



Kravspecifikation

Hampus Westerberg
Joel Wiklund
Tomasz Mazurek
Carl Liljeberg
Mohammad Rajabi
Anton Lund
Simon Svahn

12 december 2024

Version 1.4



Autonom Truck

Status

Granskad	Mohammad Rajabi	2024-12-04
Godkänd	Gustav Zetterqvist	2024-xx-xx



Projektidentitet

Grupp E-post: hamwe392@student.liu.se

Beställare: Gustav Zetterqvist, Linköpings universitet
Tfn: 013-28 19 94
E-post: gustav.zetterqvist@liu.se

Kund: Johan Lindell, Toyota Material Handling
E-post: johan.lindell@toyota-industries.eu

Handledare 1: Sebastian Karlsson (ISY)
E-post: sebastian.karlsson@liu.se

Handledare 2: Oskar Bergkvist (Toyota Material Handling)
E-post: oskar.bergkvist@toyota-industries.eu

Handledare 3: Andreas Bergström (Toyota Material Handling)
E-post: andreas.bergstrom.ext@toyota-industries.eu

Kursansvarig: Daniel Axehill, Linköpings universitet
Tfn: +4613284042
E-post: daniel.axehill@liu.se

Projektdeltagare

Namn	Ansvar	E-post
Hampus Westerberg	Projektledare (PL)	hamwe392@student.liu.se
Joel Wiklund	Testansvarig (TA)	joewi329@student.liu.se
Carl Liljeberg	Informationsansvarig (IA)	carli426@student.liu.se
Mohammad Rajabi	Dokumentansvarig (DOK)	mohra735@student.liu.se
Anton Lund	Mjukvaruansvarig (MA)	antlu106@student.liu.se
Simon Svahn	Designansvarig (DES)	simsv926@student.liu.se
Tomasz Mazurek	Sekreterare (SEK)	tomma870@student.liu.se



INNEHÅLL

1	Inledning	1
1.1	Parter	1
1.2	Syfte och mål	1
1.3	Användning	1
1.4	Bakgrundsinformation	2
1.5	Definitioner	2
2	Översikt av systemet	3
2.1	Produktkomponenter	4
2.2	Beroenden till andra system	4
2.3	Ingående delsystem	4
2.4	Avgränsningar	4
2.5	Designfilosofi	4
2.6	Krav	5
3	Kartläggning	5
4	Ruttplaneringsmodul	6
5	Simuleringsmodul	7
6	Användargränssnitt	8
7	Prestandakrav	9
8	Felhantering	9
9	Krav på vidareutveckling	9
10	Ekonomi	10
11	Leveranskrav och delleveranser	10
12	Dokumentation	11
13	Referenshantering	12



DOKUMENTHISTORIK

Version	Datum	Utförda ändringar	Utförda av	Granskad
0.1	2024-09-18	Första versionen	Alla	Alla
0.2	2024-09-23	Andra versionen	Alla	Alla
0.3	2024-09-24	Tredje versionen	Alla	Alla
1.0	2024-09-27	Fjärde versionen	Alla	Alla
1.1	2024-11-13	Femte versionen (ändringar efter BP4)	Alla	Alla
1.2	2024-11-19	Sjätte versionen (små ändringar)	Simon Svahn	Simon Svahn
1.3	2024-11-20	Sjunde versionen, korrigerade numreringen i tabellen i avsnitt 6.	Mohammad R.	Tomasz M.
1.4	2024-12-04	Ändrade prioritering på krav 2.2b, 4.2 och 4.6 samt reviderade kravbeskrivningen på 11.8 och 11.9. I de reviderade kraven inkluderas prioritet 1-krav i BP4, medan både prioritet 1 och 2-krav inkluderas i BP5.	Mohammad R.	Joel W.



1 INLEDNING

I detta projekt ska ett system för undvikande av hinder till en autonom truck hos Toyota Material Handling (nedan benämnt Toyota) tas fram. Målet är att systemet ska klara av att planera en rutt runt ett eller flera hinder. När hindren har passerats ska trucken återgå till sin ursprungliga bana. Nedan presenteras kraven för projektets olika delar, både för systemet och gruppens inlämningar. Kraven kommer att rangordnas efter prioritet och vad varje prioritetsnivå innebär framgår i [Tabell 1](#).

Prio Nivå	Förklaring
1	Är sådant som ska vara klart till BP4 då det ska beslutas om projektet endast körs i simulering eller inte.
2	Är sådant som ska vara klart till projektets slut och kan vara beroende av beslutet vid BP4
3	Är sådant som implementeras i mån av tid.

Tabell 1: Prioritetsnivåer som används i detta dokument för att rangordna samtliga krav.

1.1 Parter

Följande personer är parter i projektet.

BESTÄLLARE: Gustav Zetterqvist, doktorand på ISY inom Reglerteknik.

HANDLEDARE: Sebastian Karlsson, doktorand på ISY inom Reglerteknik.

KUND: Johan Lindell, jobbar på Toyota.

HANDLEDARE: Oskar Bergkvist, jobbar på Toyota.

HANDLEDARE: Andreas Bergström, jobbar på Toyota.

PROJEKTGRUPP: 7 masterstudenter på Linköpings universitet

1.2 Syfte och mål

Detta projekt är en del i kursen TSRT10, Reglerteknisk projektkurs vid Linköpings Universitet. Syftet med projektet som kursmoment är att fungera som en första introduktion till hur det kan se ut att jobba i projekt hos företag efter examen.

Det tekniska syftet med detta projekt är att förbättra autonomin hos truckar som tillverkas av Toyota Material Handling. Detta ska göras genom att använda regleringsalgoritmer och sensorer som ger trucken förmågan att analysera sin omgivning, detektera möjliga hinder och utifrån sin analys beräkna den mest lämpliga körrutten runt hindret, för att sedan återuppta sin planerade rutt. Hela flödet ska först simuleras i en simuleringsmiljö.

1.3 Användning

Projektets mål är att utveckla en fungerande prototyp. Produkten kommer inte att användas på några arbetsplatser. Den kan dock användas av framtida projektgrupper i samma kurs och som bevis av koncept för framtida produkter.



1.4 Bakgrundsinformation

Företaget Toyota Material handling i Mjölby tillverkar truckar för godshantering. För att effektivisera lagerhantering finns önskemål om att utveckla mjukvara som möjliggör att trucken kan undvika hinder, på engelska kallat "Obstacle avoidance". Detta är en teknik som låter trucken analysera sin omgivning, detektera hinder och sedan autonomt navigera förbi hindret utan en operatörs ingripande. För att lyckas med denna navigering skall ruttplanering användas. Ruttplanering innebär att trucken planerar en rutt givet truckens kinematik och tillgänglig yta. Som ett första steg i att implementera denna teknik har Toyota Material Handling gett en projektgrupp (i kursen TSRT10) uppdraget att simulera detta flöde.

1.5 Definitioner

Följande specifika ord och förkortningar används i dokumentet.

TRUCK: Autonom gaffeltruck tillverkat av Toyota, oftast i simulerad form.

LIDAR: En sensor som mäter avstånd till föremål genom att skicka ut ljus och mäta reflektioner. Sensorn mäter avståndet i ett horisontellt 2-dimensionellt plan.

KARTLÄGGNING: Kartläggning innebär att en karta skapas utifrån datan från LIDAR.

OBSTACLE DETECTION: Ett program som analyserar LIDAR-data för att avgöra om ett detekterat objekt är ett hinder eller inte.

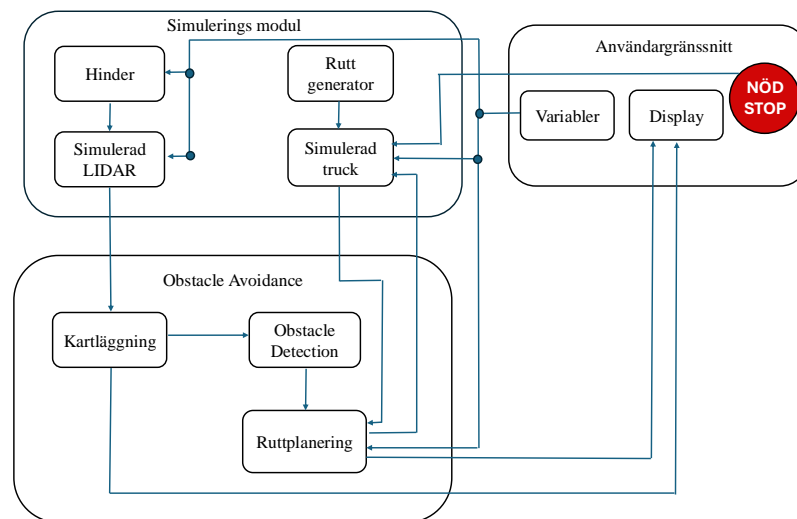
OBSTACLE AVOIDANCE: Undvika hinder genom att köra runt hindret.

PATH PLANNING: Innebär att trucken planerar en rutt givet truckens kinematik och given omgivning.

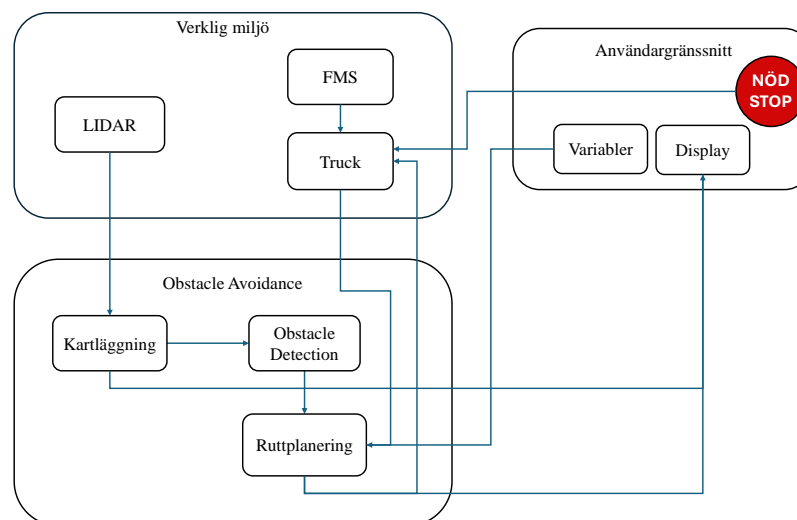


2 ÖVERSIKT AV SYSTEMET

Projektets mål är att utveckla systemet för obstacle detection och avoidance. Utveckling kommer först att ske i simulering och sedan implementeras på den verkliga trucken. I [Figur 1](#) syns den tänkta systemuppbyggnaden för simulering, och i [Figur 2](#) syns system översikten för det verkliga systemet.



Figur 1: Generell översikt över det simulerade systemet



Figur 2: Generell översikt över det verkliga systemet



2.1 Produktkomponenter

Systemet består av:

- Truck (modell/verklig)
- LIDAR-sensor (modell/verklig)
- Kartläggning
- Obstacle Detection
- Ruttplanering (Obstacle Avoidance)
- Visualisering
- Export av loggad diagnostik (data/karta)

2.2 Beroenden till andra system

STYRMODUL: Denna modul är redan implementerad av Toyota och är det system som kör trucken givet en planerad rutt.

2.3 Ingående delsystem

Produkten består av följande delsystem.

KARTLÄGGNINGSMODUL: Modulens uppgift är att utifrån LIDAR-data skapar en karta i form av ett rutnät med punkter.

RUTTPLANERINGSMODUL: Modulens uppgift är att planera en alternativ rutt utifrån kartan skapat av LIDAR-modulen.

SIMULERINGSMODUL: Modulens uppgift är att simulera systemet.

FELHANTERINGSMODUL: Modulens uppgift är att validera att rutten säkert kan köras och stanna trucken ifall trucken inte kan säkert köra rutten.

2.4 Avgränsningar

Trucken kan sedan tidigare följa en given rutt. Truckens position är given och behöver inte fastställas. Trucken befinner sig i en 2D-inomhusmiljö. Den kontrollerade simuleringsmiljön medför att inga yttre störningar förutom hinder behöver hanteras. Systemet behöver inte heller beakta avancerad dynamik för trucken som friktion och tröghet.

2.5 Designfilosofi

Under projektets gång ska arbetets hållas välorganiserat för att möjliggöra en hög effektivitet. Regelbundna tester ska genomföras för att säkra att nya implementeringar fungerar. Regelbundna möten skall hållas för att säkra att gruppen vet vad som ska göras och säkerställa att all information når ut.



2.6 Krav

Kraven för det övergripande systemet listas nedan.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
2.1	Original	System ska kunna köras i simulerad miljö.	1
2.2	Original	Systemet skall kunna planera en rutt runt ett hinder och tillbaka till sin förutbestämda bana med hänsyn till truckens kinematik.	1
2.2 a	1.2	Systemet skall kunna planera en rutt runt ett hinder och tillbaka till sin förutbestämda bana.	1
2.2 b	1.2	Systemet skall kunna planera en rutt runt ett hinder och tillbaka till sin förutbestämda bana med en algoritm som tar hänsyn till kinematik.	2
2.2 b	1.4	Systemet skall kunna planera en rutt runt ett hinder och tillbaka till sin förutbestämda bana med en algoritm som tar hänsyn till kinematik.	3
2.3	Original	Systemet ska gå att implementera på den verkliga trucken	3

3 KARTLÄGGNING

Kravet för kartläggningsmodulen listas nedan.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
3.1	Original	Den simulerade LIDAR-datan ska behandlas till ett punktmoln med x och y koordinater.	1
3.2	Original	En karta bestående av ett rutnät med tillåtna, otillåtna och okända områden ska kontinuerligt skapas med hjälp av punktmolnet.	1
3.3	Original	Kartan ska max ha fel på 5cm jämfört med den verkliga omgivningen.	2
3.3	1.1	Upplösningen på kartan ska vara minst 5 cm.	1



4 RUTTPLANERINGSMODUL

Kraven för ruttplaneringsmodulen listas i tabellen nedan.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
4.1	Original	Hinder på körvägen ska upptäckas.	1
4.2	Original	Beslutet att avvika från den normala ruten och påbörja planeringen av en alternativ rutt måste fattas och påbörjas innan trucken befinner sig inom 2 meters avstånd från hindret.	1
4.2	1.4	Beslutet att avvika från den normala ruten och påbörja planeringen av en alternativ rutt måste fattas och påbörjas innan trucken befinner sig inom 2 meters avstånd från hindret.	2
4.3	Original	En rutt som är genomförbar ska skapas så att hinder undviks.	1
4.4	Original	Trucken ska kunna följa den planerade ruten.	1
4.5	Original	En rutt ska skapas som säkerställer en säkerhetsmarginal på minst 30 cm till alla identifierade hinder.	1
4.6	Original	Ruttplaneringsalgoritmen kommer använda en modell av truckens kinematik.	1
4.6	1.1	Ruttplaneringsalgoritmen kommer använda en modell av truckens kinematik.	2
4.6	1.4	Ruttplaneringsalgoritmen kommer använda en modell av truckens kinematik.	3
4.7	Original	Algoritmen kommer kontinuerligt att uppdatera ruttplaneringen under färden.	1
4.7	1.1	Algoritmen kommer kontinuerligt att uppdatera ruttplaneringen under färden.	2
4.8	Original	En skattning på hindrets storlek ska göras från den initiala mätningen med antagandet att det är en EU-pall.	3
4.9	Original	En skattning ska köras av godtyckligt hinders storlek från den initiala mätningen.	3



5 SIMULERINGSMODUL

Kraven för simuleringsmodulen listas i tabellen nedan.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
5.1	Original	Truckens längd, bredd, hjuldiameter och maximal acceleration ska kunna konfigureras via ändringar av variabler.	1
5.2	Original	Obstacle avoidance ska kunna simuleras i en 2D miljö.	1
5.3	Original	Obstacle avoidance ska kunna simuleras i en 3D miljö.	3
5.4	Original	Simuleringens hinderdetektering ska använda sig av LIDAR-data.	1
5.5	Original	Simulering av trucken ska använda en kinematisk modell av den verkliga trucken.	1
5.6	Original	Trucken ska klara av att köra runt en simulerad miljö med ett rektangulärt hinder på raksträcka utan väggar.	1
5.7	Original	Trucken ska kunna köra runt ett rektangulärt hinder med en vägg på ena sidan.	1
5.8	Original	Trucken ska kunna köra runt två rektangulära hinder.	2
5.8	1.2	Trucken ska kunna köra runt två ej roterade rektangulära hinder i bredd med glapp mellan dem och inse att en rutt mellan hindren inte är körbart	2
5.9	Original	Trucken ska kunna köra runt godtyckligt formade objekt	3
5.10	Original	Trucken ska simuleras som ett rätblock som följer given rutt utan kinematik	1
5.11	Original	Trucken simuleras som ett rätblock utan kinematik	1
5.12	Original	Trucken simuleras med verklighetsbaserade mått utan kinematik.	1
5.13	Original	Trucken simuleras med verklighetsbaserade mått och en kinematikmodell.	1
5.14	Original	Datorn där simulering sker ska ha processor och grafikkort med motsvarande prestanda som Ryzen 4700U with Radeon Graphics	1
5.15	Original	Datorn där simulering sker ska ha minst 8 Gb RAM	1



6 ANVÄNDARGRÄNSSNITT

Kraven för användargränssnittet visas nedan.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
6.1	Original	En karta som utgörs av skapat punktmoln ska visas i realtid	1
6.2	Original	Den planerade ruten ska visas i realtid på kartan.	1
6.3	Original	Truckens position med storlek ska kontinuerligt uppdatera på kartan.	1
6.4	Original	Dimensioner på modellen ska visas och kunna ändras	1
6.5	Original	Trucken ska skicka meddelanden när ett hinder är detekterat.	1
6.5	1.2	Användargränssnittet ska indikera när ett hinder är detekterat.	1
6.6	Original	Trucken ska skicka meddelanden när en alternativ rutt är planerad och kommer användas.	1
6.6	1.2	Användargränssnittet ska indikera när en alternativ rutt är planerad och kommer användas.	1
6.7	Original	Trucken ska skicka meddelanden när en alternativ rutt inte går att planera.	2
6.7	1.2	Användargränssnittet ska indikera när en alternativ rutt inte går att planera.	2
6.8	Original	Trucken ska skicka meddelanden när trucken nått maxavstånd från originalruten.	1
6.8	1.2	Användargränssnittet ska indikera när trucken nått maxavstånd från originalruten.	2
6.9	Original	Trucken ska skicka meddelanden när trucken försöker återgå till startpositionen.	3
6.9	1.2	Användargränssnittet ska indikera när trucken försöker återgå till startpositionen.	3
6.10	Original	Maxhastighet går att ställa in.	1
6.11	Original	Hastigheten ska visas i realtid.	1



7 PRESTANDAKRAV

Kraven på systemets prestanda listas nedan.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
7.1	Original	Trucken behöver inte stanna upp medans den planerar rutten.	1
7.2	Original	Trucken ska klara av att köra runt hindret med medel hastigheten på minst 0.3 m/s	2
7.3	Original	Den planerade rutten ska vara max 10 procent längre än kortast möjliga körsträcka	2
7.3	1.1	Den planerade rutten ska vid ett vägval, välja den väg som bör leda till en kortare körsträcka.	2

8 FELHANTERING

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
8.1	Original	Trucken ska, då en genomförbar rutt ej kan beräknas eller genomföras, stanna och larma en operatör	1
8.2	Original	Trucken ska stanna då den lämnat att givet tillåtet område.	2
8.3	Original	Trucken ska vid nådd gräns av tillåtet område kunna återgå till den senaste positionen på originalrutten	3

9 KRAV PÅ VIDAREUTVECKLING

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
9.1	Original	All kod ska följa Googles kodstandard. [1]	1



10 EKONOMI

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
10.1	Original	Varje projektmedlem skall spendera 240 timmar på projektet	1
10.2	Original	ISY ska tillhandahålla 40 timmar handledningstid	1
10.3	Original	Toyota ska tillhandahålla 40 timmar handledningstid	1
10.4	Original	ISY ska tillhandahålla ett projektrum.	1

11 LEVERANSKRAV OCH DELLEVERANSER

Nedan visas kraven gällande de leveranser och delleveranser som ingår i projektet.

Krav	Version	Beskrivning	Besluts punkt	Datum
11.1	Original	Projektgruppen ska tidsredovisa en gång per vecka fram till slutleverans.	-	-
11.2	Original	Första utkastet av kravspecifikationen, v0.1 ska lämnas in till handledaren.	-	2024-09-18
11.3	Original	Den första versionen av kravspecifikationen ska vara godkänd.	BP2	2024-09-25
11.4	Original	Första utkastet av projektplanen och tidsplanen ska lämnas in till handledaren.	BP2	2024-09-18
11.5	Original	Slutliga versionen av projektplanen, tidsplanen och systemskissen ska vara klar.	BP2	2024-09-25
11.6	Original	Första utkastet av designspecifikationen och testplanen ska lämnas in till handledaren.	BP2	2024-10-02
11.7	Original	Designspecifikationen och testplanen ska vara godkänd av handledaren.	BP3	2024-10-9
11.8	Original	Första utkastet av en fungerande simuleringsmiljö som uppfyller alla prio 1 krav ska vara klar och beslut ifall projektet kommer att ske endast i simulering eller/även på den utgivna hårdvaran.	BP4	2024-11-11
11.9	Original	En fungerande simuleringsmiljö som uppfyller alla prio 1 och prio 2 krav i kravspecifikationen, testprotokoll och användarhandledning ska vara klar. Samt en demonstration där det visas att prio 1 och 2 krav är uppfyllda.	BP5	2024-12-04
11.10	Original	Projektets efterstudie, tryckfärdig poster och hemsidan ska vara klar och skickas till handledaren/beställaren senast.	BP6	2024-12-09
11.11	Original	Projektkonferens	-	2024-12-16



12 DOKUMENTATION

Under projektets utförande ska ett antal dokument framställas i dokumentationssyfte.

Dokument	Språk	Syfte
Projektplan	Svenska	Ger deltagarna en helhetsbild och struktur för hur projektet ska genomföras och hur kraven ska uppnås.
Kravspecifikation	Svenska	Beskriver tydligt kraven som trucken måste och möjligtvis kan uppfylla. Ger även en översiktlig bild av hela systemet.
Designspecifikation	Svenska	En detaljerad bild av hur roboten ska konstrueras.
Mötesprotokoll	Svenska	Dokumentera vad som diskuterats, beslutats och åtagits under alla möten.
Teknisk dokumentation	Svenska	Har som syfte att användas som dokumentation för felsökning av parter som ej är involverade. Har även syftet hjälpa dessa ej involverade parter att återskapa ett liknade projekt utifrån dokumentet.
Användarhandledning	Svenska	En komplett beskrivning av hur trucken och motsvarande användargränssnitt används.
Efterstudie	Svenska	En sammanfattning av projektet.

Kraven som ställs på all dokumentation inom projektet visas nedan.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
12.1	Original	Projektet ska bedrivas enligt LIPS-modellen och samtliga dokument ska utgå från LIPS-mallar.	1
12.2	Original	Dokumentationen ska vara väl skriven och tydligt framföra sitt syfte.	1
12.3	Original	Dokumentationen ska vara så pass fullständig att moduler ska kunna bytas ut genom att endast läsa om gränssnitten.	1
12.4	Original	Kod ska vara prydlig och väl kommenterad för vidareutveckling.	1
12.5	Original	Alla kommentarer och felmeddelanden i koden ska vara på svenska.	1
12.6	Original	Alla dokument ska genomgå grammatik kontroll av LanguageTool innan de skickas in.	1



13 REFERENSHANTERING

Krav för samtlig dokumentation.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
13.1	Original	Referenshantering ska ske med IEEE.	1



REFERENSER

- [1] Google, “Google c++ style guide,” <https://google.github.io/styleguide/cppguide.html>, 2024.