlig och vilka fördelar det skulle ge dem gentemot tidigare.

1.3 Avgränsningar

- Kostnader i form av arbetstid för installation av nytt system kommer inte att behandlas.
- Antalet system som kommer att granskas avgränsas till de som i projektets förarbete ansågs kunna ha någon betydande fördel jämfört med nuvarande system.
- Installation och programmering av nytt system kommer inte att genomföras.

1.4 Precisering av arbetsuppgiften

I arbetsuppgiften ingår att hitta och jämföra ett eller flera alternativa system som klarar av att ta fram de data som behövs för att ett geometriskt oregelbundet objekt i rörelse ska kunna greppas och plockas upp av en robot från ett transportband. För att bestämma om det är ett lämpligt system ska de jämföras med avseende på informationsinsamling, övergångssvårigheter och tillförlitlighet. Utifrån detta ställdes följande frågor upp.

- Vad finns det för lämpliga system på marknaden?
- Vilken information kan systemet samla in, och hur kan denna användas för att förbättra maskinen?
- Vilka problem måste tas hänsyn till vid ett eventuellt byte av system?

2. Förklaringar, begrepp och system

En beskrivning av de system, tekniker och arbetsmetoder som tas upp i arbetet.

2.1 Befintliga system

Robotgraders nuvarande lösningar.

2.1.1 Paketeringsmaskin

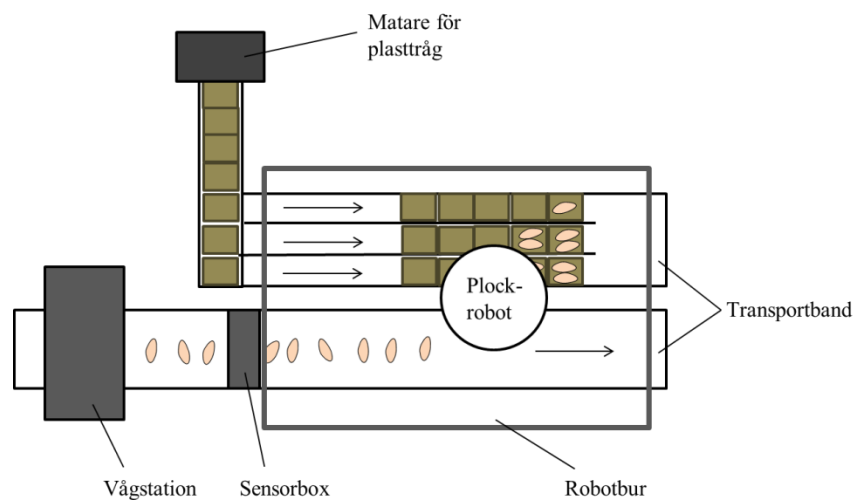
Produkten som Robotgrader AB tillhandahåller är en maskin för paketering av olika typer av kycklingdelar. Dessa varierar mellan kycklingfiléer, kycklinglår eller kycklingklubbor beroende på maskinens inställning. Kycklingdelarna forslas genom maskinen på ett transportband och passerar först en vågstation, därefter beräknas kycklingdelens mittpunkt och orientering. Dessa data skickas till en Flexpicker-robot som utifrån positionsdatan plockar upp kycklingdelarna från transportbandet och placerar dem i plasttråg. Då trågen ska innehålla flera kycklingdelar används data från vågen för att fördela ut kycklingen så att varje tråg så nära som möjligt uppnår en förbestämd vikt.



Figur 2.1: Paketeringsmaskin sedd inifrån robotburen.

En robot klarar av att paketera ungefär hundra kycklingdelar per minut. Vid större flöden kan en eller två robotburar placeras i anslutning till den första och därmed öka kapaciteten till två- eller trehundra delar per minut. Dock används fortfarande bara en enhet för vägning och en enhet för positionsbestämning.

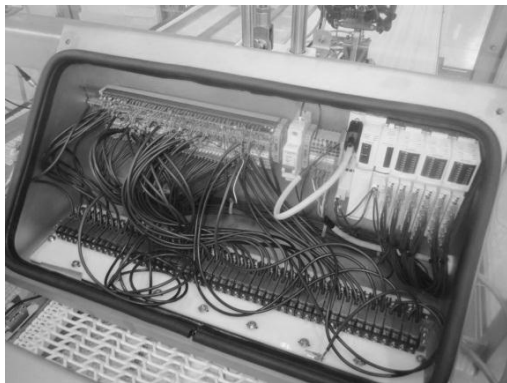
Då maskinens applikationsområde är inom matindustrin innebär detta att maskinen ofta måste rengöras, vilket i regel sker med hjälp av rengöringsmedel innehållande klor samt högtryckstvätt. Detta medför stora påfrestningar på material och kräver att känsliga och utsatta delar måste kapslas in för att klara detta. Det material som används till inkapslingshöljerna är rostfritt stål [1].



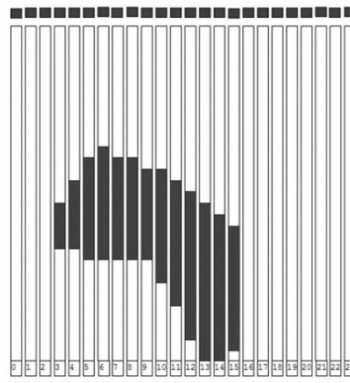
Figur 2.2: Paketeringsmaskinens uppbyggnad, sett från ovan.

2.1.2 Sensorbox

I nuläget används en så kallad sensorbox för att bestämma kycklingdelarnas position och orientering. Denna består av en låda i rostfritt stål som sitter placerad 70 till 80 millimeter ovanför transportbandet. I lådan sitter en rad av ett femtiotal fotosensorer som blickar ut över transportbandet genom ett fönster av plexiglas i lådans botten. Fotosensorerna skickar ut och reagerar på reflekterat ljus, de är kalibrerade till att endast registrera reflektioner som sker ovanför transportbandet. Dessa är kopplade till en I/O enhet som i sin tur kommunicerar med en PLC via en CAN-buss.



Figur 2.2: Öppnad sensorbox sedd från ovan.



Figur 2.3: Exempelbild av ett kycklinglår, där varje linje är utslaget på en givare.

Då en kycklingdel passerar sensorboxen registreras den av de sensorer den passerar under. Den första punkt som registreras av en givare används som referens då systemet ständigt kommunicerar med motorn vilken driver transportbandet, detta för att hålla reda på objektets position då det hela tiden är i rörelse. Genom att mäta tiden varje sensor är aktiv samt att transportbandets hastighet redan är känd, kan en rad beräkningar genomföras för att ta reda på kycklingdelens mittpunkt samt dess läge på transportbandet. Utifrån dessa data skickas koordinater till roboten där referenspunkten har förskjutits till kycklingdelens mitt [1].

2.2 Olika typer av möjliga lösningar

Här förklaras olika lösningar som kan vara av relevans för vidare utveckling.

2.2.1 Vision-system

Vision-system består av minst en kamera och en enhet som programmeras att behandla de bilder som kameran skickar och som kan ta beslut baserade på dem. Vision-system är flexibla och kan användas för att ge koordinater till robotar, göra inspektioner och analyser av produkter och för att styra tillverkningsprocesser. Dagens system kan också programmeras till att läsa streckkoder, kontrollera serienummer och etiketter, dessa typer av system används ofta vid massproduktion då de kan kontrollera produkter även i höga hastigheter. I dessa lägen används vision oftast för att säkerställa komplettering av och kvalitet på produkten men kan även hjälpa till med materialhantering och sortering.

Oftast används visionkameran tillsammans med en enklare sensor som talar om för kameran när en produkt är i rätt läge men de kan även ställas in för att kontinuerligt ta bilder som programmet får behandla. När programmet ska behandla en bild så letar den oftast efter förutbestämda former och konturer eller siffror och koder, därför är det viktigt att bilderna blir skarpa. Skuggbildning och ojämn belysning försvårar för kameran och därför används ofta extra belysning i samband med vision-system.

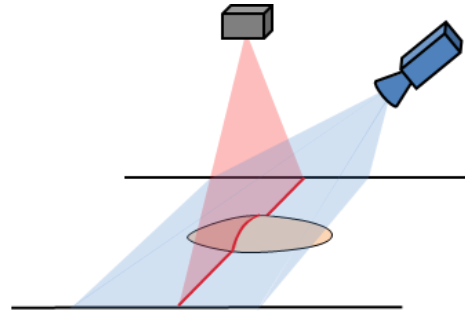
Vision är starkt beroende av ljuset i omgivningen då det förlitar sig på konturer, detta medför att en optimal miljö är i alla fall delvis avskärmad från omgivande ljus och belyst med led belysning. Kameran måste kalibreras i rätt belysning vilket kan leda till felberäkningar när led lamporna har använts några år. Led belysning används ofta till detta då den enkelt kan fås att blinka i takt med att kameran tar bilder vilket kan förlänga livslängden på belysningen.

I de flesta lägen där vision-system används kan problematiken lösas med en enda kamera, men det är inte alltid det räcker till. En kamera kan bara se tvådimensionella bilder, men om två eller flera kameror kopplas samman kan programmet göra bearbetningar av den avbildade produkten i tre dimensioner [2, 3, 4, 5].

I det här arbetet har vision-kameror delats upp med hänsyn till om de har intern eller extern logik. De har olika för- och nackdelar och dessa är tillräckligt påtagliga för att motivera en uppdelning. Extern logik betyder att kameran är en egen enhet och den måste kommunicera med en annan enhet som tar emot och behandlar bilderna.

2.2.2 Tredimensionella mätsystem

Under denna term hamnar två olika tekniker som i sitt grundutförande ger tredimensionell mätdata, ”time-of-flight cameras” (ToF) och ”laser displacement sensors” (LD). Mätningar i tre dimensioner kan fås på flera olika sätt, ToF kameror använder sig av infraröda ljuspulser som den skickar ut mot varje punkt i den bild den skall granska för att sedan mäta färförskjutningen av dessa med en inbyggd mottagare. Med hjälp av färförskjutningen kan systemet bestämma avståndet till föremål och få fram en tredimensionell avbildning av dem [6, 7]. LD sensorer finns i ett antal olika utföranden. Bland annat innefattar det ett intressant system där en laserlinje projiceras över en yta. Ojämnheter eller föremål på denna yta kommer att böja linjen när den passerar över dem vilket uppfattas av en inbyggd kamera. Detta ger en detaljerad tredimensionell bild av föremålen, vilken också kan beläggas med en yttextur skapad av kamerans bilder [8].



Figur 2.4: Exempelbild för en ”laser displacement sensor”

2.2.3 Ultraljudsgivare

Ultraljud kallas så för att det har en högre frekvens än vad människor kan höra, en gräns som brukar gälla är högre än 20kHz. Många givare använder sig av runt 40kHz för att mätningarna inte skall påverkas av yttre störningar.

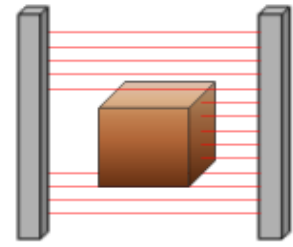
Idag används ultraljudsgivare främst inom medicin där de kan användas för att visa kroppens inre organ, men det har också funnit en plats inom säkerhets-, navigations-, och industri-applikationer.

Ultraljudsgivare använder sig av en sändare som skickar ut en ljudsignal och sedan fångar den upp och analyserar ekot av signalen för att rita upp en bild av det som den riktas mot. Givaren kan använda sig av antingen digitala eller analoga svarssignaler, ett flertal sådana givare kan ge en högupplöst tredimensionell bild av ett föremål. Dessa givare har också en fördel i att de enkelt detekterar genomskinliga föremål av t.ex. plast och glas och att de påverkas förhållandevis lite av damm, dis eller ljusnivåer.

Ett problem som framkommit med ultraljud är att det är svårt att kapsla in. Allt utom tunna membran kommer att störa signalerna som den skickar ut. Ett sådant membran är inte en optimal lösning då de är känsliga för yttre påverkan, detta innefattar smuts, kondens och direkt beröring [9, 10].

2.2.4 Ljusgrind

En ljusgrind består av två ”torn” varav det ena innehåller en rad riktade ljuskällor, dessa kan vara exempelvis dioder som avger infrarött ljus eller lasrar. Det andra tornet innehåller ett lika stort antal mottagare som känner av ljuset från motstående sändare. Antalet sändare och mottagare beror på tornens höjd och kan variera från ett par decimeter upp till flera meter. De båda komponenterna, det vill säga sändardelen och mottagardelen kan placeras på var sin sida av exempelvis ett transportband så att det objekt som skall mätas passerar emellan dem. Objektet, då det passerar genom ljusgrinden bryter ett antal ljusstrålar och på så vis kan en profilbild ritas upp. Detta lämpar sig bra till mätning av höjd eller bredd av ett objekt eller granskning av enklare geometrier. Denna typ av givare har ingen distansmätning och kan därför inte ge mer data än en tvådimensionell bild av objektet. De har också svårt att upptäcka objekt som har en diameter som är mindre än avståndet mellan varje ljusstråle.[4, 11]



Figur 2.5: Exempelbild av en ljusgrind.

2.3 Urvalsmetoder

Metoder för att på ett överskådligt och ingenjörsmässigt sätt avgöra en produkts duglighet i ett sammanhang.

2.3.1 Kravspecifikation

En uppställning av krav och önskemål som används som grund för vidare urvalsmetoder. Kraven är specificerade på så sätt att ett system måste uppfylla dessa för att gå vidare i urvalet. Önskemål behöver inte nödvändigtvis uppfyllas utan fungerar som avgörande parametrar då flera system återstår.

2.3.2 Urvalsmatris

Urvalsmatriser finns i flera utföranden, exempel på dessa är Pughs beslutsmatris och Kesselringmatrisen. Syftet med dessa är att överskådligt jämföra olika lösningsalternativ och se hur bra de står sig mot varandra på olika fronter.

Pughmatrisen är en metod för att rangordna de olika koncepten mot en referens, denna är vanligen en redan befintlig lösning. Ett antal krav ställs upp där varje koncept sedan markeras med +, 0 eller - där + innebär att konceptet klarar kravet bättre än referensen, 0 är likvärdigt och - är sämre. Det koncept som får flest plustecken rangordnas högst av de olika alternativen.

2.3.3 Urvalsmatris med viktning

För att ge en mer relevant bild kan de olika kraven förses med ett noga fastställt viktningsvärde. Detta innebär att kravet ges en vikt från 1 till 5 där 5 innebär att kravet är av högsta och 1 är av lägsta relevans. Detta kan leda till att slutresultatet ändras i förhållande till den oviktade matrisen, då de punkter som anses vara av högre prioritet då systemet används väger tyngre än de med lägre prioritet.

3. Metod

Det här projektet kommer att utföras främst ifrån Chalmers egna lokaler, då projektet i grunden är en sammanställning av existerande fakta förväntas insamlingen av information kunna ske via telefon- och mail-kontakter med insatta personer från lämpliga företag.

En passande kravspecifikation kommer att framställas som grund för vidare urval av de alternativ som funnits lämpliga. Hemsidor och produktkataloger kommer gås igenom som ett första steg för att hitta lämpliga system. Baserat på detta samt Robotgraders egna önskemål bestäms sedan vilka företag och lösningar som kommer utvärderas i denna rapport. Kontakt kommer att sökas med dessa företag med syfte att upprätta en dialog som kan föras under arbetets gång. Detta kan ge både nya idéer och rena data om systemen. Jämförelser mellan systemen kommer att baseras på information från datablad och kontakterna med insatta personer ute på de berörda företagen. Att få kontakt med kunniga personer utifrån som inte är knutna till något berört företag kommer också att vara intressant, dessa kan vara mer benägna att ge en mer objektiv syn på systemen.

De lösningar som anses lämpligast kommer att plockas ut baserat på punkterna i kravspecifikationen varefter de jämförs mer ingående. De ställs där mot varandra baserat på ett antal viktiga punkter. Detta kommer att ske i en urvalsmatris för att få en så överskådlig jämförelse som möjligt.

4. Kravspecifikation

Viktiga punkter som lyftes fram i början av arbetet var ”bättre informationsinsamling”, ”enkel övergång” och ”tillförlitlighet”. Dessa var grunden för de kriterier som systemen jämförs med, för att underlätta så delades de upp i mer precisa formuleringar.

Informationsinsamling

Denna punkt syftar på den information som systemet kan samla in om produkten och använda i sina beräkningar och beslutstagande. Den slutgiltiga kravspecifikationen hade följande punkter under huvudrubriken.

Krav:

Upplösning. Nuvarande system ligger på vad som motsvarar upplösningen en måtpunkt per centimeter. En nedgradering från detta kan minska precisionen för plockroboten och mindre precisa system anses därför inte som lämpliga alternativ.

Önskemål:

1. Upplösning. En mer högupplöst bild av produkten leder till att mer exakta koordinater kan skickas till plockroboten. Detta medför att riskerna för att produkten tappas eller skadas vid hantering minskar. Upplösningen bör därför vara högre än vad den är i nuvarande system.
2. Ytavläsning. Ytavläsning kan användas till att se blodfläckar, fettansamlingar och ytliga benbitar hos kycklingen. Detta kan användas för att automatiskt kvalitetssortera bitarna, vilket är något som har efterfrågats hos kunder.
3. Tredimensionella mätvärden. Avser systemets förmåga att kontrollera produkter i tre dimensioner. Detta kan underlätta vissa moment (se 6.6.1), och leda till fortsatta utvecklingsmöjligheter.

Övergång

Denna punkt syftar på hur lätt en övergång till det nya systemet kan genomföras och vilka aspekter som har störst inverkan på detta. Det som faller under denna punkt är inköpskostnader, inkapslingsmöjligheter, fysiska förändringar samt tillgång till programvara.

Krav:

Nyköpskostnad. Kostnaden för inköp av system bör ligga inom rimliga gränser, detta inkluderar hårdvara men ej mjukvarukostnader som kan tillkomma. En maxgräns är satt till 80000 SEK vilket är ungefär det dubbla inköpspriset för en sensorbox.

Inkapsling. I Sverige finns vissa bestämmelser som reglerar hanteringen av matprodukter. I dessa bestämmelser ingår regler för vilka material som får användas i processen. Om dessa ej uppfylls måste det vara möjligt att kapsla in systemet i godkända material. Dessa inkapslingar måste i detta fall klara av att utsättas för rengöringsmedel innehållande klor, samt avspolning med högtryckstvätt.

Önskemål:

4. Inköpskostnad. Om ett annat system kan köpas in till ett lägre pris än nuvarande system så vore det en definitiv fördel.

5. Inkapsling. Systemet ska klara miljökraven utan inkapsling vilket ofta kan uppnås av system i till exempel rostfritt stål. Om detta inte är fallet är det en fördel om färdiga inkapslingar som passar systemet finns att köpa.

6. Programvara. För att underlätta övergången till ett nytt system bör det finnas tillgång till en programvara där nödvändiga funktioner för applikationen redan finns inbyggda i ett användarvänligt gränssnitt.

Tillförlitlighet

Detta syftar på hur lätt det är att underhålla och reparera systemet. Här avses de utsatta delarna, alltså de delar av systemet som sitter nära bandet.

Önskemål:

7. Reparation-omfattning. Det nödvändiga ingreppet vid en reparation bör vara så litet som möjligt. Denna punkt är viktig då exempelvis interna system kräver ett byte av hela enheten även vid en mindre skada.

8. Reparation-svårighet. Felsökning och mindre reparationer skall vara enkla att utföra vid ett oväntat stopp. Detta är viktigt för att närvarande personal skall kunna åtgärda fel på plats och snabbt kunna återuppta produktion. Denna punkt är extra viktigt då färskvaror behandlas.

9. Störningar. Störningar syftar till hur känsligt systemet är för yttre faktorer som kan påverka dess inhämtade värden. Dessa störningar kan vara yttre ljuskällor, intensiva vibrationer, hög luftfuktighet eller smutsiga arbetsmiljöer. I detta fall kommer ljus och fukt vara de allvarligaste faktorerna.

5. Lösningalternativ

För att en robot ska kunna plocka upp något så behöver den veta var detta föremål är, därför behöver den koordinater som beskriver var den hittar det. Om även vinkeln och den ungefärliga mittpunkten av föremålet som skall plockas upp tas med i beräkningen kan robotens precision höjas avsevärt. Med en högre precision så kommer föremålet oftare att hamna i rätt läge och risken för att det tappas eller skadas under hanteringen minskar. Detta kräver dock en avancerad givare som kan ta fram de data som krävs samt på ett bra sätt ta vara på den. Robotgraders nuvarande system ger en ganska lågupplöst bild av kycklingbiten på transportbandet och detta gör att de beräkningar som utförs för att bestämma hur roboten bäst ska plocka upp delen också får en viss felmarginal.

I tabellerna nedan ses en sammanställning av system som granskats under arbetet med data som är viktig för en klassificering. Priset som anges inkluderar inte den externa datautrustning som kommer att krävas av vision med extern logik eller ultraljud, inte heller priset för extra inkapsling är inräknat.

	Nuvarande	Vision extern logik			
	Sensorbox [1]	Cognex, In-sight 5400/5400c [13]	Banner, P4 omni P4ORS/P4CORS [12]	Festo, Compact Vision SBOC-Q-R3B-WB-S1 [5, 14, 15]	Teledyne Dalsa, Genie M640 [2]
*Upplösning [standardformat]	10mm	640x480	640x480/752x480	752x480	640x480
*Upplösning [punkter per centimeter]	1	12,55	12,55/14,75	14,75	12,55
Kan mäta avstånd	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Färg	Nej	Mono/Color	Mono/Color	Mono	Mono
Material hölje	Rostrfritt stål	Rostfritt stål	Ni pläterad Al	Anodiserad Al	-
*IP - klassning	-	IP67-68	IP68	-	-
Kräver inkapsling	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja
Standardinkapsling	-	-	Nej	Nej	Ja
fps	-	60	48/17	150	64
Samplingshastighet [Hz]	50	-	-	-	-
Kräver belysning	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja
Inbyggd belysning	Nej	Nej	Nej	Ja	Nej
Programvara	Befintlig	Ja	Ja	Ja	Ja
Pris	ca 40000:-	40000:-/44000:-	17000:-/28500:-	34000:-	12600:-

	Vision intern logik		3D - Sensor		Ultraljud	Ljusgrind	
	Leuze, LSIS 412i [3, 24, 25]	Omron, FQ-M [4, 19]	ifm, O3D200 [7, 21, 22]	Lmi 3D, Gocator 2070 [8, 20]	Parallax, PING [9, 10, 26]	Banner, A-GAGE EZ-ARRAY [11]	Omron, F3EM2 [4, 16, 17, 18]
Upplösning [standardformat]	752x480	752x480	64x48	640x480	-	5mm	5mm
Upplösning [Punkter per centimeter]	14,75	14,75	1,25	12,55	-	2	2
Kan mäta avstånd	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
Färg	Mono	Color	-	Mono	-	-	-
Material hölje	Lackerad Al	Al	Al	Al	inget hölje	Al	Al
IP - klassning	IP65-67	IP65-67	IP67	IP67	-	-	-
Kräver inkapsling	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Standardinkapsling	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja
fps	50	60	-	-	-	-	-
Samplingshastighet [Hz]	-	-	20-25	10000	40000	90	100
Kräver belysning	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Inbyggd belysning	Ja	Ja	-	-	-	-	-
Programvara	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
Pris	21000:-	20000:-	11500:-	55000:-	14000:-	12600:-	13500:-

*Upplösning [standardformat]: Upplösningen i det format tillverkaren har angivit i produktspecifikationen.

*Upplösning [punkter per centimeter]: Antalet avlästa punkter per centimeter då sensorn är anpassad så att synfältet precis täcker transportbandets bredd (51 cm).

*IP-klassning: En ISO standard som beskriver hur skyddad en komponent är från damm och fukt. Första siffran beskriver dammskyddet och går från skalan 1 till 6, där 6 är högst. Den andra siffran beskriver hur skyddad komponenten är mot vatten och går från 1 till 8 där 8 innebär att enheten kan sänkas ner i vatten under en långvarig period.

6. Lösningsanalys

Här följer en sammanställning av ytterligare egenskaper som kan vara av betydelse och bör tas i beaktande vid ett ställningstagande.

6.1 Vision-kamera med inbyggd logik

Denna teknik använder en liten enhet vilken innehåller all utrustning som behövs för att utföra den tilltänkta uppgiften vilket på många sätt underlättar installationen. Ett system av denna typ har i regel ett lågt inköpspris men reparationsarbeten kan försvåras och bli dyrbara eftersom det krävs att hela enheten byts ut. Vidare medför den inbyggda logiken att hela systemet utsätts för fukt och kemikalier vilket kräver en bra inkapsling.

6.2 Vision-kamera med extern logik

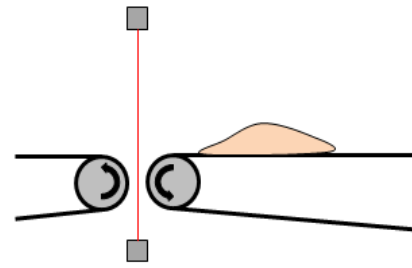
Med denna systemtyp behöver endast kameran placeras där miljöpåkningarna är som störst vilket minskar påfrestningarna för hela systemet, detta innebär också att kameran lättare kan bytas ut vid ett haveri då alla programinställningar finns lagrade i beräkningsenheten. Andra fördelar med dessa vision-system är att de tillhandahåller en stor beräkningskapacitet vilket medför en flexibilitet och anpassningsbarhet vad gäller hur beräkningar sker och hur kommunikationen behandlas. Nackdelarna är att inköpspriset är högt samt att systemet kräver en markant förändring i kommunikationen mellan maskinens digitala enheter. Liknande problem med ljussättning som med inbyggd logik.

6.3 Tredimensionella mätsystem

Tredimensionella mätsystem är en bredare term som innefattar flera olika utföranden och grundtankar. ToF-kameror och LD-sensorer använder helt olika teknik för att ta fram värden men liknar varandra med avseende på vilka fördelar som kan fås med dem. De har samma fördelar som vision med inbyggd logik vad gäller storlek och inbyggd logik, men klarar tredimensionella avläsningar bättre. Dessa system kan i sina grundutföranden mäta höjdskillnader och har därför ett antal fördelar (se 6.6.1) Nackdelen är att de i regel är dyrare och har svårare att ta hänsyn till färg och utseende än ett vision-system.

6.4 Ljusgrind

Principen för detta lösningsförslag liknar på många sätt sensorboxen, dock krävs det att en av enheterna placeras på undersidan av transportbandet då en mätning från sida till sida skulle få med höjden istället för bredden. Att beräkna höjden ger vissa fördelar men bredden är vital för att roboten skall kunna plocka från bandet. En placering över och under bandet som illustreras i figur 6.1 medför vissa problem. Det skulle krävas ett mellanrum i transportbanan för att ljuset obehindrat ska kunna gå mellan givare och mottagare och endast brytas av passerande kycklingdelar. En annan nackdel med denna placering är att det lätt samlas avlagringar på utrustningen vilket kan påverka mätningen negativt. Detta kan eventuellt avhjälpas med skyddsskärmar eller en vinkling av grinden för att minimera risken av störningar, men dessa lösningar är inte optimala.



Figur 6.1: Exempel på placering av en ljusgrind.

6.5 Ultraljud

En ultraljudsgivare har ett begränsat synfält, därför kräver denna metod att ett flertal givare placeras ut i en rad på ett liknade sätt som i sensorboxen. Skillnaden däremellan är att med ultraljud kan en tredimensionell bild av objektet framställas. Ett minus för denna typ av utrustning är att den är känslig för fukt och inkapslingsmöjligheterna är begränsade då detta skulle störa ljudvågorna och därmed också mätvärdena. Membran kan användas framför själva givarna, de kan vibrera i takt med ljudpulsen och minimerar störningarna. Problemet med dessa är att de lätt störs av smuts och fukt vilket gör att de ofta måste rengöras. Detta är också ett problem i sig då de är sköra. Regelbundna avtorkningar och rengöringsmedel kan snabbt slita ut och skada membranerna [10].

6.6 Systemegenskaper

En samling egenskaper som flera system uppvisar.

6.6.1 Tredimensionella mätvärden

I vissa fall kan det hända att ett objekt som skall paketeras, av någon anledning har hamnat ovanpå ett annat. Med en mätning där även höjden tas i beaktning är ett sådant problem lättare att upptäcka.

En annan fördel med att ta med höjden är att det är lättare att upptäcka föremål även då färgskillnaden mellan objektet och bakgrunden är liten. Detta är relevant då till exempel färdigmarinerade produkter bearbetas då de har en tendens att färga transportbandet.

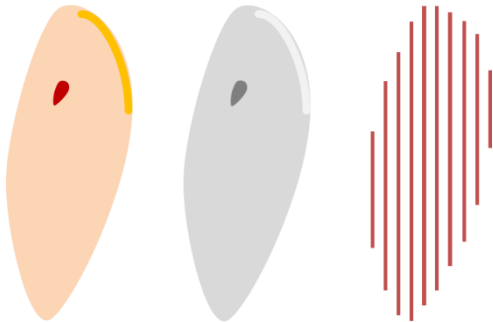
Med tredimensionell mätning skulle objektets volym kunna beräknas och utifrån dessa data även vikten med hjälp av densiteten. Detta skulle kunna innebära att vägstationen kan uteslutas. Dock kräver denna applikation en mycket exakta mätvärden vilket är problematiskt om mätningen endast sker från en riktning [8].



Figur 6.2: Ett utförande av denna typ är lättare att upptäcka med en tredimensionell mätmetod

6.6.2 Ytavläsning

Ytavläsning avser systemets förmåga att upptäcka visuella variationer hos produkten. Det kan ske genom att systemet upptäcker olikfärgade områden eller fläckar. Att upptäcka dessa kan vara användbart då kvalitén på en produkt skall kontrolleras. I detta fall innebär detta att exempelvis fett, blodfläckar eller ytliga benbitar kan upptäckas då en kycklingdel passerar sensorn. Den utrustning som lättast kan användas till ytavläsning är de system som använder sig av en kamera, det vill säga visionsensorer samt sensorer av typen laser displacement sensor. Kvalitén på avläsningarna varierar även beroende på om kameran har möjlighet att behandla färg eller gråskala då kontrasten blir större med en bild i flera färger [1,4,8].



Figur 6.3: Exempel på hur en filé kan se ut med olika sensortyper.

6.6.3 Interna system

Ett internt system har fördelen att det minskar risken att problem uppstår i kommunikationen mellan delsystem. Det bör även finnas mer kompletta supportverktyg då det alltid är en leverantör som är ansvarig för hela systemet. Med dessa fördelar bör arbetet att komma igång gå betydligt snabbare och det kommer vara lättare att uppgradera redan existerande maskiner. En annan fördel ligger i att om något går fel så byts hela kameran och därmed hela systemet som en komponent. Detta torde medföra ett minimalt stopp i produktionen och minimera behovet av felsökande. De flesta system går att förprogrammera och kräver sedan endast en kalibrering innan de går att använda.

Nackdelar är att hela system måste köpas med varje kamera och att förprogrammerade reservkameror måste förvaras ute på fabrikerna. Deras uppbyggnad gör också att man blir mer låst vad gäller både hårdvara och mjukvara [1, 3, 4, 8].

De system som använder denna teknik är vision med intern logik samt ToF-kamera och LD-sensor.

7. Urval

Urvalet har skett med hjälp av en Pughmatrix.

7.1 Pughs beslutsmatrix

I Pughmatrisen står de olika kriterierna uppställda i den första kolumnen till vänster, och de olika lösningsalternativen i den översta raden. Varje lösningsalternativ representeras av kolumnen under där det jämförs med referenslösningen beträffande hur bra det står sig mot de olika kriterierna. Referenslösningen är det första lösningsalternativet sett från vänster och är den lösning som används i nuläget.

Pughs beslutsmatrix						
Kriterium	Sensorbox	Vision intern	Vision extern	3D-mätsystem	Ljusgrind	Ultraljud
1. Upplösning	R E F E R E N S	+	+	+	0	0
2. Ytavläsning		+	+	+	0	0
3. 3D-mätvärden		0	0	+	0	+
4. Inköpskostnad		0	-	-	+	+
5. Inkapsling		+	+	0	+	-
6. Programvara		+	+	+	-	-
7. Reparation-omfattning		-	+	-	0	0
8. Reparation-svårighet		+	0	+	0	0
9. Störningar		-	-	0	0	+
$\Sigma+$	0	5	5	5	2	3
$\Sigma 0$	9	2	2	2	6	4
$\Sigma-$	0	2	2	2	1	2
Nettovärde	0	3	3	3	1	1
Rangordning	3	1	1	1	2	2

Pughmatrisen ger att båda vision-systemen samt tredimensionella mätsystem är de system som är mest fördelaktiga på flest punkter. Dessa system tillhandahåller god upplösning, kan kapslas in utan svårighet och programvara finns tillgänglig för samtliga. Vision-systemens svagheter är att de är känsliga, framför allt i form av ljus som kan störa mätningarna. Vision med extern logik har även ett högre pris i form av inköpskostnad då även datorutrustning måste införskaffas. Vision med intern logik har å andra sidan en högre reparationskostnad då hela enheten måste bytas ut vid en reparation. Nackdelarna med tredimensionella mätsystemen är dels en hög kostnad per enhet samt att hela enheten liksom vision med intern logik måste bytas ut vid en eventuell reparation.

Ljusgrindar kommer tillsammans med ultraljud på en delad andra plats. Ljusgrindar liknar på många sätt sensorboxen vilket återspeglas i matrisen genom att de har flest nollor, dock har ljusgrinden ett lägre inköpspris. Programvara finns tillgänglig för ljusgrindar men för att styra en robot med enbart ett sådant system kräver det även egna lösningar i form av programvara.

Ultraljud har till fördel att det har en låg inköpskostnad, kan ge tredimensionella mätvärden samt är okänsligt för störningar. Dock kan detta system medföra inkapslingssvårigheter samt att ingen färdig programvara finns tillgänglig och allt måste därför byggas från grunden.

7.2 Viktad beslutsmatris

I denna matris har viktningsvärden på varje kriterium tillförts för att framtona de kriterier som anses mer viktiga.

Viktningsvärden

Till en början sattes viktningsvärdena egenhändigt upp av projektgruppen. Dessa diskuterades sedan igenom i samverkan med Robotgrader för att nära reflektera deras prioriteringar i den fortsatta utvecklingen. Värden sattes mellan 1 och 5.

1. **Upplösning**, 2 poäng

En mer korrekt bild av produkten ger bättre koordinater till roboten, men felhantering är redan med nuvarande system inget enormt problem. Det kommer även krävas mer komplex programmering ju mer detaljer som ska tas med i beräkningen. Med den begränsade vinsten och den snabbt ökande komplexitetsgraden i åtanke så är en ökning bara effektivt till en viss gräns.

2. **Ytavläsning**, 1 poäng

Ytavläsning är något som skulle kunna bli stort längre fram, men det kommer att krävas ytterligare satsningar och utveckling på detta område innan det blir en avgörande faktor.

3. **Tredimensionella mätvärden**, 1 poäng

I likhet med ytavläsningen så finns här få omedelbara vinster med ett införande, dock kan det ge stora fördelar i ett fåtal situationer som tas upp i (5.6).

4. **Inköpskostnad**, 2 poäng

Ett billigt system är självklart att föredra om det i övrigt är likvärdigt, men när hela maskinen tas med i beräkningen så påverkar inte systemets inköpspris totalkostnaden nämnvärt.

5. **Inkapsling**, 4 poäng

Det finns stränga lagar för matproduktion för att material i hanteringen inte skall kunna förstöra maten. Dessa dikterar bland annat vilka material och ämnen som får användas i närheten av produktionen. Om dessa krav inte uppfylls av till exempel en sensor så måste denna kapslas in i godkända material för att skydda både den och matproduktionen. Att bygga dessa kapslingar tar självklart tid och pengar så om det finns färdiga kapslingar att köpa eller om kameran/sensorn är byggd i godkända material så är detta en klar fördel.

6. **Programvara**, 3 poäng

Utveckling av egen programvara tar tid och satsningar, något som skulle fördröja införandet av den nya sensorn. Om det finns färdiga programvaror och verktyg att tillgå för att lösa uppgiften så är detta en stor fördel. Lösningar som gjorts på liknande problem med denna teknik brukar också peka på att det finns kompetens att tillgå för problemlösning och vidareutveckling. Detta är saker som kan finnas brist på om ett oprövat system väljs.

7. **Reparation-omfattning**, 4 poäng

Omfattning syftar på hur mycket av systemet som måste bytas vid en skada eller ett fel. Varför detta behöver tas med blir uppenbart när man ser till de interna systemen, de är helt enkelt inte byggda för att kunna öppnas och enkelt rätta till minde skador eller fel. Så enkla saker som att en skyddsplast framför en lins skadas kan betyda att hela kameran och logiken måste skickas tillbaka till tillverkaren för reparation. Detta är tätt knutet till hur mycket reparationer kommer att kosta.

8. **Reparation-svårighet**, 5 poäng

Det som var en nackdel för interna system i punkt 7 kan här bli en fördel. Själva bytet av systemet är ofta enkelt vare sig det är ett externt eller internt system, så länge det nya interna systemet har blivit förprogrammerat. Fördelen med interna system blir dock att man minimerar behovet av att felsöka på plats i och med att hela systemet byts ut på en gång, på detta sätt så kan produktionen snabbt återupptas.

9. **Störningar**, 3 poäng

Störningar syftar till hur känsligt systemet är för yttre faktorer som kan påverka dess inhämtade värden. Felaktiga mätvärden kan i detta fall leda till att plockroboten skadar, tappar eller ignorerar felfria produkter. Med ett känsligt system är risken givetvis större att ett fel uppstår.

7.3 Pughs beslutsmatris med viktning

Pughs beslutsmatris med viktning							
Kriterium	Värde	Sensorbox	Vision intern	Vision extern	3D-mätsystem	Ljusgrind	Ultraljud
1. Upplösning	2	R E F E R E N S	+	+	+	0	0
2. Ytavläsning	1		+	+	+	0	0
3. 3D-mätvärden	1		0	0	+	0	+
4. Inköpskostnad	2		0	-	-	+	+
5. Inkapsling	4		+	+	0	+	-
6. Programvara	3		+	+	+	-	-
7. Reparation-omfattning	4		-	+	-	0	0
8. Reparation-svårighet	5		+	0	+	0	0
9. Störningar	3		-	-	0	0	+
$\Sigma+$		0	15	14	12	6	6
$\Sigma 0$		25	3	6	7	16	12
$\Sigma-$		0	7	5	6	3	7
Nettovärde		0	8	9	6	3	-1
Rangordning		5	2	1	3	4	6

Ljusgrindar och Ultraljudsgivare hamnar lågt, vilket beror på att deras styrkor och svagheter inte överensstämmer med vad som krävs till denna tillämpning. Uppställda med denna Pughmatris så måste de anses som mindre lämpade än övriga system att ersätta sensorboxen om ett systembyte genomförs.

8. Resultat

Huvudsyftet har varit att ta fram underlag för vad ett byte av sensorsystem skulle kunna ha för inverkan på drift och utvecklingsmöjligheter för ett plockrobotsystem. För att göra detta överskådligt så inriktades arbetet på några grundbegrepp:

- bättre informationsinsamling
- enkel övergång
- tillförlitlighet

I rapporten finns de mest vedertagna alternativen till lösningar som finns ute på marknaden idag, dock har inte alla olika tekniker som finns att tillgå tagits med. Utav de system som har gått igenom så har det kunnat konstateras att alla kan fås att klara uppgiften på ett tillfredställande sätt, men beroende på vilken lösning som väljs så finns de betydande fördelar och nackdelar att beakta. Hur dessa fördelar ska viktas och om de väger upp nackdelarna beror helt på vad för styrkor som betraktare vill prioritera. Ett slutgiltigt bästa system har inte hittats men en del viktiga punkter som är värda att lyftas fram då ett byte av system kommer på tal har kommit fram, samt ett par mindre lämpade system har kunnat uteslutas ur vidare efterforskningar.

Ljusgrindar är de första av dessa på grund av sin utformning som skulle tvinga antingen mottagare eller sändare att sitta i ett utsatt läge. Ljusgrindar skulle inte heller ge någon påtaglig förbättring i insamlad data eller upplösning vilket gör att ett byte till detta system inte skulle göra mycket för den fortsatta utvecklingen av maskinen. Ultraljud är det andra systemet som kan uteslutas. Tekniken är mindre använd inom detta område vilket gör att det finns mindre kunskap och färdiga produkter att tillgå, detta gör att egen utveckling och testande behövs vilket kräver mycket arbete och tid. En andra synpunkt är att ultraljud till sin natur är sådan att den är svår att kapsla in och skydda till den grad som krävs inom svensk matindustri.

Detta lämnar tre alternativa system som alla kan klara uppgiften på ett i stort sett likvärdigt sätt. Vision med intern logik, vision med extern logik och tredimensionella mätsystem. Vision är ett pålitligt system som används idag för att lösa flera liknande problem och det finns mycket information och kunskaper inom detta område. Det är också bästa systemet för att se visuella skillnader vilket kan tillämpas på en mängd sätt. En ToF-kamera eller en LD-sensor kan ge en likvärdig bild av produkten, men deras utförande gör att de har svårare med det visuella, de är dock bättre än vision på att se höjdskillnader och kan lätt upptäcka om flera produkter ligger på varandra. Dessa system kan även ge en god tredimensionell uppfattning av produkten med hjälp av endast en kamera. De har i likhet med vissa vision-system intern logik, detta gör att all teknik sitter ganska utsatt utan god inkapsling. Men det finns som sagt både fördelar och nackdelar med dessa kompakta system.

Kort sagt är det svårt att säga vad som är bäst i nuläget och vidare inblick i systemen med fokus på den fysiska produkten skulle inte bättra på denna bild avsevärt då de på denna punkt är relativt lika. Dock skulle en djupare analys av mjukvaran hos olika leverantörer kunna ge en mer fullständig förståelse, då det är på detta plan som det fortfarande finns betydande skillnader som vi inte kunnat ta upp i denna rapport.

9. Diskussion

Något som vi känner är en styrka i det här arbetet är att vi har haft personlig kontakt med alla företag som nämns i det här arbetet och ett antal till. Detta har gjort att vi kunnat fråga om företagens egna uppfattningar och förslag vilket i slutskedet gav oss en bättre bild av systemen och deras möjligheter.

Vi har kunnat utesluta ett par system som inte är lämpliga att satsa på för den här typen av användning. Utöver det så har vi kommit fram till att vilket av kvarvarande system som är bäst beror på vad man vill satsa på framöver då de är likvärdiga överlag men har olika områden de är starkast på.

Vi tycker att vi har uppnått syftet med arbetet då vi kunnat se över ett antal olika tekniker, däribland de mest etablerade för detta användningsområde. Av dessa har vi kunnat utse de mest lämpliga, samt redogjort de för- och nack-delar man kan vänta sig med dessa system.

Något som vi känner är viktigt att gå vidare med men som vi inte hunnit med i vårt arbete är en djupare inblick i programvara. De fysiska kamerorna ligger på en jämförlig grad mellan de flesta företag, så för att hitta den lämpligaste krävs att man gör en undersökning av programvaran och vad för verktyg den har tillgång till.

Referenser

1. Mikel Larsson och Peter Marmin (Automation engineer, Robotgrader AB) Handledare under arbetets gång. 2012-2013.
2. Lena Chytraeus (Sales engineer, Parameter) intervjuad den 13 november 2012.
3. Peter Bystedt (Kundansvarig säljare, Leuze) intervjuad den 4 december 2012.
4. Mats Isaksson och Kristian Lantz (Kundansvarig säljare, Omron) intervjuade den 15 januari 2013.
5. Mats Bergström (Kund- Säljsupport, Festo AB) intervjuad den 25 februari 2013.
6. Ringbeck, L. Hagebecker, B. (2007) Optical 3-D Measurement Techniques. Zürich: ETH.
7. Magnus Gestholm (Kandansvarig säljare, ifm) intervjuad den 23 oktober 2012.
8. Peter Wiklund (Regional Development Manager, LMI Technologies Ltd) intervjuad den 28 februari 2013.
9. Parallax support(Tech Support – General, Parallax) kontaktad 10 december 2012
10. Harald Merkel (PhD, Chalmers industriteknik) intervjuad den 5 december 2012.

Datablad

Banner

11. A-GAGE™ EZ-ARRAY™ QuickStart Guide. <http://www.bannerengineering.com> .
<http://info.bannerengineering.com/xpedio/groups/public/documents/literature/126701.pdf>
(18-04-2013)

Vision

12. PresencePLUS P4 Sealed OMNI. <http://www.bannerengineering.com> .
<http://info.bannerengineering.com/xpedio/groups/public/documents/literature/145259.pdf>
(18-04-2013)

Cognex (registration may be required)

13. In-sight vision systems product guide. <http://www.cognex.com> .
<http://www.cognex.com/downloads/LiteratureDelivery.aspx?id=9956>
(18-04-2013)

Festo

14. Compact Vision Systems SBOC-Q/SBOI-Q. <http://www.festo.com> .
http://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/137754/SBOX-Q_EN.pdf
(18-04-2013)

15. Intelligent Compact Vision System SBOC-Q/SBOI-Q. <http://www.festo.com> .
http://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/32749/SBOX_Q_PSI_US.pdf
(18-04-2013)

Omron

Ljusgrind

F3E

16. Mycket tunn ljusbom för hissar F3E. <http://industrial.omron.se/sv/home> .
downloads.industrial.omron.se/IAB/Products/Sensing/Photoelectric%20Sensors/Special%20Models/F3E/E48E/E48E-SV-01+F3E+Datasheet.pdf
(18-04-2013)

F3EM

17. Measuring lightcurtain in robust aluminium housing F3EM.
<http://industrial.omron.se/sv/home> .
downloads.industrial.omron.se/IAB/Products/Sensing/Photoelectric%20Sensors/Light%20curtain/F3EM/E62E/E62E-EN-01A+F3EM+Datasheet.pdf
(18-04-2013)

Operation manual

18. Measuring Light Curtain OPERATION MANUAL. <http://industrial.omron.se/sv/home> .
downloads.industrial.omron.se/IAB/Products/Sensing/Photoelectric%20Sensors/Light%20curtain/F3EM/E77E/E77E-EN-01+F3EM2+OperManual.pdf
(18-04-2013)

Vision

19. FQ-M VISION SENSOR. <http://industrial.omron.se/sv/home> .
downloads.industrial.omron.se/IAB/Products/Sensing/Vision%20Sensors%20and%20System
s/Pick%20&%20Place%20sensors/FQ-M/CD+FQM+Brochure/CD_EN-
01+FQM+Brochure_GL_12_10_2011_108dpi.pdf
(18-04-2013)

LMI Technologies

20. Gocator all in one 3D smart sensor. <http://www.lmi3d.com/product/gocator-family> .
http://www.lmi3d.com/sites/default/files/support/brochure_gocator_3d-smart-sensors.pdf
(18-04-2013)

IFM

Sensor

21. O3D200 PMD 3D-SENSOR. <http://www.ifm.com> .
<http://www.ifm.com/products/s/ds/O3D200.htm>
(18-04-2013)

22. 3D camera: a brilliant innovation for vision integration. <http://www.ifm.com> .
http://www.ifm.com/obj/2_O3D201_e_09_n.pdf
(18-04-2013)

Vision

23. Vision sensor takes a closer look at your production. <http://www.ifm.com> .
http://www.ifm.com/obj/25_O2V1_e_12_n.pdf
(18-04-2013)

Leuze

Vision

24. LSIS 4xxi Smart Camera. <http://www.leuze.com/se/> .
[www.leuze.com/selector/ci_pages/downloads.php?href=/Heiler/Volumes/Volume0/opusdata/
d100001/medias/docus/1/\\$v2/TD_Lsis4xxi_en_50110628.pdf&type=application/pdf](http://www.leuze.com/selector/ci_pages/downloads.php?href=/Heiler/Volumes/Volume0/opusdata/d100001/medias/docus/1/$v2/TD_Lsis4xxi_en_50110628.pdf&type=application/pdf)
(18-04-2013)

25. Product overview 2012 / 2013. <http://www.leuze.com/se/> .
http://www.leuze.com/media/assets/dv007_144dpi_geschuetzt_pdf/POV_Product_overview_2012-2013_en_144dpi.pdf
(18-04-2013)

Ping

26. PING))) Ultrasonic Distance Sensor (#28015). <http://www.parallax.com> .
<http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/acc/28015-PING-Sensor-Product-Guide-v2.0.pdf>
(18-04-2013)