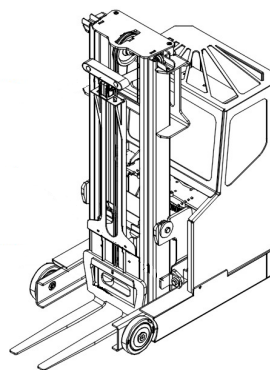


Testprotokoll

Autonom styrning av gaffeltruck

Version 1.0

L.A.M.A.
15 december 2016



Status

Granskad	Samtliga projektmedlemmar	2016-12-02
Godkänd	Anderas Bergström	2016-12-15

Projektidentitet

Gruppmail: jenst280@student.liu.se
Hemsida: <http://www.isy.liu.se/edu/projekt/reglerteknik/2016/forklift/>
Beställare: Andreas Bergström, ISY, Linköpings universitet
Telefon: +46 (0)10-711 54 54, **Mail:** andreas.bergstrom@liu.se
Kund: Emil Selse, Toyota Material Handling
Telefon: +46 (0)702032254 , **Mail:** emil.selse@toyota-industries.eu
Kursansvarig: Daniel Axehill, ISY, Linköpings universitet
Telefon: +46 (0)13 284042, **Mail:** daniel@isy.liu.se
Projektledare: Jenny Stenström
Handledare: Erik Hedberg, ISY, Linköpings universitet
Telefon: +46 (0)13 281338 , **Mail:** erik.hedberg@liu.se
Samuel Lindgren, Toyota Material Handling
Telefon: +46 (0)767614024 , **Mail:** samuel.lindgren@toyota-industries.eu

Gruppmedlemmar

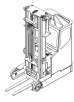
Namn	Ansvarsområde	Telefon	Mail (@student.liu.se)
Johan Almgren	Testansvarig	070-206 72 45	johal611
Henrik Andersson	Dokumentansvarig	073-854 77 79	henan562
Gustav Elingsbo	Informationsansvarig	073-685 19 75	gusel411
Mikael Hartman	Integrationsansvarig	076-771 13 38	mikha130
Petter Landerhed	Designansvarig	070-627 82 52	petla189
Andreas Norén	Mjukvaruansvarig	072-394 89 95	andno111
Jenny Stenström	Projektledare	070-329 92 21	jenst280

Dokumenthistorik

Version	Datum	Ändringar	Utförd av	Granskare
1.0	2016-12-12	Första versionen.	L.A.M.A	Samtliga projektmedlemmar
0.1	2016-12-02	Första utkast	L.A.M.A.	Samtliga projektmedlemmar

Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Utelämnade tester	1
1.2 Misslyckat test	2
1.3 Scenarion	2
2 Utförda tester	2
2.1 Generella tester	2
2.2 Modultester	3
2.2.1 Beslutsmodul och säkerhetsfunktioner	4
2.2.2 Regleringsmodul	4
2.2.3 Kartlägningsmodul	5
2.2.4 MiniTruckApp	5
Referenser	6
Appendices	6
Bilaga A Scenarion	1
Bilaga B Miljö vid scenario 1	1



1 Inledning

Detta är ett testprotokoll för projektet *Planering och Sensorfusion för autonom truck* i kursen *TSRT10 - Reglerteknisk projektkurs, CDIO* som ges vid Linköpings Universitet. I detta dokument beskrivs de tester som utförts för att se om projektet uppnått de mål som ställts upp i kravspecifikationen [1]. Testerna representeras i tabell med följande utseende:

Test	Beskrivning	Krav	Resultat
Test nr.	Testbeskrivning: Datum: Utfört av:	Krav nr.	

Testprotokollets utformning

I tabellen ses alltså testets nummer, dess beskrivning, vilket datum det utförts, vem som utfört testet, vilka krav det behandlat och resultat från testet. Endast prio 1 krav kommer att utvärderas.

För att ett test ska betraktas som godkänt ska de kriterier som listas i testplanen uppfyllas.

1.1 Utelämnade tester

Krav på dokumentation, ekonomi, utbildning, kod och organisation verifieras inte med ett testprotokoll utan enligt listan nedan.

Testnr	Kommentar	Kravnr
1	Ekonomikraven testas genom utvärdering av tidrapporteringen vid projektets avslut.	47-53
2	Leveranser och delleranser, så kallade <i>Besluts Punkter</i> , <i>BP</i> , testas genom att se till att deadline för dessa krav hålls	59
3	Dokumentationen testas genom att gruppen godkänns vid varje beslutspunkt.	60
4	Kraven på utbildning testas när en demonstration ges till kunden. Gruppen förutsatts ha satt sig in i ROS för att kunna genomföra projektet.	61-62
5	Krav på organisationen testas när grupprollerna tillsätts och gruppkontraktet skrivs.	63-67
35	Vid projektslut kontrolleras att den implementerade koden följer kodstandard och uppfyller de krav som ställts för att underlätta vidareutveckling av systemet	5-6

Kommunikationsmodulen krävs för att kunna etablera kontakt mellan trucken och an-



vändaren. Denna modul testas alltså vid alla övriga tester och anses därför inte behöver testas på egen hand.

1.2 Misslyckat test

Om ett test, vid tidpunkten för utsatt deadline, misslyckas sker en avvägning tillsammans med kund och handledare. Då kan antingen ett beslut tas om att senarelägga deadline och lägga mer resurser på att få testet godkänt eller ett beslut om omförhandling av kraven och testplanen fattas.

1.3 Scenarion

Kraven är ställda utifrån olika scenarion som finns specificerade i kravspecifikationen [1]. De finns även listade i bilaga A.

2 Utförda tester

Under denna rubrik beskrivs de tester som utförts för att verifiera att de krav som ställts upp i kravspecifikationen [1] uppfylls. Alla tester som finns specificerade i testplanen finns inte med i testprotokollet, detta då de generella testerna av scenarion täcker många av kraven. Om ett scenariotest ger ett tillfredsställande resultat anses de underliggande deltesterna överflödiga. Vissa krav kan inte direkt bekräftas som uppfyllda genom scenariotester varför vissa modulära deltester inkluderats.

2.1 Generella tester

Test	Beskrivning	Krav	Resultat
6	Testbeskrivning: <i>Test av scenario 1 i simuleringsmiljö.</i> Datum: 2016-12-02 Utfört av: Alla	1, 3, 4, 7, 8, 11, 13, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 32, 33, 34, 35, 36, (38), 54	Krav uppfyllda. Vi testade att flytta en pall med känd position till en pallplats med känd position. Trucken hämtade upp pallen och lämnade av den vid pallplatsen och backade bort från pallen.

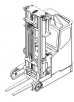


Test	Beskrivning	Krav	Resultat
7	Testbeskrivning: <i>Test av scenario 1 i demomiljö.</i> Datum: 2016-12-02 Utfört av: Alla	2, 28	Krav ej uppfyllda. Vi testade att flytta en pall med känd position till en pallplats med känd position. Trucken åkte in under pall, lyfter ej upp pallgafflar. Kör till pallplats, reglerar inte in över pallplats. Beror på för lite tid med verklig truck, vissa grejer från simulering stämmer inte överens med demomiljön. Koden fungerar på trucken. Trucken körde inte in i några hinder.

Test	Beskrivning	Krav	Resultat
12	Testbeskrivning: <i>Test av scenario 4 i simuleringsmiljö.</i> Datum: 2016-12-01 Utfört av: Mikael	17, 37, 56, 57	Krav uppfyllda. Test har utförts och kraven som är ställda går att utföra med Android applikationen.

2.2 Modultester

Under denna rubrik listas de tester som utförts för att säkerställa modulernas funktion var för sig.

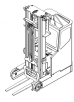


2.2.1 Beslutsmodul och säkerhetsfunktioner

Test	Beskrivning	Krav	Resultat
17	<p>Testbeskrivning: <i>Undersöka truckens säkerhet vid autonom drift i en simuleringsmiljö.</i></p> <p>Datum: 2016-11-16</p> <p>Utfört av: Jenny</p>	9, 28 54	<p>Krav uppfyllda.</p> <p>Vid testet gavs trucken en position att åka till. Under körning sattes ett hinder in i truckens planerade rutt. Trucken stannade till för att sedan planera en ny rutt runt hindret. Trucken körde ej in i hindret.</p>

2.2.2 Regleringsmodul

Test	Beskrivning	Krav	Resultat
20	<p>Testbeskrivning: <i>Undersöka huruvida modulen klarar av att reglera hastighet och position efter en given rutt. Då test av linjeföljning redan gjorts vid test 6 avser testet främst till att undersöka hur hastighetsanpassning sker utefter rutt.</i></p> <p>Datum: 28/11-16</p> <p>Utfört av: Gustav och Petter</p>	14	<p>Krav uppfylls.</p> <p>Vid utfört test ses att trucken anpassar sin hastighet utefter trajektorian.</p>

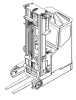


2.2.3 Kartläggningsmodul

Test	Beskrivning	Krav	Resultat
29	<p>Testbeskrivning: Testa kartläggningsmodulens förmåga att bygga upp och spara kartor.</p> <p>Datum: 2016-11-30</p> <p>Utfört av: Johan och Andreas</p>	30	<p>Krav uppfylls Vid test kördes trucken runt i och sökte av demomiljön och sparade kartan.</p> <p>Kartan öppnades och verifierades i positioneringsläge.</p>

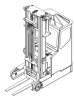
2.2.4 MiniTruckApp

Test	Beskrivning	Krav	Resultat
34	<p>Testbeskrivning: Testa applikationens förmåga att visa en karta över omgivning, visa truckens position samt visa bild från truckens 3D-kamera.</p> <p>Datum: 30/11-16</p> <p>Utfört av: Mikael</p>	41, 42, 43	<p>Kraven uppfylls Truckens karta över omgivningen visas med truckens position, laserscan samt planerad global rutt. Även bilden från truckens kamera visas i separat fönster.</p>



Referenser

- [1] (2016, Sep.) Kravspecifikation - autonom styrning av gaffeltruck. Projektgrupp L.A.M.A. TSRT10 LiU. Version 1.0.



Bilaga A. Scenarion

Nedan följer de fem olika scenarion som används för att beskriva truckens potentiella arbetsuppgifter.

1. Flytta pall:

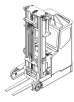
Första scenariot är att trucken ska flytta en pall till en pallplats i ett lager. Trucken har information om hur lagret ser ut, vilken position pallen har, vilken position pallplatsen har samt vilka hinder som finns i lagret. Detta scenario har högst prioritet. Arbetsgången för trucken kommer då vara enligt följande:

- Lokalisera truckens plats i lagret.
- Bestäm rutt från trucken till pallen.
- Linjeföljning längs rutt.
- Detektera och identifiera AR-kod på pallen.
- Bestäm pall A:s position relativt trucken.
- Positionera in gafflarna under pallen.
- Lyft upp pallen.
- Bestäm truckens position i lagret.
- Bestäm rutt från trucken till pallplatsen.
- Linjeföljning längs rutt.
- Detektera och identifiera AR-kod på pallplatsen.
- Bestäm pallplats position relativt trucken.
- Positionera in gafflarna över pallplatsen.
- Ställ ner pall på pallplatsen.
- Backa ut från pallen.

2. Avsökning av okänt lager:

Scenariot uppstår när trucken används för första gången i ett nytt lager där den inte har någon information om vägar, hinder, pallar eller pallplatser. Avsökning behöver göras för att kunna flytta en låda manuellt enligt scenario 1. Maxstorlek på lagret är 10 x 10 meter. Vid avsökning får bara fasta hinder finnas i lager. Dett scenario har lägre prioritet och komma implementeras i mån av tid. Arbetsgången för trucken kommer då vara enligt följande:

- Positionera sig i rummet och detektera alla hinder som för närvarande syns".
- Bestäm en rutt för att söka av lagret.
- Bestäm nya sökrutt då nya hinder upptäckts som ligger i vägen för den tänkta ruten.
- Lagra alla väggarnas positioner.
- Lagra alla hindrens positioner.
- Identifiera och lagra position och nummer på alla pallar.
- Identifiera och lagra position och nummer på alla pallplatser.
- Meddela när avsökning är klar.



3. Avsökning av känt lager:

För att kunna flytta lådor manuellt måste trucken ha kunskap om var alla pallar och pallplatser befinner sig i lagret. Detta scenario bygger på att man redan vet var alla fasta hinder är. I detta scenario så scannar man av efter pallar och pallplatser och har således redan en karta över lagret. Detta scenario har lägre prioritet och kommer implementeras i mån av tid.

- Positionera sig i rummet.
- Bestämma en rutt för att söka av lagret.
- Identifiera och lagra positioner på alla pallar.
- Identifiera och lagra positioner på alla pallplatser.
- Eventuellt planera ny rutt om pallar/pallplatser hamnar i vägen för rutten.
- Meddela när avsökning är klar.

4. Manuell styrning:

Detta scenario används för att kunna köra trucken manuellt via GUI. Detta scenario har hög prioritet och kommer försöka hinnas med tidigt då det ger grundläggande kunskap om hur trucken fungerar.

- Kunna ta emot kommandon från GUI.
- Kunna köra framåt, backa, svänga och lyfta/sänka pallgafflarna.
- Avbryta om kommunikation med GUI tappas.

5. Plocka och lämna pall från hylla:

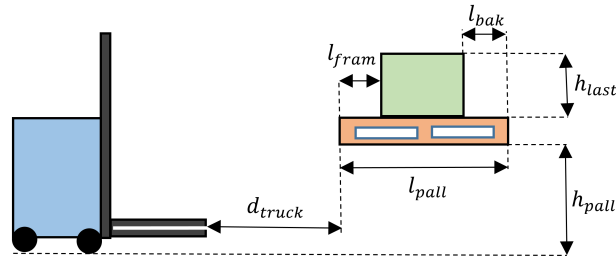
Scenariot liknar scenario 1 men med skillnaden att pallen ska kunna hämtas och lämnas från en hylla som är lokaliserad ovanför markplan. Scenariot har lägst prioritet och kommer implementeras i mån av tid, eventuellt kanske vara något för framtida utveckling.



Bilaga B. Miljö vid scenario 1

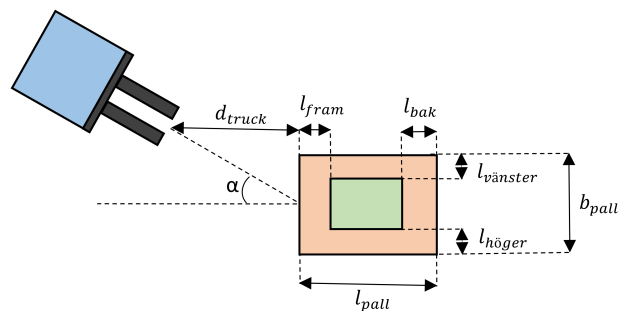
Pallyft

Nedan beskrivs de situationer där trucken ska lyfta upp en pall. Illustrerande bilder som definierar parametrar kan ses i Figur 1, Figur 2 och Figur 3.



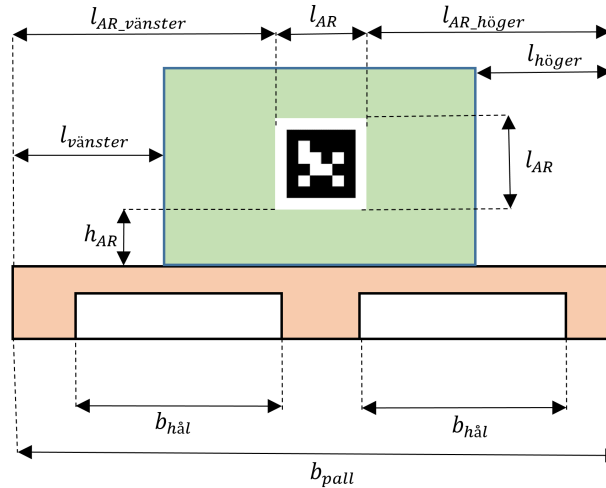
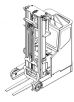
Figur 1: Truck och pall sett från sida vid start av pallyft.

- d_{truck} : Avstånd från truck till framsida av pall.
- l_{pall} : Pallens längd.
- l_{fram} : Avstånd från palls framsida till lastens närmaste punkt.
- l_{bak} : Avstånd från palls baksida till lastens närmaste punkt.
- h_{last} : Höjd på last.
- h_{pall} : Höjdskillnad mellan truckens underlag och palls underlag.



Figur 2: Truck och pall sett från ovan vid start av pallyft.

- α : Vinkel mellan truck och palls framsida.
- $l_{vanster}$: Avstånd från palls vänstra kant sett från trucken till lastens närmaste kant.
- l_{hoger} : Avstånd från palls högra kant sett från trucken till lastens närmaste kant.
- b_{pall} : Pallens bredd.



Figur 3: Pall sett från trucken.

- l_{AR} : Längd och bredd på AR-kod på last.
- $l_{ARvanster}$: Avstånd från AR-kod till pallens vänsta kant sett från trucken.
- $l_{ARhöger}$: Avstånd från AR-kod till pallens högra kant sett från trucken.
- h_{AR} : Höjd från pallen till AR-kodens botten.
- $b_{hål}$: Bredd på de hål i pallen där truckens gafflar ska skjutas in i vid pallyft.

Samtliga situationer

I samtliga situationer ska lasten få plats inom pallens kanter, d.v.s.

$$l_{fram}, l_{bak}, l_{vanster}, l_{höger} \geq 0.$$

Lastens höjd får inte överstiga 30cm d.v.s.

$$h_{last} \leq 30cm.$$

Totalvikten för pallen med last får ej överstiga 10kg. Parametrar vars värden ej defineras i denna bilaga bör följa standardmått för en pall omskalad 1:3 för att passa att lyftas av trucken som har samma omskalning. Pallen ska vara hel, ligga plant mot underlaget och vara av ovan beskrivna form.

Situation 1

I denna situation är trucken placerad nästan rakt framför pallen på ett avstånd av 1m där pallen är i samma höjd som trucken d.v.s.

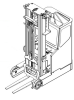
$$d_{truck} \approx 1m, \alpha \leq 5^\circ, h_{pall} = 0.$$

Lasten på pallen är placerad i pallens framkant och centrerad i sidled d.v.s.

$$l_{fram} = 0, l_{vanster} = l_{höger}.$$

Lasten har även en AR-kod placerad enligt Figure 3 där AR koden är centrerad i sidled på lasten och därmed också på pallen. AR-koden har en sidlängd på 1dm och är placerad 1dm ovanför pallen d.v.s.

$$l_{ARvanster} = l_{ARhöger}, l_{AR} = 1dm, h_{AR} = 1dm.$$

**Situation 2**

Denna situation är samma som situation 1 dock med större frihet på vinkeln mot trucken samt avstånd från truck till pall, d.v.s. samma parametrar som situation 1 med undantag för

$$d_{truck} \in [0.5m \ 2m], \alpha \leq 15^\circ, h_{pall} = 0.$$

Situation 3

Denna situation är samma som situation 1 dock där pallen tillåts vara placerad på ett underlag på högre höjd än trucken d.v.s.

$$d_{truck} \approx 1m, \alpha \leq 5^\circ, h_{pall} \in [0m \ 1m).$$

Situation 4

Denna situation är en kombination mellan situation 2 och situation 3 där en frihet i avstånd och vinkel tillåts samtidigt som pallen får vara placerad på en högre höjd än trucken d.v.s.

$$d_{truck} \in [0.5m \ 2m], \alpha \leq 15^\circ, h_{pall} \in [0m \ 1m).$$