Experimentplattform för autonoma farkoster: Inledande försök

PETER ALVÅ, MARTIN HAGSTRÖM, ANDERS LENNARTSSON,
EMIL SALLING, PETTER ÖGREN

FOI-R--1825--SE Underlagsrapport **Systemteknik**
ISSN-1650-1942 December 2005

Peter Alvå, Martin Hagström, Anders Lennartsson, Emil Salling, Petter Ögren

Experimentplattform för autonoma farkoster: Inledande försök

FOI-R--1825--SE Underlagsrapport **Systemteknik**
ISSN-1650-1942 December 2005

Utgivare
FOI – Totalförsvarets forskningsinstitut
Systemteknik
164 90 STOCKHOLM

Rapportnummer, ISRN
FOI-R--1825--SE

Klassificering
Underlagsrapport

Forskningsområde
Bekämpning och skydd

Månad år
December 2005

Projektnummer
E6003

Delområde
VVS med styrda vapen

Delområde 2

Författare/redaktör
Peter Alvå, Martin Hagström, Anders Lennartsson, Emil Salling, Petter Ögren

Projektledare
Peter Alvå

Godkänd av
Monica Dahlén

Uppdragsgivare/kundbeteckning
FM

Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig
Maria Sjöblom

Rapportens titel
Experimentplattform för autonoma farkoster: Inledande försök

Sammanfattning

I denna rapport presenterar vi några planerade och inledande experiment som syftar till att värdera svårigheterna och visa nyttan med samverkande system. Experimenten är utförda med en liten UGV, en plattform vald för att minimera kostnaderna.

Rapporten beskriver kort syften och möjlig nytta med samverkande farkostsystem och anledningarna till att studera dem experimentellt.

I rapporten finns en övergripande beskrivning av den farkostexperimentplattform som har utvecklats. Slutligen presenteras de försök som planeras och de inledande försök som hittills genomförts.

Nyckelord
UGV, autonoma system, odometri

Övriga bibliografiska uppgifter

Språk Svenska

ISSN ISSN-1650-1942

Antal sidor: 18 s.

Distribution enligt missiv

Pris: Enligt prislista

Issuing organisation FOI – Swedish Defence Research Agency Systems Technology SE-164 90 STOCKHOLM	**Report number, ISRN** FOI-R--1825--SE	**Report type** Base data report
	Research area code Strike and Protection	
	Month year December 2005	**Project no.** E6003
	Sub area code Weapons and Protection	
	Sub area code 2	
Author/s (editor/s) Peter Alvå, Martin Hagström, Anders Lennartsson, Emil Salling, Petter Ögren	**Project manager** Peter Alvå	
	Approved by Monica Dahlén	
	Sponsoring agency Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Maria Sjöblom	
Report title Experiment plattform for autonomous vehicles: Initial experiments		

Abstract

This report presents some planned and initial performed experiments aimed to show benefints and difficulties with cooperative systems. The experiments are performed with a small autonmous ground vehicle.

The report introduces the concept of cooperative autonomous systems and the purpose of experiments.

The UGV plattform is described and finally a series of experiments is presented together with the results of intial trials.

Keywords

UGV, autonoma system, odometri

Further bibliographic information	**Language** Swedish
ISSN ISSN-1650-1942	**Pages** 18 p.
	Price acc. to pricelist

Innehåll

1 Inledning **1**

2 Samverkande farkostsystem **3**
2.1 Prestanda och robusthet 3
2.2 Systemarkitekturer 3
2.3 Experimentfarkoster 3
2.4 Tillämpningar 4

3 Plattformen **5**
3.1 Önskvärda systemegenskaper 5
3.2 Försöksplattformen 5
3.2.1 Hårdvarubeskrivning 6
3.2.2 Programvarubeskrivning 7

4 Implementerade styrfunktioner, planerade och genomförda försök **11**
4.1 Algoritm för följning av tidsatt trajektoria 11
4.2 Trajektorieföljning och formationsåkning 12
4.3 Slutsatser och resultat av inledande försök 13
4.3.1 Försökskonfiguration 13
4.3.2 Insamlade data 14
4.3.3 Iakttagelser av allmän natur 14
4.4 Slutsatser 15

Litteraturförteckning **17**

1 Inledning

I projektet *Samverkande Robotar i Nätverk* ligger fokus på autonoma styrprinciper för system av kommunicerande och samverkande plattformar, med möjlighet till interaktion med andra aktörer via ett nätverk. Projektet studerar också såväl vilka taktiska möjligheter som samverkande robotsystem erbjuder, som de svårigheter implementeringen av den nya tekniken medför. De studerade teknikerna är inte unika för robotsystem, de kan lika väl tillämpas på UAV-, UGV- eller UUV-system, där samverkan mellan flera enskilda plattformar är möjlig.

Arbetet i projektet har bedrivits på fyra fronter:

- Systemstudier drivs för att belysa taktiska möjligheter med samverkande robotsystem.
- Grundläggande forskning på styrprinciper för samordnad styrning utförs för att lösa några utvalda problem, samt för att bygga upp en kunskapsbas inom området autonoma system.
- Simuleringsstöd för tekniska och taktiska simuleringar utvecklas.
- Försök med samverkande autonoma UGVer.

Verksamheterna kompletterar varandra. Systemstudierna belyser vilka forskningsområden som är kritiska för en realisering av samverkande robotsystem. Forskningen på styrprinciper, å andra sidan, ger ett underlag för att beskriva de tekniska aspekterna av systemstudien. Simuleringsstöd utnyttjas både vid utvecklingen av nya styrprinciper och vid systemstudier. Försöksplattform UGV ger en möjlighet att testa robustheten hos styrprinciper när "verkligheten behagar hålla examen". Den ger också värdefull kunskap om svårigheten med och kostnaden för att implementera ny teknik.

Försöksplattformen består idag av två st. UGVer, men kan relativt enkelt kompletteras med fler farkoster i olika storlekar och med varierad nyttolast. Detta år har inledande försök genomförts med en av farkosterna, och erfarenheterna från dessa försök redovisas i rapporten.

Rapporten inleds med en beskrivning av några koncept som visar på möjliga tillämpningar av teknik för samverkande autonoma UGV-system, samt en kortfattad beskrivning av försöksplattformen, såväl av hårdvara i form av farkoster och utrustning som av programvara för styrning av systemet.

2 Samverkande farkostsystem

Flera farkoster istället för en, en naturlig idé som är en självklarhet för människor som ofta organiserar sig i arbetslag där ansvar och arbetsuppgifter delas ut efter kompetens och förmåga. Att göra på samma sätt för obemannade, autonoma system är naturligt även om det inte är lika självklart hur detta skall ske. Det finns många frågeställningar som är obesvarade och även de som inte ännu är ställda. Många problem kan formuleras vid skrivbordet men för att förstå vilka deltekniker som är gränssättande i ett system av samverkande farkoster behöver de teoretiska studierna kompletteras med experiment. Att styra storskaliga och decentraliserade system i nätverk är ett av de svårare problemen inom reglertekniken idag.

2.1 Prestanda och robusthet

Ett system av samverkande farkoster kan bestå av identiska system eller vara sammansatt av olika system med olika uppgifter och olika förmågor. Fördelarna med att sprida både sensorer och verkansdelar är många och de flesta uppenbara. Med en genomtänkt arkitektur ökar systemets robusthet. Om en farkost går förlorad eller tappar i förmåga slutar inte de övriga att fungera. Systemet kan gruppera om sig och det är möjligt att realisera det som på engelska ofta kallas ”graceful degradation”, värdig funktionsnedsättning. Samtidigt kan ett distribuerat system öka prestanda jämfört med en ensam farkost. Genom samtidig verkan kan ett måls motmedelsystem mättas, och ett distribuerat sensornät har överlägsna möjligheter att mäta in objekt.

2.2 Systemarkitekturer

Ett system kan konstrueras på många olika sätt. De yttre förutsättningarna, i vilken miljö och vilka uppgifter systemet förväntas lösa ställer krav på vilka tekniker som krävs. Valet av teknik ger i sin tur ramarna för vilka möjliga principer för styrning och samverkan som kan implementeras. Ett homogent system ger alla farkoster samma möjligheter till sensorinformation, beräkningsresurser och möjlig verkan. Men det gör också att alla bär samma dyra sensorer, eller att ingen farkost är utrustad med en riktigt god sensorförmåga. I ett heterogent system kan en eller några farkoster ges större förmåga i vissa avseenden, tex mycket bra sensorer, medan andra kan fungera som länkar med stor kommunikationskapacitet. För ett homogent system är frågor rörande optimalt beteende enklare eftersom problemet är symmetriskt. Hur ett heterogent system skall styras är (oftast) svårare.

2.3 Experimentfarkoster

En experimentplattform för samverkande farkostsystem utvecklas för att forska kring frågorna som länkar samman styrning, beräkning och kommunikation.

Den är ett verktyg för att validera teoretiska algoritmer för koordinerad styrning av multi-farkost system. Det är viktigt att experimentplattformen ger utrymme och möjligheter att utforska gränserna för de teoretiska modellerna och relationerna mellan de olika delarna,

- koordinerad ruttplanering
- styrning av farkostens dynamik
- kommunikation – mellan farkosterna och till yttre nätverk
- fördelning av beräkningsresurser
- samverkande navigering

och att gränsnsittet mot användaren är lättillgängligt. Många av frågeställningarna är generella och beror inte på farkostens egenskaper medan andra är specefika och avhängiga farkosten och dess närmaste omgivning. En luftfarkost kan röra sig obehindrat i tre dimensioner och påverkas ganska lite av omgivningen. En markfarkost är i väsentligt större grad beroende av en god omvärldsuppfattning då den i varje förflyttning riskerar att kollidera med hinder. En simuleringsmodell är ganska enkel att göra för en luftfarkost, dynamiken modelleras väl med kontinuerliga samband men att skapa en god simuleringsmodell för en marksfarkost är mycket svårt. För experiment råder paradoxalt det motsatta förhållandet, om rätt förutsättningar skapas. På grund av det strikta regelverk som råder för att framförande av flygande farkoster skall ske säkert är det mycket kostsamt att göra experiment med UAVer. Markfarkoster lyder däremot inte under samma regelverk och genom att anpassa förutsättningarna och på så sätt undvika de svåraste problemen inom avancerad omvärldsuppfattning, vilket till största delen är ett sensorproblem, kan experiment utföras med UGVer för att kostnadseffektivt studera de frågeställningar som nämdes ovan.

2.4 Tillämpningar

UGVer kommer att användas i många tillämpningar i framtiden. De första uppgifterna kommer bestå i spaning och övervaking, tråkiga, tidsödande och möjligen farliga uppgifter. Ett system av samverkande UGVer kan ges i uppgift att täcka en yta, eller bevaka en byggnad. Förutom att kommunicera med varandra kan systemet vara en del i ett större kommunikationsnätverk. För att lösa sådana uppgifter autonomt krävs att många delfunktioner utvecklas. Hur farkosterna skall spridas ut över ett område, så att bästa möjliga sensortäckning erhålls, eller hur de skall posteras runt en byggnad för att garanterat täcka alla möjliga vägar ut och in är frågor som måste analyseras och ges en algoritmisk lösning. Hur information skall skickas mellan enheterna i systemet och vad systemet skall skicka vidare till andra system och operatörer är också frågor som måste analyseras. Enkla lösningar, som att skicka sensorinformation till varandra baserat på en enkel regel om "intressant information" kan lätt leda till att nätverket (som har begränsad kapacitet) blir överbelastat i några noder. Därför måste en reglerande funktion som återkopplar nätverksbelastning och som beror på nätverkets struktur utvecklas. Eftersom nätverket beror bl.a på den geografiska spridningen av farkosterna kommer det topologiskt variera över tiden och därför även informationspridningen vara föränderlig.

De försök som planeras och de som inledningsvis har genomförts utgör alla steg i de experiment som behöver genomföras för att belysa de centrala och svåra frågeställningar som forskning inom samverkande system skall fokusera på.

3 Plattformen

Experimentplattformen består egentligen av tre delar. En hårdvarudel, en arkitektur av dator, nätverk och sensorer. En programvarudel, en arkitektur som är generell och möjlig att flytta till olika plattformar med ett minimalt anpassningsarbete. Den sista delen är själva farkosten. I denna rapport presenteras en UGV-plattform.

3.1 Önskvärda systemegenskaper

Ett mål med experimentplattformen är att den skall vara lättillgänglig. Kravställningen på systemet är en process som börjar normalt i definition av behov hos användaren, eller krav på specifika funktioner. Här behandlar vi inte den första delen utan beskriver kort några krav ur ett mer tekniskt perspektiv. Dessa krav hänför sig mer till i första hand till efterföljande av normer och regelverk samt teknisk funktionalitet och flexibilitet.

Några krav som mjukvarusystem för autonoma farkoster bör uppfylla är:

- Låg tröskel för nya användare.
- Enkelt att byta sensorkonfigurationer.
- Samma kod i simuleringsmiljö som i de fysiska plattformarna.
- Integration med övrig programvara som vi tar fram eller använder.
- Användbart på olika typer av farkoster och datorer, exempelvis flygplan och markfordon.
- Oberoende av autonomitetsnivå, skall tillåta att operatör styr hela eller delar av farkosten, andra aktuatorer, eller sensorer.
- Systemet ska tillåta funktioner baserade på algoritmer ifrån olika styrparadigmer.
- Systemet bör tillåta att hela eller delar av det implementeras enligt standarden DO-178B [18] [6], eller motsvarande standard IEC 61508 [9], för säkerhetskritiska mjukvarusystem.

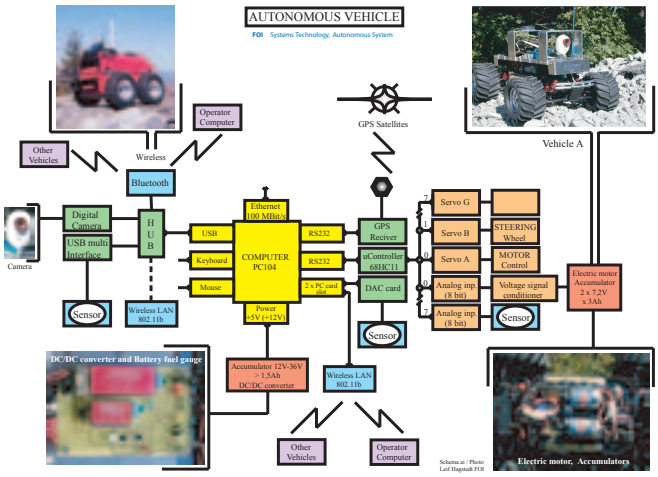
Till de ovan nämnda bör läggas ytterligare krav avseende gränssnitt och annat, samt en mängd allmänna kvalitetshöjande krav på mjukvarusystem.

3.2 Försöksplattformen

För närvarande finns två markfordon som är nästan likadant utrustade.

3.2.1 Hårdvarubeskrivning

Försöksplattformen består av ett markfordon baserat på en radiostyrd bil, samt dator och elektronik för att exekvera mjukvaran, navigera och styra fordonets hårdvara i form av motorer och servon.



Figur 3.1: Försöksplattformen är uppbyggd kring en elektronikdel med dator, sensorer, kommunikationsutrustning och annan elektronik.

Fordon

Markfordonet består av en fyrhjulig fyrhjulsdriven radiostyrd bil av typen E-MAXX [20], med längden 400 mm. Karossen har ersatts av en konstruktion i aluminiumplåt varpå dator och annan utrustning monterats.

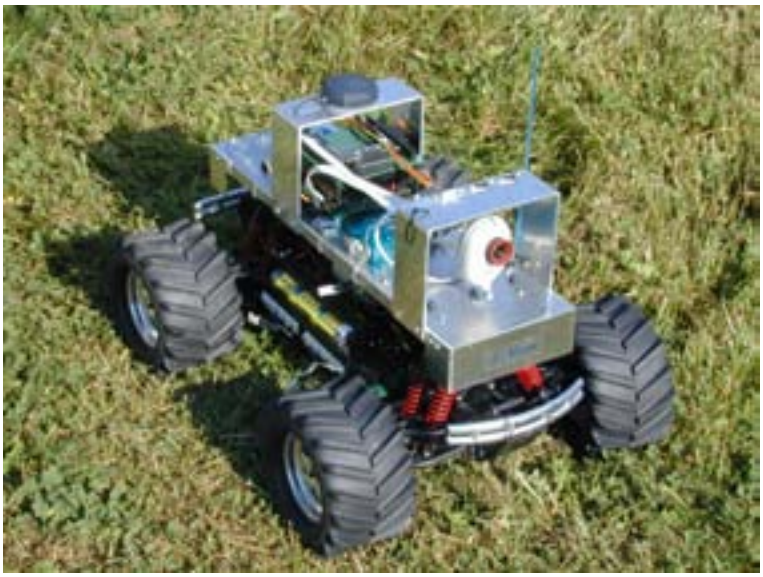
Sensorer

Försöksplattformen är utrustad med en optisk sensor i form av en web-kamera som är inkopplad på ett lokalt nätverk ombord. För navigering används en GPS-mottagare av typen NovAtel Superstar II [14]. Det finns en färdig prototyp för att koppla in sensorer via USB. Detta gäller i första hand skalära sensorer, till exempel temperatur, fukt, radiak-mätare. Konstruktionen tillhandahåller strömförsörjning, montage, 16-bitars omvandling från analog till digital signal.

Dator

Huvuddatorn är i formatet PC-104 av fabrikat Digital Logic [5]. I korthet innebär det en standard så kallad PC, med 266 MHz processor av typ Pentium, samt 128 MiB internminne. Som lagringsbeständigt minne används ett CompactFlash-minne på ungefär 1 GB. Om större lagringsutrymme för data och information behövs är det möjligt att montera en hårddisk med något miniatyrformat, microdrive alternativt av typen 1.8 tum som finns av olika fabrikat.

Operativsystemet på datorn är Debian GNU/Linux [1] och inga speciella optimeringar har använts vid installationen.



Figur 3.2: Försöksplattformen består av ett markfordon och en elektronikdel med dator, sensorer, kommunikationsutrustning och annan elektronik.

Elektronik

För reglering och styrning av mer hårdvarunära natur används för närvarande en liten styrdator i form av ett Miniboard [11]. Det består av en microcontroller ur familjen Motorola 68HC11 med tillhörande kretsar för att erhålla en komplett styrdator. Den utför styrning av servon samt enkel mätning på några kanaler med 8-bitars upplösning.

Övrig elektronik består av strömförsörjning och optisk isolering mellan två elsystem, det som driver datorer och elektronik, samt det som försörjer fordonets elmotorer för framdrivning, samt servon.

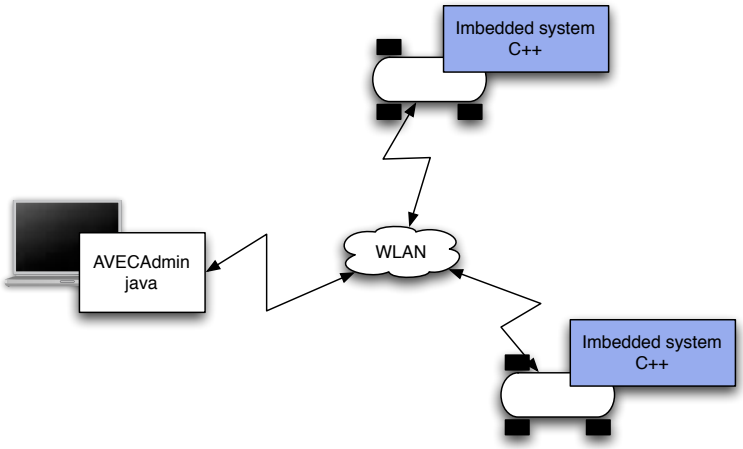
Kommunikation

Datorn har ett hållarkort för PC-card där kommunikationskort för WLAN (WiFi) enligt standarden 802.11b, alt 802.11g kan användas. Kommunikation kan upprättas direkt mellan klienter eller via en basstation. En basstation, som klarar 802.11b, finns tillgänglig. Det är också möjligt att koppla in WLAN via USB.

3.2.2 Programvarubeskrivning

Arkitekturen för programvaran kallas för Autonomous Vehicle Control Library, (AVEC) och består av två huvuddelar. En övervakningsapplikation, (AVECAdmin), som övervakar vad plattformen/plattformarna gör, samt en applikation som exekverar på plattformen.

Övervakningsapplikation är skriven i java och kommunicerar med plattformarna via WLAN. Här kan man göra enkel konfigurering, titta vilka styralgoritmer som finns installerade på plattformen och dessutom aktivt välja vilken styralgoritm man vill aktivera. Övervakningsapplikationen kan även skicka ett nödstoppskommande till plattformen om den ej skulle bete sig som användaren/styralgoritms-utvecklaren hade tänkt sig.

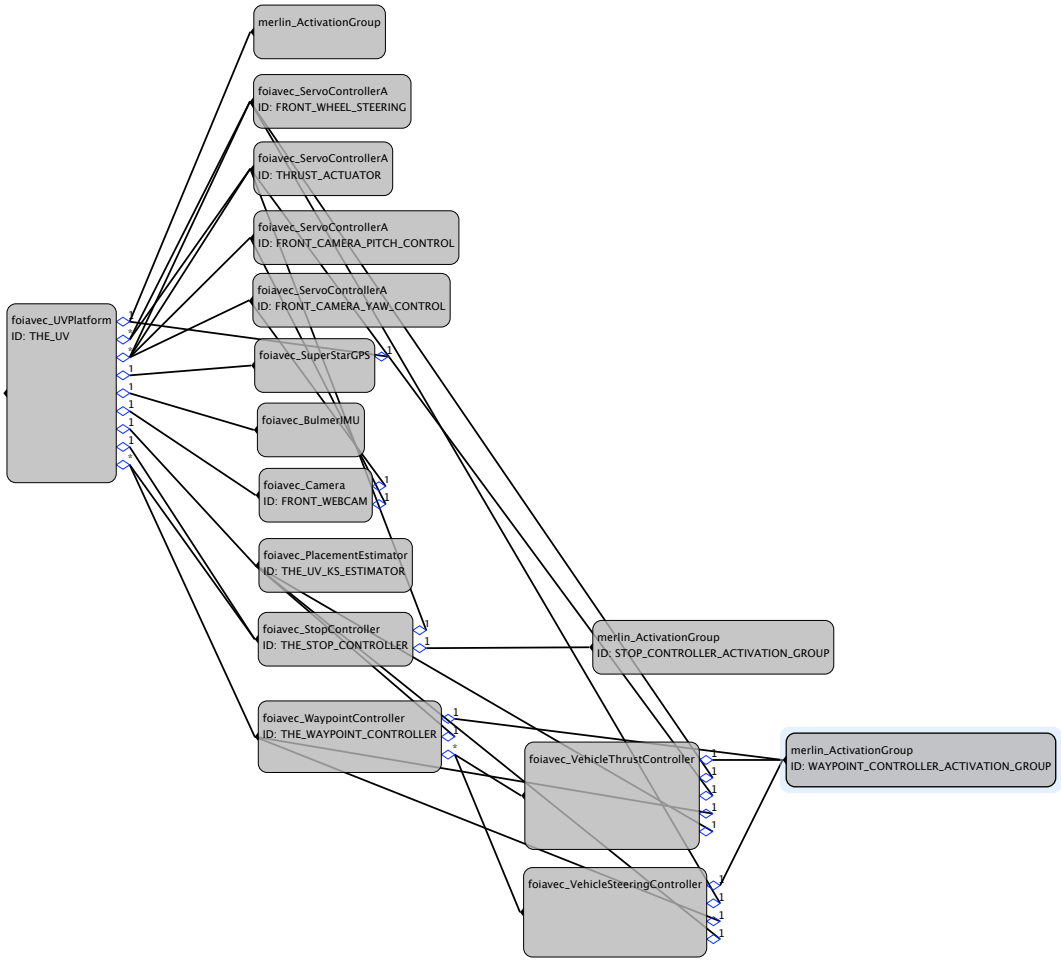


Figur 3.3: Systemöversikt

Plattformsapplikationen är skriven i C++ och består av ett basapplikationsblock som innehåller grundfunktionalitet såsom socketkommunikation, XML parser (vi skickar våra meddelanden som XML) samt intern händelsehantering. När en plattformskonfiguration aktiveras laddar den i runtime in den kod den behöver för att kunna utföra sin funktion. Detta omfattar:

- Drivrutiner till aktuell hårdvara, GPS, Odometer, IMU, Servostyrning, Kamera etc.
- Styralgoritmer. Styralgoritmerna är uppdelade i två delar. Huvudalgoritm samt hjälpalgoritmer.

En plattformskonfiguration beskrivs av en textfil i XML-format. Tanken med XML-konfigurering i kombination med dynamiska inladdning av kod är att den forskare som vill utveckla en styralgoritm bara ska behöva koncentrera sig på styrlagsimplementeringen och ej på hela systemets implementering. Med denna klara avgränsning är det relativt enkelt att lägga till ny kod och forskaren behöver i liten utsträckning oroa sig för eventuell oavsiktlig påverkan på systemet som helhet (sett från en programmatiskt vy).



Figur 3.4: UGV konfiguration.

4 Implementerade styrfunktioner, planerade och genomförda försök

Initialt planeras tre olika försök i ökande komplexitetsnivåer. Det första är att köra bilen längs en brytpunktsbana. Det andra är att köra två bilar i formation där den ena följer en bana och den andra ligger på ett givet avstånd snett bakom. Det tredje försöket är slutligen ett koordineringscenario, där två bilar skall ta olika vägar till två olika punkter men anlända samtidigt.

I det första försöket skall bilen följa en brytpunktsbana. Detta görs genom att låta bilen styra mot den första punkten i banan och sedan byta till nästa punkt när avståndet till den första är mindre än ett givet tröskelvärde. I detta försök testas både styrning och navigeringsfunktioner. Ett viktigt resultat av det första försöket är loggade datafiler från tröghetssensorer (IMU), GPS-mottagare och odometri. Dessa filer kan sedan användas för att fininställa navigeringsystemet och pröva olika integreringsmetoder.

Det andra försöket är en kombination av styrning, navigering och samverkan. En bil skall som i försök ett följa en brytpunktsbana medan den andra bilen åker i formation med den första, d.v.s. följer den första på ett givet avstånd. Den första bilen kommunicerar sin position och hastighet till den andra via det trådlösa nätverket. Den andra lägger till en offset, och följer således en tidsatt trajektoria.

I det tredje försöket är fokus på samverkan och kommunikation. Två bilar skall åka varsin brytpunktsbana mot olika mål med kravet att komma fram samtidigt. Detta åstadkoms enklast genom att tidigast möjlig individuell ankomsttid beräknas, varefter den senaste av de två väljs och en av bilarna anpassar hastigheten nedåt.

Nedan beskrivs en algoritm för robust asymptotiskt stabil följning av tidsatt trajektoria.

4.1 Algoritm för följning av tidsatt trajektoria

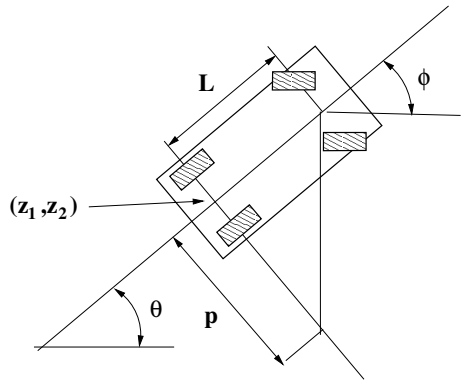
Givet en tidsatt trajektoria vars krökningsradie och hastighet ligger inom bilens prestandagränser skall vi nu designa en algoritm som asymptotiskt stabilt följer trajektorian.

Först behöver vi emellertid en kinematisk model av bilen. Betrakta figur 4.1.

För att härleda de kinematiska rörelseekvationerna kan vi tänka oss att bilen rör sig under en fast styrvinkel ϕ. Detta gör att $(z_1, z_2)^T$ beskriver en cirkel med radie p, vilket i sin tur ger vinkelhastigheten $\dot{\theta} = \frac{v}{p} = \frac{v}{L}\frac{L}{p} = \frac{v}{L}\tan\phi$.

Således har vi ekvationerna

$$\begin{aligned} \dot{z}_1 &= v\cos\theta, \\ \dot{z}_2 &= v\sin\theta, \\ \dot{\theta} &= \tfrac{v\tan\phi}{l}. \end{aligned} \tag{4.1}$$



Figur 4.1: En kinematisk bilmodell. De mörka rektanglarna är hjulen.

Typiskt så tillkommer en begränsning på styrvikeln $\phi \in [-b, b]$.

För att förenkla styrlagsdesignen låter vi utsignalen vara en punkt mitt på den främre hjulaxeln.

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_1 + l\cos\theta \\ z_2 + l\sin\theta \end{pmatrix}$$

Om vi nu deriverar utsignalen med avseende på tiden får vi

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \dot{z}_1 - \dot{\theta} l \sin\theta \\ \dot{z}_2 + \dot{\theta} l \cos\theta \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} v\cos\theta - \frac{v\tan\phi}{l} l\sin\theta \\ v\sin\theta + \frac{v\tan\phi}{l} l\cos\theta \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi \\ \sin\phi \end{pmatrix} \frac{v}{\cos\phi} \\ &= R(\theta) e_\phi \frac{v}{\cos\phi}, \end{aligned}$$

där $R(\theta)$ är en inverterbar rotationsmatris och e_ϕ är en enhetsvektor i ϕ-riktningen.

För en given önskad utsignal får vi alltså

$$\begin{aligned} \phi &= \operatorname{atan2}\left(R(-\theta) \begin{pmatrix} \dot{x}_{1d} \\ \dot{x}_{2d} \end{pmatrix} \right) \\ v &= \cos\phi \left\| \begin{pmatrix} \dot{x}_{1d} \\ \dot{x}_{2d} \end{pmatrix} \right\|. \end{aligned} \tag{4.2}$$

Detta är intuitivt helt rimligt, eftersom det betyder att framhjulen skall peka i samma riktning som den önskade hastighetsvektorn och hastighetens belopp är en omskalad, pga bakhjulsdriften, variant av den önskade hastigheten. Styrvinkelbegränsningarna måste tas i beaktande i form av mättningar av signalen. D.v.s. om den önskade vinkeln är större än den möjliga får största möjliga styrvinkel väljas.

4.2 Trajektorieföljning och formationsåkning

Först analyserar vi trajektorieföljning och använder sedan denna algoritm för att åstadkomma formationsåkning.

Anta att vi vill följa en trajektoria med en given hastighet, dvs att vi har en tidsatt trajektoria $r(t) \in \mathbb{R}$.

För att få $x(t)$ att konvergera mot $r(t)$ låter vi

$$v_d = \dot{r}(t) + k(r(t) - x(t)),$$

en vanligt p-styrning med feedforward, där k är en positiv konstant. Kan vi nu välja $\dot{x} = v_d$ kommer x att konvergera mot $r(t)$. Detta går som synes i ekvation (4.2) utmärkt i den del av tillståndsrummet där styrvinkel- och hastighetsbegränsningarna inte är aktiva. Alltså har vi lokal stabilitet. Den sammanlagda styrlagen blir alltså

$$\begin{aligned} \phi &= \operatorname{atan2}\left(R(-\theta)[\dot{r}(t) + k(r(t) - x(t))]\right) \\ v &= \cos\phi \, ||\dot{r}(t) + k(r(t) - x(t))|| \, . \end{aligned}$$

Notera att detta skiljer sig från många alternativa metoder där man styr mot en fixpunkt, s.k. framförpunkt, som man flyttar längs trajektorian. Med sådana metoder får man aldrig konvergens, utan bilen kommer alltid att 'gena' genom kurvor. Vidare är sådana metoder inte robusta mot störningar och mätfel. Om t.ex. framförpunkten av någon anledning hamnat strax bakom bilen kommer en stor vändning att påbörjas, istället för att bara sakta farten.

Vi har ovan noterat att då styrvinkelbegränsningarna inte är aktiva har vi lokal stabilitet. I situationer där begränsningarna är aktiva kan man vidare göra troligt att systemet efter en begränsad tid återförs till ett tillstånd nära $x(t) = r(t)$ där begränsningarna är inaktiva.

För att nu åstadkomma formationsåkning använder vi helt enkelt trajektorieföljningen där $r(t)$ och $\dot{r}(t)$ beräknas från ledarens position och hastighet, vilka estimeras från sensordata eller kommuniceras via nätverket.

$r(t)$ kan väljas till ledarens position plus en offset, relativt rörelseriktningen. Till exempel

$$r(t) = x_{leader}(t) - d\frac{\dot{x}_{leader}(t)}{||\dot{x}_{leader}(t)||}, \;\; \dot{r}(t) = \dot{x}_{leader}(t).$$

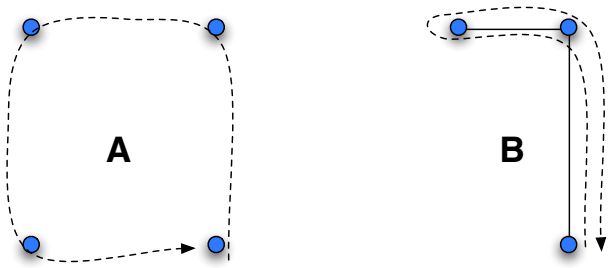
Notera att om k görs så stor som möjligt vid varje tidpunkt, utan att överstiga maxhastigheten, så sammanfaller denna styrlag med s.k. PN-styrning, som är det tidsoptimala sättet att genskjuta en farkost på rakbana.

4.3 Slutsatser och resultat av inledande försök

4.3.1 Försökskonfiguration

I det första försöket är tyngdpunkten lagd på att "motionera" de implementerade styralgoritmerna. För navigering är plattformen i detta försök bara understödd av sin odometer. Detta innebär en ganska bristfällig navigeringsinformation (där felet växer med tiden), men i det här testfallet är den exakta positionen av plattformen oväsentlig. Det viktiga är att man kan observera styralgoritmernas beteende i relation till navigeringssytemets uppfattade position. Försöket utfördes i ett garage på FOI, där en större öppen yta fanns tillgänglig. Eftersom testet är förlagt inomhus exkluderas avläsningar från GPS.

Försöken utfördes med två olika ban-konfigurationer figur 4.2, en rektangulär (A) samt en L formad (B). Av försöken kan man iaktta, som förväntat, att



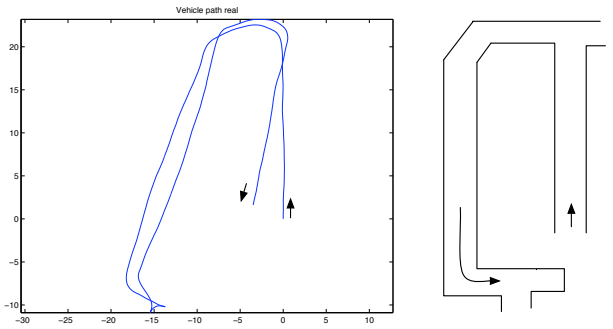
Figur 4.2: Testbanor

positionsangivelsen uppfattat av navigeringssystemet driver gentemot den verkliga positionen. Däremot har den praktiska funktionaliteten hos styralgoritmen verifierats. Vi påföljande försök där en mångfald av farkoster ska samverka, kan man konstatera att ett bättre navigationssytem kommer att behövas.

4.3.2 Insamlade data

Loggningsdata från GPS, IMU samt odometer har samlats in under manuell körning över en känd/uppmätt bana. Detta underlag kommer i nästa fas att användas till intrimmning av navigationssystemet (INS).

I figur 4.3 visualiseras positionsangivelsen given av odometern efter en manuellt styrd bana i FOIs korridorer. Till höger i samma figur finns en schematisk bild av hur korridoren ser ut i verkligheten. Man ser att plattformen har "sladdat" någonstans vid andra svängen (svängen längst upp till höger). Därav är de två parallella korridorerna ej parallela längre. På tillbakavägen klarar vi oss utan sladdar och de två korridorerna bibehåller sin parallellitet. Den första sladden medför att vi ej exakt återkommer till den punkt som vi utgick ifrån.



Figur 4.3: Odometerlogg

4.3.3 Iakttagelser av allmän natur

- Layouten av de tekniska komponenterna som ingår i plattformen är viktig. Inte bara för att få installationen mer fältmässig utan även för att elektromagnetiskt kunna avskärma de olika komponenterna. Framförallt GPS antennen störs mycket kraftigt (upp till 100 % nedsatt funktion) om den placerats ofördelaktigt i relation till processorn (CPU). Detta blir givetvis viktigare ju fler sensorer som installeras.

- Möjlighet att på ett enkel sätt, separat, kunna testa plattformens olika tekniska installationers drivrutiner/hårdvara är viktigt. Automatiserade funktionstest är ett måste för att kunna hålla kostnaderna nere.
- Odometerinstallationen har fungerat över förväntan.
- Odometern är installerad på bilens två bakhjul. Vid en kraftigare krängning av försöksfarkosten medför detta en osymmetrisk "toe-in" på hjulparet. Den starkaste konsekvensen av detta blir att odometern tappar riktningsinformation.

4.4 Slutsatser

Experimentplattformen som utvecklas ger goda möjligheter till att verifiera algoritmer och teorier för autonoma farkostsystem. De första försöken har gällt navigeringsfunktioner som är nödvändiga för att utföra mer avancerade försök. Plattformen erbjuder inte bara möjligheten att prova algoritmer för samverkande system, utan lämpar sig också för avancerade sensorfusionsalgoritmer för navigering.

Valet av försöksplattform har gjorts med sikte på att minimera kostnaderna, vilket visat sig viktigt, eftersom de praktiska problem som tenderar att uppstå vid all försöksverksamhet ofta tar stor del av den totalt tillgängliga tiden i anspråk. Om mer komplexa lösningar hade valts skulle kostnaderna blivit väsentligt högre.

Genom att fokusera på enkla lösningar, där svåra sensorproblem som identifiering och klassificering lämnas åt sidan, kan de för algoritmerna centrala frågorna studeras i en experimentell miljö, vilket ger nödvändig återkoppling till övrig forskningsverksamhet.

Litteraturförteckning

[1] Debian. http://debian.foi.se/cherupakha.media.mit.edu/pub/.

[2] Carnegie Mellon Robot Navigation Toolkit. http://www-2.cs.cmu.edu/~carmen/.

[3] Common Object Request Broker Architecture, corba. http://www.cs.wustl.edu/~schmidt/corba-overview.html/.

[4] DARPA J-UCAS programme. http://www.darpa.mil/j-ucas/fact_sheet.htm, http://www.darpa.mil/baa/PS04-04.html.

[5] Digital Logic, AG. www.digitallogic.com.

[6] FAA Federal Aviation Administration. RTCA, Inc., Document RTCA/DO-178B. Advisory Circular AC20-115B, http://www.faa.gov/.

[7] John Hays Hammond, Jr. http://www.hammondcastle.org/Bio.htm.

[8] Hitachi travelstar C4K40. http://www.hitachigst.com/hdd/support/c4k40/c4k40.htm.

[9] IEC. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safetyrelated systems. IEC 61508, http://www.iec.ch/.

[10] Fred Martin. The Handyboard website. http://handyboard.com/.

[11] Fred Martin. The Miniboard. Original website ftp://cherupakha.media.mit.edu/pub/.

[12] Mobile Autonomous Robot Software. http://www-2.cs.cmu.edu/~multirobotlab/MARS/.

[13] Model-Based Integration of Embedded Software. http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/projects/mobies/.

[14] NovAtel Inc. *Superstar II. User Manual*, 3 utgåva, 2003-2004. OM-20000077.

[15] Object Management Group. http://www.obm.org/.

[16] Open source framework for developing component-based robotic systems. http://orca-robotics.sourceforge.net/.

[17] Open Robot Control Software. http://www.orocos.org/.

[18] Software considerations in airborne systems and equipment certification. RTCA/DO-178B, http://www.rtca.org/.

[19] Nikola Tesla. Method and apparatus for controlling mechanism of moving vehichle or vehicles, juli 1898. United States Patent 613,809.

[20] http://www.traxxas.com/.

[21] David E. Wilkins, Thomas J. Lee och Pauline Berry. Interactive execution monitoring of agent teams.
http://www-2.cs.cmu.edu/afs/cs/project/jair/pub/volume18/wilkins03a-html/node31.html.

[22] Petter Ögren, Mats Fredriksson, Anders Lennartsson och Jan Lindh. Krav och önskemål på AVEC, maj 2004.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 STOCKHOLM

Tel: 08-5550 3000
Fax: 08-5550 3100

www.foi.se