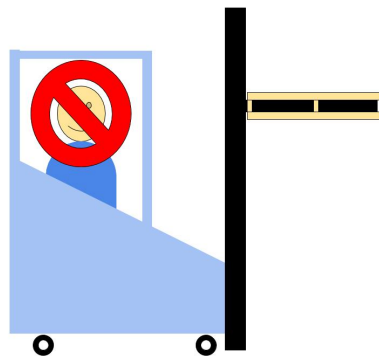


Kravspecifikation Autonom truck

Version 1.1

Redaktör: Joar Manhed
Datum: 20 november 2018



Status

Granskad	Kim Byström	2018-11-20
Godkänd	Andreas Bergström	2018-10-12

Kursnamn:	Reglerteknisk projektkurs	E-post:	kimby803@student.liu.se
Projektgrupp:	TRUCK-HT18	Dokumentansvarig:	Joar Manhed
Kurskod:	TSRT10	Dokumentansvarigs e-post:	joama350@student.liu.se
Projekt:	Autonom truck	Dokumentnamn:	Kravspecifikation.pdf

Projektidentitet

Grupp E-post: kimby803@student.liu.se
Hemsida:
Beställare: Andreas Bergström, ISY, Linköping University
Telefon: +46 10-711 54 54, **E-post:** andreas.bergstrom@liu.se
Kund: Magnus Persson, Toyota Material Handling, Mjölby
Telefon: +46 771-220 220 , **E-post:** magnus.persson@toyota-industries.eu
Kursansvarig: Daniel Axehill, ISY, Linköping University
Telefon: +46 13-28 40 42, **E-post:** daniel.axehill@liu.se
Projektledare: Kim Byström
Handledare: Erik Hedberg, ISY, Linköping University
Telefon: +46 13-28 13 38, **E-post:** erik.hedberg@liu.se

Gruppmedlemmar

Namn	Ansvarsområde	Telefon	E-post (@student.liu.se)
Kim Byström	Projektledare	072-7432190	kimby803
Lovisa Jansson	Designansvarig	076-3906525	lovja529
Anton Johansson	Komponentansvarig rörelseplanering	076-1962818	antjo244
Joar Manhed	Dokumentansvarig	076-5865400	joama350
David Sandmark	Komponentansvarig mo- dellering & simulering	073-7613213	davsa696
Niklas Stenberg	Komponentansvarig regle- ring	076-8018632	nikst888
Pär Sörliden	Mjukvaruansvarig	076-5955950	parso619
Gustaf Westerholm	Testansvarig	070-8257421	guswe541

Dokumenthistorik

Version	Datum	Utförda förändringar	Utförda av	Granskad
0.1	2018-09-21	Första utkast.	Alla	Kim Byström
0.2	2018-09-26	Första inlämning	Alla	Kim Byström
0.3	2018-10-04	Ändringar av krav	Alla	Kim Byström
0.4	2018-10-10	Ändringar av prioritet	Alla	Kim Byström
1.0	2018-10-12	Ändringar av prioritet	Alla	Kim Byström
1.1	2018-11-20	Krav 6 och 8 strukna eftersom vi inte har tillgång till fysiska trucken	Alla	Kim Byström

Kursnamn: Reglerteknisk projektkurs
Projektgrupp: TRUCK-HT18
Kurskod: TSRT10
Projekt: Autonom truck

E-post:
Dokumentansvarig:
Dokumentansvarigs e-post:
Dokumentnamn:

kimby803@student.liu.se
Joar Manhed
joama350@student.liu.se
Kravspecifikation.pdf

Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Parter	1
1.1.1 Projektgruppen	1
1.1.2 Institutionen för systemvetenskap (ISY)	1
1.1.3 Toyota Material Handling	1
1.2 Syfte och mål	1
1.3 Användning	1
1.4 Bakgrundsinformation	2
1.5 Definitioner	2
1.5.1 Krav	2
1.5.2 Förkortningar	2
2 Översikt av systemet	3
2.1 Produktkomponenter	3
2.2 Beroenden till andra system	3
2.3 Ingående delsystem	3
2.4 Gränssnitt	3
2.5 Avgränsningar	4
2.6 Designfilosofi	4
2.7 Generella krav på hela systemet	4
3 Delsystem - Simuleringsmodul	5
3.1 Inledande beskrivning	5
3.2 Designkrav	5
3.3 Funktionella krav	6
4 Delsystem - Planeringsmodul	7
4.1 Inledande beskrivning	7
4.2 Designkrav	7
4.3 Funktionella krav	8
5 Delsystem - Regleringsmodul	9
5.1 Inledande beskrivning	9
5.2 Designkrav	9
5.3 Funktionella krav	9
6 Delsystem - Precisionskörning med pallhantering	10
6.1 Inledande beskrivning	10
6.2 Designkrav	10
6.3 Funktionella krav	10
7 Krav på vidareutveckling	11
8 Ekonomi	11
9 Krav på säkerhet	11
10 Leveranskrav och delleveranser	11

11 Dokumentation	12
12 Utbildning	12
13 Kvalitetskrav	12

Kursnamn:	Reglerteknisk projektkurs	E-post:	kimby803@student.liu.se
Projektgrupp:	TRUCK-HT18	Dokumentansvarig:	Joar Manhed
Kurskod:	TSRT10	Dokumentansvarigs e-post:	joama350@student.liu.se
Projekt:	Autonom truck	Dokumentnamn:	Kravspecifikation.pdf



1 Inledning

Toyota håller på att utveckla autonoma truckar för lagerhantering. En viktig del i detta arbete är att ha en planeringsalgoritm som kan hitta en rutt, och reglering som kan följa samma rutt. I denna utveckling är en viktig del att ha en gedigen simuleringsmiljö där ny funktionalitet kan testas.

1.1 Parter

I detta kapitel beskrivs de ingående parterna och deras roller i projektet. Parterna är projektgruppen, ISY och Toyota Material Handling. Beställare är Andreas Bergström (ISY) och kunden är Toyota Material Handling i Mjölby.

1.1.1 Projektgruppen

Projektgruppen består av 8 studenter, från programmen Y, Yi, D och M, som läser kursen TSRT10, Reglerteknisk Projektkurs. Masterinriktningarna inom gruppen är *Mekatronik*, *Mekatronik Elektronik*, *Styr-och Informationssystem* och *Systemteknologi*. Projektledare för gruppen är Kim Byström.

1.1.2 Institutionen för systemvetenskap (ISY)

Andreas Bergström (industridoktorand i reglerteknik på Ericsson) är beställare av projektet och kommer att ha regelbunden kontakt med gruppens projektledare och stämna av så att samtliga moment genomförs. Erik Hedberg (doktorand i reglerteknik) är handledare till projektgruppen och kommer att verka som bland annat reglerteknisk rådgivare och någon att diskutera idéer och tillvägagångssätt med.

1.1.3 Toyota Material Handling

Toyota Material Handling är kund till projektet. Toyota Material Handling är Sveriges ledande leverantör av truckar. Över 80 000 truckar produceras årligen i Mjölby och av dessa utgör andelen autonoma truckar ungefär 1%.

Magnus Persson på Toyota agerar kund i projektet. Utöver Magnus Persson finns även koordinator Boris Ahnberg och expert Filip Nilsson tillgängliga hos Toyota.

1.2 Syfte och mål

Toyota Material Handling lägger stora resurser på utveckling av autonoma truckar. Detta för att kunna konkurrera inom lagerhanteringen som blir mer och mer automatiserad. Toyota har tagit fram en mindre modelltruck för användning till forskning och utveckling. Syftet med detta projekt är att hjälpa Toyota vidareutveckla deras simuleringsmiljö, rörelseplaneringssystemet samt regleringssystem för denna modelltruck.

1.3 Användning

Modelltrucken ska användas av Toyota för att visas upp på exempelvis mässor. Fördelen med modelltrucken är att den är lättare att transportera och navigeringssystemet ska vara lättare att sätta upp jämfört med dagens system på större truckar.

Kursnamn:	Reglerteknisk projektkurs	E-post:	kimby803@student.liu.se
Projektgrupp:	TRUCK-HT18	Dokumentansvarig:	Joar Manhed
Kurskod:	TSRT10	Dokumentansvarigs e-post:	joama350@student.liu.se
Projekt:	Autonom truck	Dokumentnamn:	Kravspecifikation.pdf



De system som utvecklas för modelltrucken kan sedan överföras till Toyotas fullskaliga truckar då modelltrucken har liknande uppbyggnad.

1.4 Bakgrundsinformation

Detta projekt är en del av kursen *TSRT10 - Reglerteknisk projektkurs*. Tidigare sommarjobb samt tidigare CDIO-projekt inom TSRT10 har också arbetat med den autonoma trucken på Toyota. Detta projekt är således delvis en fortsättning på dessa arbeten.

1.5 Definitioner

Nedan följer beskrivningar av olika typer av krav och förkortningar.

1.5.1 Krav

Varje krav benämns som antingen original, modifierat eller tillagt. Beskrivningar av de olika typerna följer nedan.

- *Originalkrav*: Har funnits med i samma form sedan den första godkända versionen av kravspecifikationen.
- *Modifierat krav*: Modifierat originalkrav.
- *Tilläggskrav*: Har tillkommit efter att den ursprungliga kravspecifikationen har godkänts.

Prioriteten på ett krav anger vikten av att det blir uppfyllt innan projektets slut. De prioritetsnivåer som används i projektet är prioritet 1, 2 och 3.

- *Prioritet 1*: Ska uppfyllas för att projektet ska bli godkänt.
- *Prioritet 2*: Ett flertal av dessa krav bör vara uppfyllda vid projektets slut.
- *Prioritet 3*: Uppfylls i mån av tid och intresse.
- *Prioritet 0*: Kan inte testas och därför inte uppfyllas.

1.5.2 Förkortningar

- *ISY*: Institutionen för systemteknik.
- *TMH*: Toyota Material Handling.
- *LIDAR*: Light Detection And Ranging.
- *BP*: Beslutspunkt.



2 Översikt av systemet

Trucken är en autonom modell av en reach-truck i skala 1:3. Den har tre hjul, två framtill som fungerar som stödhjul och ett styrbart hjul baktill. Trucken används till forskning och utveckling av autonoma truckar för godshantering.

2.1 Produktkomponenter

Trucken har ett sensorsystem som består av två LIDAR, en kamera och en positionssensor för gafflarna. LIDAR-sensorerna är placerade en fram och en i bak för att kunna se omgivningen för att rita upp en karta och inte köra på något. Kameran används för att kunna avgöra truckens position i förhållande till pallar och är placerad överst på gaffeltornet. Trucken har även en Nuvo-5095GC industridator med Linux som operativsystem.

2.2 Beroenden till andra system

Den fysiska trucken är beroende av att få kommandon från en dator som är ansluten via ssh, därför måste trucken ha tillgång till WIFI. Trucken är också beroende av C++ biblioteket Google Cartographer för sitt positionerings- och navigeringssystem.

2.3 Ingående delsystem

Trucken har för närvarande följande delsystem:

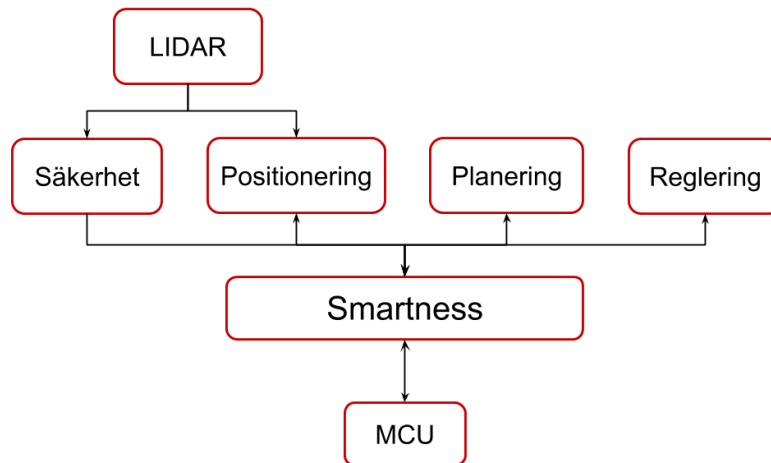
- Positioneringssystem – Trucken använder sig av Google Cartographer för SLAM.
- Planeringssystem – System som planerar en rörelseplan för trucken givet startposition och slutposition. Två algoritmer finns tillgängliga för att generera en rörelseplan: en enklare algoritm och en lite mer avancerad algoritm baserad på A*.
- Reglersystem – Baserat på en enkel regleralgoritm, Pure Pursuit, för att kunna följa rörelseplanen från navigeringssystemet.
- Säkerhetssystem – enkelt system som använder LIDAR-sensorerna för att detekterar hinder samt stoppa trucken innan kollision.

I det här projektet kommer projektgruppen att vidareutveckla planeringssystemet, regler-systemet och även utveckla en simuleringsmiljö. Planeringsmodulen ska utvecklas till en mer dynamisk algoritm för att kunna planera om rutten då omgivningen förändras. Reglersystem har två olika delar, dels att följa rörelseplanen och precisionskörning för pallhantering.

2.4 Gränssnitt

De olika delsystemen ska kommunicera med Toyotas egna gränssnitt Smartness som bland annat använder sig av TCP-kommunikation. Detta gränssnitt är inte helt utvecklat men de delsystem som ska utvecklas/vidareutvecklas ska kunna kommunicera med detta gränssnitt. De olika modulerna kommer att kommunicera med Smartness enligt figur 1. Delsystemen kommer till att börja med utvecklas i Unity och ska även då följa Smartness API. Detta innebär att de direkt ska kunna implementeras på den verkliga trucken.

Kursnamn:	Reglerteknisk projektkurs	E-post:	kimby803@student.liu.se
Projektgrupp:	TRUCK-HT18	Dokumentansvarig:	Joar Manhed
Kurskod:	TSRT10	Dokumentansvarigs e-post:	joama350@student.liu.se
Projekt:	Autonom truck	Dokumentnamn:	Kravspecifikation.pdf



Figur 1: Skiss över hur de olika modulerna kommunicerar.

2.5 Avgränsningar

Arbetet kommer främst att genomföras i spelmotorn Unity, som används för att simulera systemet. Trucken kommer att användas i befintligt skick då kod ska testas på denna.

2.6 Designfilosofi

Arbetet kommer att delas in i olika modulära delar som är enkla att utveckla separat och parallellt samt enkla att byta ut. Tidigare lösningar kommer delvis att återanvändas i sin helhet alternativt vidareutvecklas.

2.7 Generella krav på hela systemet

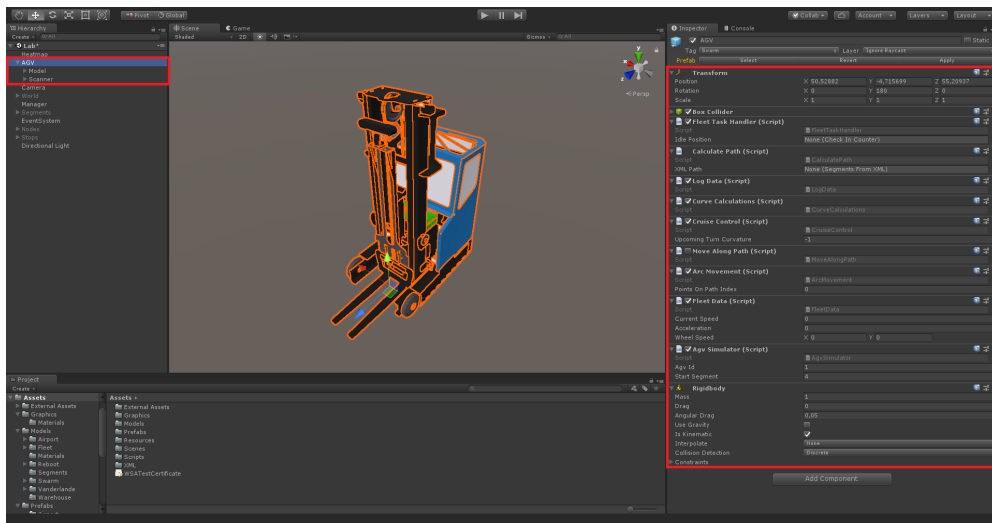
Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
1	Original	Moduler ska följa Smartness API. Detta innebär att de direkt ska kunna implementeras på den verkliga trucken.	1
2	Original	Skriven kod ska följa Googles kodstandard.	1
3	Original	Allt arbete ska vara väldokumenterat för att möjliggöra smidig vidareutveckling.	1



3 Delsystem - Simuleringsmodul

3.1 Inledande beskrivning

Trucken ska modelleras och simuleras i Unity. För närvarande finns en väldigt enkel modell av trucken i Unity. Den modelleras i stort sett endast som ett rätblock. Nuvarande modell syns i figur 2. Tidigare har trucken modellerats i Gazebo bestående av olika sammankopplade volymer med givna massor och tröghetsmoment. Där har modellen varit mycket mer fullständig än den som idag finns i Unity. Målet är att helt eller delvis återanvända tidigare modeller och migrera dessa till Unity. Tidigare CDIO-projekt från 2017 tog även fram en mer fullständig matematisk modell för trucken. Denna modell ska testas att implementeras i Unity.



Figur 2: Modell i Unity.

3.2 Designkrav

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
4	Original	Simuleringsmiljön ska använda sig av Unity.	1
5	Original	Trucken i simuleringsmiljön ska styras med samma signaler som den verkliga trucken, det vill säga hjulvinkel och hjulhastighet.	1

Kursnamn: Reglerteknisk projektkurs
Projektgrupp: TRUCK-HT18
Kurskod: TSRT10
Projekt: Autonom truck

E-post:
Dokumentansvarig:
Dokumentansvarigs e-post:
Dokumentnamn:

kimby803@student.liu.se
Joar Manhed
joama350@student.liu.se
Kravspecifikation.pdf



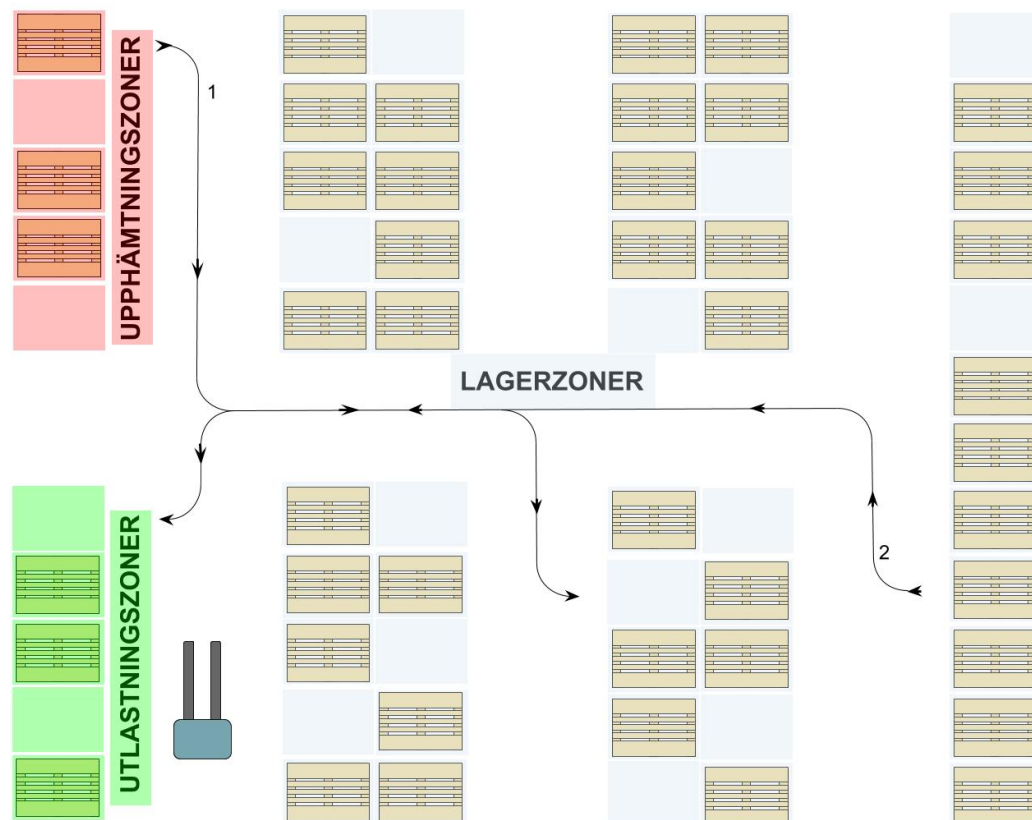
3.3 Funktionella krav

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
6	Modificerat	Den modellerade trucken ska följa samma trajektorier (inom rimlig felmargin) som den verkliga trucken, givet samma styr signaler.	0
7	Original	Om möjligt ska den matematiska modellen av trucken som togs fram i CDIO-projektet 2017 användas. Annars ska en egen modell med likvärdig prestanda som tidigare modeller tas fram.	1
8	Modificerat	Modellen i simuleringsmiljön ska valideras mot den verkliga trucken.	0
9	Original	Möjligheter att lägga på en störning på styr signalerna ska finnas.	1
10	Original	Den simulerade trucken ska använda sig av en brusig version av den riktiga positionen.	1
11	Original	En modell av LIDAR-sensorerna ska implementeras.	2
12	Original	Resultatet av simuleringen ska visualiseras med hjälp av Unity.	1

4 Delsystem - Planeringsmodul

4.1 Inledande beskrivning

Planeringsmodulen genererar en rörelse bana för trucken att följa givet en start- och slutposition. För närvarande är denna rörelse bana statisk, det vill säga den ändras inte om hinder dyker upp. Projektgruppen önskar ta fram en dynamisk rörelseplanerare som kan ändra rutt om hinder dyker upp. Det kommer att antas att denna modul får information från andra system (som ännu inte är utvecklade) som detekterar, klassificerar och spårar/följer hinder (andra truckar, människor etc.). I figur 3 nedan illustreras ett planeringsproblem som planeringsmodulen kan tänkas lösa. Utifrån truckens givna startposition finns i nedanstående fall två uppgifter som ska utföras. Planeringsmodulen ska här välja i vilken ordning dessa uppgifter ska utföras.



Figur 3: Exempel på planeringsproblem. Utifrån truckens givna startposition ska uppgift 1 eller 2 utföras först.

4.2 Designkrav

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
13	Original	Planeringsmodulen ska utvecklas fristående från de andra modulerna och verifieras i simuleringsmiljön.	1



4.3 Funktionella krav

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
14	Original	Utifrån en given miljö, start- och slutposition ska en optimal väg med avseende på sträcka beräknas, där trucken behandlas som en punkt.	1
15	Original	Utifrån en given miljö, start- och slutposition ska en optimal väg med avseende på sträcka beräknas, där truckens egenskaper beaktas.	2
16	Original	Utifrån en given miljö, start- och slutposition ska en optimal väg med avseende på tidseffektivitet beräknas, där truckens egenskaper beaktas.	3
17	Original	Planeringsmodulen ska skicka optimal väg till regleringsmodulen.	1
18	Original	Utifrån en optimal väg ska lämplig hastighet - i varje punkt i denna optimala väg - beräknas.	2
19	Original	Planeringsmodulen ska skicka optimal väg, med hastighet i specifika punkter, till regleringsmodulen.	2
20	Original	Planeringsmodulen ska, utifrån en given mängd uppgifter med tillhörande prioritet, planera i vilken ordning och hur dessa uppgifter ska genomföras.	3
21	Original	Om de givna uppgifterna ändras på något sätt ska planeringsmodulen beräkna en ny optimal lösning.	3
22	Original	Om miljön ändras på så sätt att rutten inte kan följas ska planeringsmodulen beräkna en ny optimal lösning.	1
23	Original	Om ett rörligt hinder befinner sig i miljön, på så sätt att rutten inte kan följas, ska planeringsmodulen beräkna en ny optimal lösning.	2
24	Original	Planeringsmodulen ska kunna planera gaffelposition.	3
25	Original	Planeringsmodulen ska gå att köra på en Raspberry Pi.	2



5 Delsystem - Regleringsmodul

5.1 Inledande beskrivning

Regleringsmodulen har till uppgift att styra trucken så att den följer den trajektoria som genereras av planeringsmodulen på ett önskvärt sätt.

5.2 Designkrav

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
26	Original	Regleringsmodulen ska utvecklas fristående från de andra modulerna och verifieras i simuleringsmiljön.	1

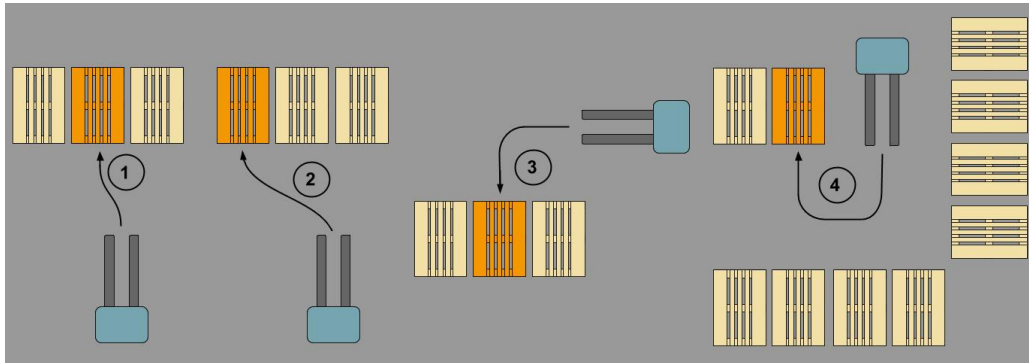
5.3 Funktionella krav

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
27	Original	Trucken ska i simuleringsmiljön regleras att följa en trajektoria utan skarpa kurvor inom en rimlig felmarginal.	1
28	Original	Trucken ska i simuleringsmiljön ha god kurvtagning inom en rimlig felmarginal.	1
29	Original	Trucken ska följa angiven hastighet från planeringsmodulen med en viss felmarginal.	2

6 Delsystem - Precisionskörning med pallhantering

6.1 Inledande beskrivning

Tidigare år har truckens precisionskörning testats med de fyra fallen illustrerade i figur 4 nedan. Även detta år kommer precisionskörningen att testas på dessa fyra fall. Detta delsystem kommer endast att utvecklas i mån av tid och intresse.



Figur 4: De fyra olika fallen av precisionskörning.

6.2 Designkrav

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
30	Original	Precisionskörningen bör utvecklas fristående från de andra modulerna och verifieras i simuleringsmiljön.	2

6.3 Funktionella krav

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
31	Original	Olika regleralgoritmer för precisionskörning bör utvärderas, bland annat MPC.	2
32	Original	Trucken bör kunna hämta en pall på en känd plats i höjd med LIDAR-sensorerna med position enligt fall 1 och 2.	2
33	Original	Trucken bör kunna hämta en pall på en känd plats i höjd med LIDAR-sensorerna med position enligt fall 3 och 4.	3
34	Original	Precisionskörningen bör gå att köra på en Raspberry Pi.	3



7 Krav på vidareutveckling

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
35	Original	Koden ska vara välkommenterad för att underlätta framtida vidareutveckling.	1
36	Original	Projektets delsystem ska kunna vidareutvecklas oberoende av varandra.	1
37	Original	Truckparametrar ska lätt kunna justeras för att passa olika truckmodeller.	2

8 Ekonomi

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
38	Original	Varje projektmedlem ska lägga cirka 240 timmar på projektet men inte överstiga detta med mer än 10 procent.	1
39	Original	Toyota hjälper till med iordningställande av material (80 timmar).	1
40	Original	Toyota tillhandahåller handledningstid i 40 timmar.	1
41	Original	Toyota ger tillgång till labb och utrustning vid ett antal tillfällen.	1
42	Original	ISY tillhandahåller handledningstid i 40 timmar.	1

9 Krav på säkerhet

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
43	Original	Trucken ska inte köra på hinder eller människor.	1

10 Leveranskrav och delleveranser

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
44	Original	Projektgruppens tid ska varje vecka rapporteras till beställaren.	1
45	Original	Vid BP2, senast 2018-09-26, ska kravspecifikation, projektplan, tidplan och ett utkast av designspecifikationen levereras.	1
46	Original	Vid BP3, 2018-10-12, ska designspecifikation och testplan levereras.	1
47	Original	Vid BP5, 2018-11-30, ska all funktionalitet vara klar och visas genom en presentation samt testprotokoll och användarhandledning ska levereras.	1
48	Original	Cirka en halv vecka efter BP5 ska all funktionalitet levereras till kund.	1
49	Original	Vid BP6, 2018-12-13, ska teknisk rapport, efterstudie, poster, hemsida och film levereras.	1



11 Dokumentation

Tabell nedan visar lista med dokument som ska levereras.

Dokument	Språk	Syfte	Målgrupp	Format
Kravspecifikation	Svenska	Definierar alla de krav på systemet som ska vara uppfyllda vid BP5.	Beställare, projektgrupp	pdf
Projektplan	Svenska	Beskriver hur projektet ska genomföras och hur gruppen ska arbeta tillsammans.	Projektgrupp	pdf
Tidplan	Svenska	Beskriver hur mycket tid som ska läggas på varje aktivitet och vem som ska utföra den.	Projektgrupp	Excel
Designspecifikation	Svenska	Beskriver hur systemet ska konstrueras för att uppfylla kraven i kravspecifikationen.	Projektgrupp	pdf
Testplan	Svenska	Beskriver vilka tester som ska utföras.	Projektgrupp	pdf
Testprotokoll	Svenska	Testprotokoll från de tester som definieras i testplanen.	Projektgrupp	pdf
Användarhandledning	Svenska	Beskriver hur en användare ska manövrera systemet.	Kund	pdf
Teknisk rapport	Svenska/ Engelska	Beskriver hur det färdiga systemet konstruerades.	Beställare, kund	pdf
Efterstudie	Svenska	En reflektion av det utförda arbetet.	Beställare	pdf

12 Utbildning

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
50	Original	Projektgruppen ska utbildas i Git.	1
51	Original	Projektgruppen ska utbildas i Smartness.	1
52	Original	Projektgruppen ska på egen hand utbilda sig i Unity.	1

13 Kvalitetskrav

Nr	Typ av krav	Beskrivning	Prioritet
53	Original	Testansvarig ska se till att tester för de olika delsystemen samt för den verkliga trucken designas, genomförs och dokumenteras.	1
54	Original	Moduler som verifieras i simuleringsmiljön ska även testas och valideras på den verkliga trucken.	2

Kursnamn: Reglerteknisk projektkurs
Projektgrupp: TRUCK-HT18
Kurskod: TSRT10
Projekt: Autonom truck

E-post:
Dokumentansvarig:
Dokumentansvarigs e-post:
Dokumentnamn:

kimby803@student.liu.se
Joar Manhed
joama350@student.liu.se
Kravspecifikation.pdf