

# **Lagerrobot**

## **Kandidatprojekt i elektronik**

Johan Lind

Karl Linderhed

Lucas Nilsson

Philip Nilsson

Patrik Nyberg

Erik Nybom

Andreas Runfalk

## PROJEKTIDENTITET

Grupp 1, VT14, Lagerrobot  
Tekniska högskolan vid Linköpings universitet, ISY

Namn	Ansvar	Telefon	E-post
Karl Linderhed	Projektledare (PL)	073-679 59 59	karli315@student.liu.se
Patrik Nyberg	Dokumentansvarig (DOK)	073 -049 59 90	patny205@student.liu.se
Johan Lind		070-897 58 24	johli887@student.liu.se
Erik Nybom		070-022 47 85	eriny778@student.liu.se
Andreas Runfalk		070-564 23 79	andru411@student.liu.se
Philip Nilsson		073-528 48 86	phini326@student.liu.se
Lucas Nilsson		073-059 42 94	lucni395@student.liu.se

**E-postlista för hela gruppen:** tsea56-2014-grupp-1@googlegroups.com

**Kontaktperson hos kund:** Tomas Svensson, 013-28 13 68, tomass@isy.liu.se

**Kursansvarig:** Tomas Svensson, 013-28 13 68, 3B:528, tomass@isy.liu.se

**Handledare:** Anders Nilsson, 3B:512, 013-28 26 35, anders.p.nilsson@liu.se

# Innehåll

<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
<b>2 Problemformulering</b>	<b>1</b>
<b>3 Kunskapsbas</b>	<b>2</b>
<b>4 Genomförande</b>	<b>3</b>
<b>5 Teknisk beskrivning</b>	<b>4</b>
5.1 Chassi . . . . .	5
5.2 Arm . . . . .	7
5.3 Sensor . . . . .	7
5.4 Kommunikation . . . . .	8
<b>6 Fördjupningsuppgifter</b>	<b>9</b>
6.1 Sensoruppgiften . . . . .	9
6.2 Servomotorer . . . . .	9
6.3 Litiumjonbatterier . . . . .	10
6.4 Linjeföljning . . . . .	10
6.5 Inverterad kinematik . . . . .	10
<b>7 Resultat</b>	<b>10</b>
<b>8 Slutsatser</b>	<b>11</b>
<b>A Kravspecifikation</b>	<b>12</b>
<b>B Banspecifikation</b>	<b>12</b>
<b>C Systemskiss</b>	<b>12</b>
<b>D Projektplan</b>	<b>12</b>
<b>E Tidplan</b>	<b>12</b>
<b>F Designspecifikation</b>	<b>12</b>
<b>G Teknisk dokumentation</b>	<b>12</b>
<b>H Sensoranalys</b>	<b>12</b>
<b>I Litiumjonbatterier och servomotorer</b>	<b>12</b>
<b>J Linjeföljning och reglering av robotarm</b>	<b>12</b>

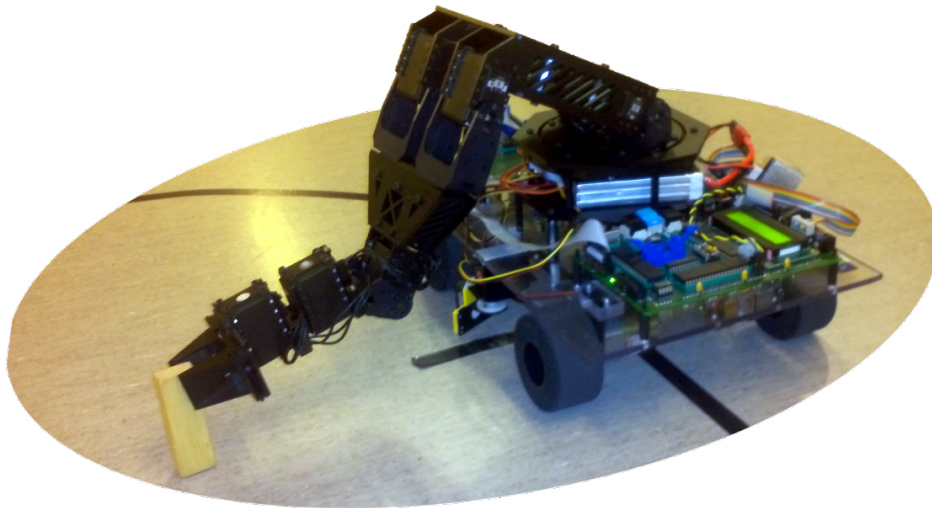
## Dokumenthistorik

Version	Datum	Utförda förändringar	Utförda av	Granskad
1.0	2014-05-21	Ursprunglig version	EN	Alla gruppmedlemmar

# 1 Inledning

Sju studenter vid Linköpings universitet fick som uppgift i deras kandidatprojekt inom elektronik att konstruera en autonom robot. Avsikten med projektet var att ge studenterna bildning i, och erfarenhet av, att genomföra ett omfattande uppdrag med samma metodik som förekommer i arbetslivet.

Projektets mål var att utveckla en robot som är tänkt att arbeta i ett verkligt lager, en s.k. lagerrobot. Roboten skulle kunna röra sig runt på egen hand i ett lagerutrymme och flytta föremål mellan förutbestämda platser.



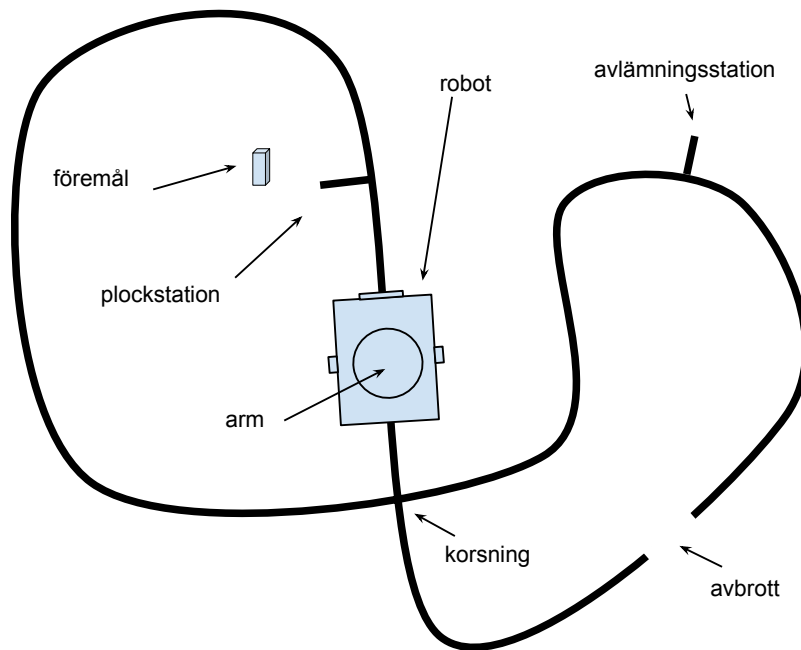
*Figur 1: Den färdiga roboten håller på att plocka upp ett föremål i ett "lagerutrymme".*

I figur 1 visas den färdiga produkten i färd med att plocka upp ett föremål. Projektgruppen fick den grundläggande hårdvaran (basplattan med hjul och strömförsörjning samt robotarmen) färdigbyggd från projektets beställare. Projektuppgiften bestod av att designa och utveckla kretskort med mikroprocessorer, elektronik och sensorer för att uppfylla beställarens projektdirektiv.

Detta dokument redogör för projektets genomförande och resultat, samt för ett antal fördjupningsuppgifter som har utförts. Alla projektdokument som har skapats har bifogats som bilagor och refereras till där det är lämpligt.

## 2 Problemformulering

För att roboten ska kunna navigera genom lagerutrymmet finns det en bana markerad med svart tejp på golvet. Längs med tejpens markering markeras de stationer där föremål ska plockas upp respektive lämnas av med hjälp av en bit tejp vinkelrät mot banan.



Figur 2: Översiktlig bild av bana med robot

Roboten måste även kunna avgöra om ett föremål ska plockas upp på en station och på vilken station föremålet ska lämnas av. Därför är stationerna utrustade med var sin RFID-tag<sup>1</sup> innehållandes ett för stationen unikt identifikationsnummer. För detaljer, se banspecifikationen i bilaga B.

De grundläggande krav roboten måste uppfylla för att klara uppgiften inkluderar att följa en linje, läsa av RFID-taggar samt att plocka upp föremål. Utöver dessa grundläggande krav är projektets tillämpbarhet på ett verkligt scenario i stor del beroende av att kraven inte bara kan uppfyllas, utan även utföras autonomt. Av denna anledning så innefattar den utökade kravbilden, i kravspecifikationen markerad med lägre prioritet, i huvudsak krav vilka innebär en för roboten ökad autonomi.

En ökad grad av autonomi innebär i detta projekt huvudsakligen att roboten klarar av att plocka upp samt sätta ned föremål utan mänsklig inblandning. Detta medför att uppgiftens komplexitet snabbt ökar då kravbilden utökas förbi den grundläggande funktionalitet som i kravspecifikationen är beskriven med prioritet 1. Robotens förmåga att plocka upp ett föremål autonomt kräver inte bara förmågan att kontrollera armen, utan även ett system för att insamla information om föremålets exakta position samt att översätta och vidarebefordra denna information till armen. Vidare måste armen i sin tur kunna röra sig i rummet med en sådan precision att upplockning av föremål kan göras utan att en människa kontinuerligt korregerar armens position.

### 3 Kunskapsbas

Majoriteten av komponenterna som använts i projektet finns dokumenterade med datablad och förklaringar på ISY:s (Institutionen för systemteknik vid Linköpings universitet) databladportal

<sup>1</sup>RFID (Radio Frequency Identification) är en teknik som kan användas för trådlös identifiering. Olika varianter finns, men i projektet används en aktiv läsare som identifierar passiva taggar.

Vanheden <sup>2</sup> och det är i huvudsak därifrån som specifikationer och data har inhämtats. Där finns bland annat datablad för mikroprocessorn ATmega 1284P, som används för alla fyra delsystem i projektet.

Kunskapen som varit nödvändig för att genomföra projektet har till största del tillkommit projektgruppen under deras tidigare studier där gruppmedlemmarna bland annat har lärt sig programmering och enklare elektronikkonstruktion. Vidare har de primära källorna för ytterligare information varit de datablad som finns på Vanheden, samt projektgruppens handledare vid ISY.

I övrigt har de dokument som skapats i förstudien och uppstarten av projektet använts som stöd under det fortsatta arbetet. Projektets dokument beskrivs i avsnitt 4. Särskilt har designspecifikationen legat till grund för allt det konstruktions- och programmeringsarbete som skett i projektet.

## 4 Genomförande

Projektet har genomförts enligt projektmodellen LIPS<sup>3</sup>. Projektets ursprung var ett projektdirektiv från beställaren där en översiktlig beskrivning av roboten kravbildens gavs. Utifrån projektdirektivet inleddes projektet med att ta fram en tydlig kravspecifikation som skulle specificera exakt vad slutprodukten skulle bestå av.

Det projekt som skulle genomföras var nytt för i år och har inte genomförts av tidigare studenter, projektgruppen fick således frihet att själva kunna experimentera med tankar och idéer för vad projektet skulle innefatta. Utifrån projektdirektivet tog gruppen fram ett antal krav på design och funktionalitet och rangordnade dem efter tre olika prioritetsnivåer, baserat på hur viktiga de bedömdes vara för att projektdirektivet skulle uppfyllas. Prioritet 1 innebar att kravet var tvunget att uppfyllas, prioritet 2 innebar att kravet ska uppfyllas i mån av tid, och prioritet 3 innebar att kravet skulle ses som ett förslag till framtida utbyggnad och förbättring. För mer detaljer, se kravspecifikationen i bilaga A.

När kravspecifikationen väl upprättats i samråd med beställaren påbörjades planeringen av projektets genomförande. En systemskiss skrevs som gav en övergripande bild av vad som krävdes utav roboten rent tekniskt. Den var upplagd som en sorts förstudie som beskrev olika möjliga designval och tekniska lösningar, för att samla in tankar och idéer på hur projektet skulle kunna genomföras, se bilaga C. Utifrån systemskissen upprättades en projektplan och specificerade vilka aktiviteter som skulle genomföras i projektet. Alla aktiviteter organiserades i ett beroendeträd, som visar hur olika aktiviteter beror på att andra aktiviteter är genomförda, för att ligga som grund för planering av när de skulle genomföras. Projektplanen är bifogad i bilaga D. Till projektplanen upprättades också en tidplan för alla aktiviteter, som uppdaterades med jämna mellanrum under projektets gång. Denna specificerade noggrant vem som skulle utföra vilken aktivitet när och hur lång tid den beräknades ta, se bilaga E.

Efter att projektplanen hade godkänts av beställaren och alla projektmedlemmar påbörjades själva utförandefasen av projektet med att skriva en designspecifikation. Designspecifikationen skulle ge en detaljerad bild av hur produkten skulle fungera och se ut, tillräckligt heltäckande

<sup>2</sup><https://docs.isy.liu.se/twiki/bin/view/VanHeden>

<sup>3</sup>Lätt Interaktiv Projektstyrning, en projektmodell vid Linköpings universitet. I modellen genomförs ett projekt i tre faser: en förstudie, utförande, och en efterstudie. En projektgrupp har en tydlig projektledare, och jobbar mot en beställare som vid olika förutbestämda milstolpar tar beslut om projektets fortsatta genomförande.

och detaljerad för att kunna bygga hela produkten utifrån endast denna. Detta innebar att alla designbeslut både vad gäller hårdvara och mjukvara togs i arbetet med designspecifikationen på en sådan detaljnivå att konstruktion och programmering genast kunde påbörjas då detta dokument var färdigställt. Projektgruppen utgick från systemskissen och gjorde i princip en ytterligare fördjupning och förtydligande av den. Designspecifikationen återfinns i bilaga F.

Då designspecifikationen färdigställts påbörjades arbetet med att bygga roboten och skriva mjukvara. Detta arbete utfördes till stor del parallellt då arbetet bedrevs i grupper om två som utvecklade olika delsystem. Det första som gjordes var att etablera en grundläggande funktionalitet genom att direkt konstruera robotens kretskort, designa och programmera busskommunikation och funktioner för att mata ut information på robotens LCD-skärm. Parallellt med detta påbörjades inläsningen av sensordata och grundläggande kontroll av robotens hjul. Arbetet gjordes i den ordning som lagts fram i tidplanen, som tagit hänsyn till aktiviteternas inbördes beroenden, för att göra arbetet så effektivt som möjligt och minimera väntetid.

I ett mjukvaruprojekt av denna storlek (cirka 10 000 rader kod) är det viktigt att källkoden är organiserad och versionshanterad på ett bra sätt. I projektet har koden versionshanterats med verktyget Git<sup>4</sup>. Hemsidan GitHub<sup>5</sup> har använts för att enkelt samordna arbetet mellan gruppmedlemmarna, och för att underlätta spårning av problem och visualisera versionshistoriken.

Mjukvaran har i huvudsak utvecklats med utvecklingsmiljön Atmel Studio utgiven av AVR-processorernas tillverkare Atmel, för den mjukvara som ligger på roboten, och utvecklingsmiljön QtCreator för persondatorns mjukvara.

## 5 Teknisk beskrivning

Roboten är uppdelad i fyra olika delsystem med varsitt ansvarsområde som vart och ett löser ett tydligt delproblem. Det första av delsystemen, kallat chassit, kontrollerar motorer och har en regleralgoritm för att se till att roboten följer linjen. Denna enhet har även det övergripande ansvaret för roboten. Det betyder till exempel att den säger till delsystem arm då det är dags att plocka upp ett föremål. Detta innebär att den också ansvarar för att föremål ställs ned och plockas upp på rätt station.

Armenheten kontrollerar och styr de servon som sitter i robotarmen och ansvarar för funktionaliteten som krävs för att plocka upp samt sätta ner föremål vid plockstationerna.

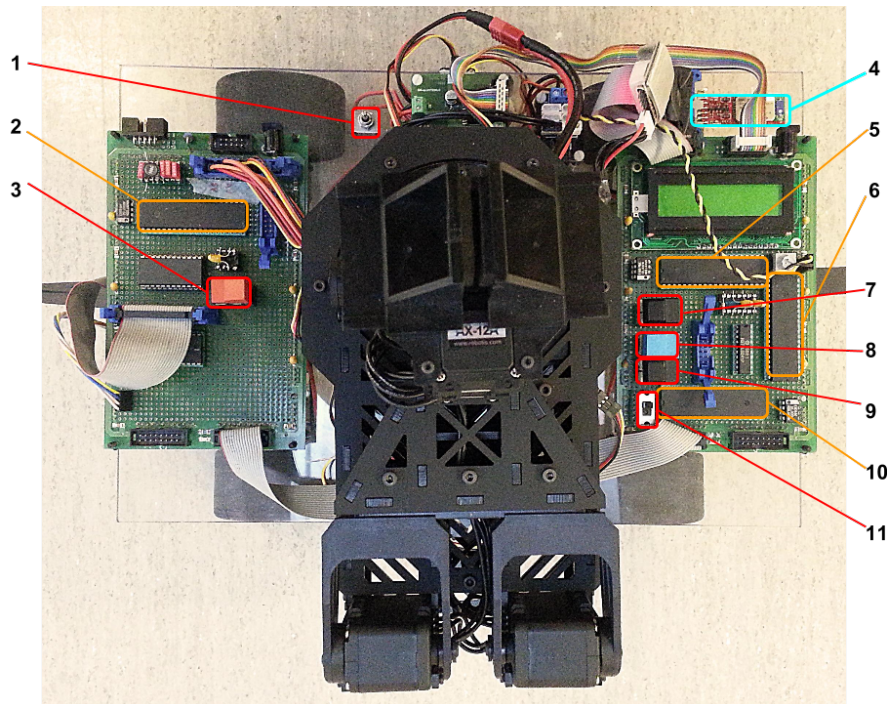
Sensorenheten är den enhet som samlar in den information som resten av roboten använder för att ta de styrbeslut som krävs för att slutföra uppgiften. Denna enhet svarar bara på förfrågningar av andra enheter och tar inga egna initiativ för att börja samla information.

Kommunikationsenhetens uppgift är att kommunicera relevant information ut till omvärlden. Detta görs dels till datorn med hjälp av blåttand, dels med hjälp av en LCD-skärm monterad på roboten. Även denna fungerar som en slav och skriver endast saker på skärmen då någon säger åt den att göra det. Den vidarebefordrar också data mellan robotens delsystem och en persondator via bussen samt blåttand.

<sup>4</sup>Ett distribuerat versionshanteringssystem.

<sup>5</sup>En sida för att dela öppen källkod och interagera med andra med hjälp av Git. URL: <https://github.com>





Figur 3: Översikt över robotens delar

Figur 3 visar huvuddelarna på kretskorten med följande numrering:

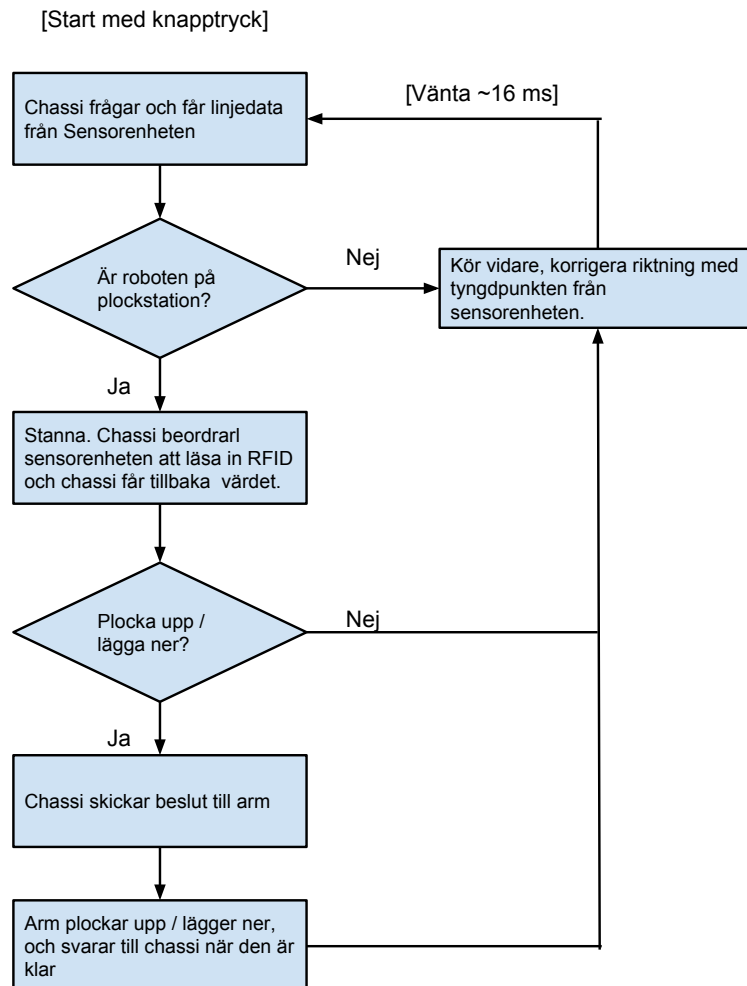
1. Strömbrytare till batteriet
2. Sensorenhetens processor
3. Knapp för nollställning av sensorenhet
4. Blåtandsmodem för kommunikation mellan robot och persondator
5. Kommunikationsenhetens processor
6. Armenhetens processor
7. Knapp för nollställning av kommunikationsenhetens och armenhetens processorer
8. Knapp för att påbörja linjeföljning i autonomt läge
9. Knapp för nollställning av chassienhetens processor
10. Chassienhetens processor
11. Omkopplare för val av autonomt eller manuellt läge

## 5.1 Chassi

Chassienheten är den enhet som styr över de andra enheterna och bestämmer när de andra enheterna ska utföra sina uppgifter. Chassit är också den enhet som styr motorerna till hjulen. Motorerna är kopplade så att både fram och bakhjul på vardera sida får samma styrsignal, så styrningen blir liknande den på en bandvagn. Motorerna styrs genom två PWM-signaler som skickas från chassienhetens processor, se bilaga G. Till chassienheten finns även en omkopplare där användaren kan välja mellan att roboten ska följa linjen autonomt eller om den bara ska gå att styra via persondatorn. Det finns även en tryckknapp som används för att påbörja autonom drift med linjeföljning.

Chassits huvudprogram startas genom ett knapptryck eller via ett kommando från persondatorn. Då beordrar chassit sensorenheten att börja söka efter en linje att följa. Ifall omkopplaren står

på manuellt läge händer ingenting mer. Annars ber chassit sensorenheten med jämna mellanrum om en tyngdpunkt samt information om ifall roboten har en station till höger eller vänster. Detta görs fram tills dess att sensorenheten skickar information om att roboten är på en station, figur 4 visar ett flödesschema över chassits program. Med hjälp av tyngdpunkten och PD-reglering beräknar chassit vilken hastighet hjulen på vardera sida ska ha för att det ska bli en mjuk linjeföljning, se bilaga G.



Figur 4: Översiktlig bild av Chassits huvudprogram

När sensorenheten informerar chassit om att den har upptäckt en station stannar roboten. Därefter beordrar chassit sensorenheten att läsa in RFID-taggen som ska ligga under roboten. Sensorenheten skickar tillbaka RFID-taggens identifikationsnummer. Ifall ingen tagg hittas kör roboten framåt och ber sensorenheten att göra en ny läsning. Hittas ingen tagg efter att roboten kört både framåt och bakåt en kort sträcka ger roboten upp och kör vidare till nästa station. Om roboten däremot hittar en tagg tar chassienheten beslut om vad som ska göras beroende på vilket ID taggen har. Beslutet beror på ifall det är en upplökningsstation eller avlämningsstation samt ifall roboten redan bär på något eller ifall stationen redan är avklarad.

Om roboten har stannat på en station där ett föremål ska plockas upp skickar chassit ett kommando till armen som talar om att ett objekt ska plockas upp och på vilken sida av roboten

föremålet befinner sig. När armen utfört sin uppgift enligt kommandot från chassit meddelar armen chassit att den är klar och ifall den klarade av att plocka upp eller lägga ner objektet.

Chassit håller reda på huruvida alla stationer är avklarade genom att räkna hur många stationer den passerar innan den når samma station igen. När alla stationer är avklarade står roboten kvar på sista stationen och LCD-skärmen förkunnar att uppdraget är slutfört. Annars kör roboten vidare till nästa station. Vid varje beslutspunkt i chassits huvudprogram skickar chassit sitt beslut till kommunikationsenheten som i sin tur vidarebefordrar detta till den fjärranslutna datorn. Ett beslut tas och vidarebefordras vid följande beslutspunkter:

- Roboten har åkt över en plockstationsmarkering
- Roboten har läst in en RFID-tag
- Armen är klar med ett uppdrag, upplöckning eller avlämning

## 5.2 Arm

Armen på roboten är av modell PhantomX Reactor från Trossen Robotics, med sju AX-12A servon i fyra rörliga leder samt en gripklo. Servona kommunicerar med processorn över en gemensam seriell buss. Varje servo tar emot all data som skickas från processorn, men agerar endast på de kommandon som är riktade till dess eget unika ID.

Vid varje sändning som riktas till ett enskilt servo får ett svar tillbaka med en statuskod och eventuella parametrar. Detta svar används för eventuell felhantering. Eftersom gruppen valt att kunna styra robotarmen autonomt är det extra viktigt att kontrollera att varje instruktion blivit korrekt mottagen. Därför väntar armenheten på svar från servona efter varje sändning gjorts. Dessa statuskoder kan sedan tolkas för att avgöra om kommandot nådde servot.

För ytterligare säkerhet gällande kommandon till servon, speciellt rörelser, har gruppen valt att endast sköta instruktioner genom kommandotypen "reg-write" som servona har. Med "reg-write" kan det skickas en instruktion till ett servo som endast utförs då kommandot "action" skickas till servot. Då all statusinformation finns tillgänglig kan programmet säkerställa att servona kommer agera som planerat innan rörelser utförs. Detta är väldigt användbart i de fall hela armen ska röra sig eftersom en led som inte rör sig kan ge en slutposition som i värsta fall skadar roboten.

Vid både manuell och autonom styrning av armen beräknas ledvinklar utifrån en, för armens klo, given koordinat med inverterad kinematik (metoden för inverterad kinematik beskrivs i bilaga J). Armen kan styras manuellt i djupled, höjdled och rotation av basplatta. Gripklon kan öppnas och stängas manuellt. När armen rör sig manuellt räknas startpositionen ut och sedan adderas kontinuerligt önskad förändring så länge som armen förflyttas. Vid autonom rörelse får armenheten en vinkel och ett avstånd från basplattan till föremålet som ska plockas upp, och genom inverterad kinematik ställer armen in sig och greppar föremålet. Koordinaten som föremålet plockades upp på sparas ned och används vid avlämning för att garantera att föremålet inte ska falla omkull.

## 5.3 Sensor

Sensorenheten har tre huvudsakliga uppgifter. Den är ansvarig för att ta fram data utifrån vilken roboten ska klara av att följa en linje och upptäcka plockstationer. Den ska även samla in

information om vilken RFID-tag som ligger vid stationen, detta vidarebefordras till chassienheten som avgör huruvida stationen i fråga är en plockstation eller avlämningsstation. Vidare är sensorenhetens uppgift vid upplockningsstationer att förse armenheten med koordinater till det objekt som ska plockas upp.

För att följa en linje krävs för det första att sensorenheten klarar av att ta fram robotens position i förhållande till banans linje. Detta åstadkoms med hjälp av en reflexsensormodul bestående av elva separata reflexsensorer. En reflexsensor är i sin tur uppbyggd av en infraröd diod samt en fotokänslig transistor. Reflexsensormodulen är monterad längst fram på roboten ett par millimeter över golvet. När den infraröda dioden på varje reflexsensor tänds kommer detta ljus att studsas mot underlaget och ge upphov till en ström i transistorn. Ju mer ljus som reflekteras av underlaget, desto större kommer denna ström att vara. På detta sätt går det att utläsa var tejpens befinner sig i förhållande till roboten.

Utifrån den data som lagrats i sensorenhetens processor beräknas sedan en tyngdpunkt på samma sätt som en linjetyngdpunkt i mekanik kan beräknas. Reflexsensorn ses som en linje där varje reflexsensors värde motsvarar tyngden för det segment av linjen den sitter på. Den tyngdpunkt som beräknas skalas till ett värde mellan 0 och 255, där 0 innebär att linjen ligger längst till vänster på sensorn och 255 innebär att linjen ligger längst till höger.

Sensorns andra uppgift är att lokalisera de objekt som ska plockas upp. Det görs med hjälp av två stycken av gruppen designade sensorer, sidoskannrar, en på höger respektive vänster sida av roboten. Varje sidoskanner består av ett servo av enklare modell på vilket en optisk avståndssensor är monterad. För att hitta objekt stegas servot upp i små inkrement. Efter att servot har stegats upp läses avståndssensorn av. Ifall att avståndssensorn registrerar ett avstånd som är större än robotarmens räckvidd innebär detta att inget föremål finns i den aktuella vinkeln varpå servot stegas upp ytterligare.

När sidoskannern för första gången läser av ett avstånd som är mindre än robotarmens räckvidd innebär detta att ett objekt har detekterats. För att hitta objektets mittpunkt stegas nu servot upp ytterligare tills dess att ett avstånd som återigen är större än robotarmens räckvidd detekteras. Objektets mittpunkt ligger då i den vinkel och avstånd som är mitt emellan de vinklar där objektet först och sist upptäcktes. För att dessa värden ska kunna användas av armenheten måste de först omvandlas för att vara anpassade till armens koordinatsystem som har sin nollpunkt i mitten av roboten, och inte ute på sidan där sidoskannrarna sitter. Exakt hur detta görs finns ingående beskrivet i den tekniska dokumentationen, se bilaga G.

RFID-inläsningen görs genom att RFID-läsaren aktiveras och efter cirka 150 ms skickar den ett 12 byte långt inläst ID till sensorenhetens processor som lagrar detta värde i en buffert. Värdet i bufferten läses av och jämförs mot de ID:n som redan finns lagrade i processorns minne. Då en träff på ett av de lagrade ID:na sker med det inlästa skickas den siffra som står på RFID-taggen till chassit.

## 5.4 Kommunikation

Kommunikationsenhetens uppgift är att förmedla data mellan robot, dator och omgivningen. Detta sköts dels via den skärm som finns på roboten och dels via det blåtandsmodem som sitter monterat på roboten. Skärmen har främst använts till att felsöka roboten under utvecklingsarbetet. I den färdiga produkten har datorn istället tagit över en stor del av skärmens informationsförmedlande uppgift. Skärmen ger dock även i robotens slutgiltiga utförande information om plockstationer samt RFID-taggnas värde.

För att styra roboten finns ett program för en persondator där olika kommandon kan skickas till roboten. Från denna kan hjulen styras med antingen musklick eller tangentbord och det går även att starta eller stoppa linjeföljning och sätta nya parametrar till regleringen. Vidare finns möjligheten att styra armen, antingen manuellt eller genom att aktivera förprogrammerade rörelser.

I datorgränssnittet presenteras även information som skickas från roboten. De styrbeslut som roboten tar under autonom körning presenteras i gränssnittets loggfönster och den från linjesensorn beräknade tyngdpunkten plottas i en realtidsgraf. Vidare presenteras de avstånd som fås in från sidoskannrarna i ytterligare en graf. Datan presenteras endast då den är relevant. Detta innebär att man exempelvis inte får någon graf över tyngdpunkten då roboten står vid en plockstation och inte heller någon data från sidoskannrarna då roboten rör sig mellan plockstationer.

## 6 Fördjupningsuppgifter

Som en del i kandidatprojektskursen utförde projektgruppen mer individuella fördjupningsuppgifter inom tre olika områden som är relevanta för projektet. Två gruppmedlemmar skrev en fördjupning om robotens sensorer (bilaga H), två skrev en uppgift om reglering av en linjeföljande robot och reglering av en robotarm (bilaga J), och tre skrev om litiumjonbatterier och om servomotorer (bilaga I).

### 6.1 Sensoruppgiften

I den skrivuppgift som gjordes om sensorer (se bilaga H) utreddes de olika sensorer som används till roboten. Huvudsyftet var att ta reda på om de skulle komma att vara tillräckliga för att roboten på ett tillfredsställande sätt skulle kunna klara av uppdraget. Vidare utreddes vilka alternativa sensorer som skulle kunnat användas för att få ökad prestanda med avseende på bland annat detektion av objekt.

Den primära slutsats som drogs i denna uppgift var att de val av sensorer som gjorts i designspecifikationen skulle komma att vara fullgoda för robotens förmåga att uppfylla de krav som satts i kravspecifikationen. De delar som man skulle tjäna mest på att byta ut är de servon och avståndssensorer som utgör sidoskannrarna. Mer högupplösta servon och avståndssensorer som inte sprider ljuset lika mycket skulle ge möjligheten till att mer precist detektera föremål. Detta i sin tur ger mer exakta koordinater till armen som då skulle kunna plocka upp föremål med högre precision.

### 6.2 Servomotorer

I den skrivuppgift som behandlade servomotorer (se bilaga I) undersöktes och redovisades hur ett servo fungerar, hur man kan få ett servo att röra sig utan kraftiga ryck och hur man styr servon av typen Dynamixel AX-12A som används i projektets robotarm. Slutsatserna som drogs av undersökningen gav att ett servo har inbyggd återkoppling vilket gör att den alltid kommer att ställa in sig på önskad vinkel, oberoende av yttre störningar. Det framgick även att Dynamixel AX-12A har inbyggt stöd för att kunna röra sig utan kraftiga ryck och att om denna funktion inte funnits hade det varit mycket svårt att implementera detta på egen hand.

## 6.3 Litiumjonbatterier

I uppgiften om batterier (se bilaga I) presenterades hur litiumjonbatterier fungerar och vilka risker som finns vid laddning, transport och användning. Det presenterades även vilka faktorer som påverkar ett batteris livslängd negativt. Dessa är främst för stor urladdning, hög temperatur och hur laddningsströmmen regleras under laddning. För att minimera slitage ska batterierna övervakas under laddning så att spänningen inte blir för hög, samt bör laddningsströmmen begränsas till en låg ström under de första och sista 10% av laddningscykeln.

Vidare redogörs kort för en del av den forskning som bedrivs om litiumjonbatterier och alternativ till tekniken.

## 6.4 Linjeföljning

I skrivuppgiften om reglering (se bilaga J) presenterades och testades en vanligt förekommande regleringsmetod, PID-reglering. När man ska reglera insvängning för att automatiskt följa en linje så räcker det inte att styra endast med avseende på hur stor avvikelsen är från mittpositionen för roboten. Detta på grund av att det väldigt lätt kan uppstå oscillerande rörelser och i vissa fall stationära fel, som oftast slutar med att roboten hamnar helt ur kurs. Som verktyg för att lösa detta används PID-reglering för att styra roboten.

I dokumentet väljs PD-reglering ut som den bäst lämpade reglertypen för linjeföljning, och parametrar för regleringen testas och redovisas. För att ta fram parametrar till reglerare hänvisas det till tester som gjorts på vår robot och som visat sig vara lämpliga.

## 6.5 Inverterad kinematik

I fördjupningsuppgiften inom inverterad kinematik (se bilaga J) beräknades en modell för en godtycklig treledad arm med roterande basplatta. Olika strategier för att genomföra inverterad kinematik diskuterades. Den valda lösningen var analytisk och visades matematiskt. En modell av armen i två dimensioner testades sedan i datorn för att se att modellen fungerade tillfredsställande.

Modellen i fördjupningsuppgiften implementerades på roboten och visade sig tillräckligt exakt för att autonomt kunna plocka upp föremål från givna positioner.

# 7 Resultat

Projektgruppen har under projektets gång visat att en robot så som beskriven i den tekniska dokumentationen skulle vara ett fullvärdigt alternativ att användas i ett faktiskt lager. Detta har visats i de tester som utförts där roboten uppfyller alla krav med prioritet ett med god repe-terbarhet. De tester som genomförts har i huvudsak bestått av att låta roboten plocka upp och sätta ner objekt medan den har följt banan. För att säkerställa robotens förmåga att konsekvent uppfylla kraven har den testats på en rad olika banor designade för att tänja på de gränser som finns uppsatta i banspecifikationen, bilaga B. Objekten har placerats i olika vinklar och på olika avstånd för att testa sidoskannrar och armenheten. Avbrott i tejp, kurvradie samt korsningar har hanterats i olika situationer ett stort antal gånger.

Vidare har robotens kapacitet för att helt autonomt plocka upp och sätta ner föremål enligt de RFID-taggar som ligger utlagda vid plockstationerna. All relevant sensordata vidarebefordras även till en persondator vilket möjliggör övervakning av roboten utan behov av direkt kontakt mellan människa och robot. Att roboten är autonom gör även att den är väldigt enkel att använda eftersom den efter uppstart inte kräver någon vidare mänsklig inblandning.

## 8 Slutsatser

Gruppen har under projektet dragit stor nytta av det grundliga arbete som gjordes i designspecifikationen. Även om arbetet med designspecifikationen tog ansevärd mängd tid i anspråk har det, sett över hela projektet, lönat sig. Detta då hela gruppen redan på ett tidigt skede i projektet haft en mycket god förståelse för hur roboten ska fungera. Då robotens delsystem senare under projektet skulle integreras med varandra var detta en stor fördel eftersom att alla medlemmar i gruppen haft en bra uppfattning av resterande medlemmars arbetsuppgifter. Mycket tack vare detta har utvecklingsarbetet till stor del kunnat utföras parallellt på de olika delsystemen.

Det gruppen är mest nöjd med, vad det gäller den tekniska lösningen, är den autonoma upplockningen. Roboten klarar av att konsekvent plocka upp föremål utan mänsklig inblandning samt att sätta ner dem utan att de välts eller tappas. Detta var från början inte något som sågs som en självklar funktion hos roboten och vidare har ingen av de andra två projektgrupperna med samma uppgift lyckats med detta.

Om mer tid gavs skulle gruppen främst vilja effektivisera funktionaliteten som redan finns. Något som vore utmanande är också att få roboten att interagera med liknande robotar i en lagermiljö. En trippmätare hade med fördel kunnat implementeras så att roboten alltid stannar exakt ovanför RFID-taggen, oavsett vilken hastighet roboten håller. Beslut om ifall roboten tjänar på att vända om och köra tillbaka istället för att fortsätta framåt hade också varit en fördelaktig funktion för att ytterligare effektivisera tiden det tar för roboten att utföra sitt uppdrag.

Versionshanteringen var i projektets slutskede oorganiserad på grund av bristande förkunskaper om hur versionshanteringsverktyget Git fungerade. Detta hade kunnat lösas genom att beskriva det tänkta upplägget i designspecifikationen och genom att se till att alla gruppens medlemmar varit mer insatta i hur Git skulle användas.

Om gruppen fick göra om samma uppdrag igen hade det antagligen blivit samma, eller en mycket lik produkt, med liknande lösningar som använts i detta projekt. Med samma komponenter bedöms det vara svårt att nå ett bättre resultat än det som uppnåts. Viss funktionalitet hade implementerats på ett mer generellt sätt, vilket hade kunnat effektivisera arbetet, men det hade med största sannolikhet lett till en liknande slutprodukt.

- A Kravspecifikation**
- B Banspecifikation**
- C Systemskiss**
- D Projektplan**
- E Tidplan**
- F Designspecifikation**
- G Teknisk dokumentation**
- H Sensoranalys**
- I Litiumjonbatterier och servomotorer**
- J Linjeföljning och reglering av robotarm**