

Peter Alvå, Antonios Fokas, Johan Hamberg, Anders Lennartsson, Johan Pelo

Styrning av samverkande robotar

Lägesrapport 2002-09-30

Peter Alvå, Antonios Fokas, Johan Hamberg, Anders Lennartsson, Johan Pelo

Styrning av samverkande robotar

Lägesrapport 2002-09-30

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Systemteknik 172 90 Stockholm	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0593--SE	Klassificering Underlagsrapport
	Forskningsområde 5. Bekämpning	
	Månad, år September 2002	Projektnummer E6003
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 51 VVS med styrda vapen	
Författare/redaktör Peter Alvå Antonios Fokas Johan Hamberg Anders Lennartsson Johan Pelo	Projektledare Peter Alvå	
	Godkänd av Monica Dahmén	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Martin Hagström	
Rapportens titel Styrning av samverkande robotar - Lägesrapport 2002-09-30		
Sammanfattning (högst 200 ord) Rapporten beskriver arbetsläget i projektet Styrning av samverkande robotar som ingår i FoT-området Vapen, Verkan och Skydd med Styrda vapen. En genomgång görs av innevarande års verksamhet beträffande Systemstudie för autonomt samverkande robotsystem, Styrlag för nära optimal målsökning och Utveckling av simuleringsmiljö för samverkande robotsystem. Rapporten innehåller också en sammanfattning av tidigare års verksamhet samt idéer om fortsatt arbete.		
Nyckelord		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 33 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista Sekretess	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Systems Technology SE-172 90 Stockholm	Report number, ISRN FOI-R--0593--SE	Report type Base data report
	Research area code 5. Combat	
	Month year September 2002	Project no. E6003
	Customers code 5. Contracted Research	
	Sub area code 51 Weapons and Protection	
Author/s (editor/s) Peter Alvå Antonios Fokas Johan Hamberg Anders Lennartsson Johan Pelo	Project manager Peter Alvå	
	Approved by Monica Dahlén	
	Sponsoring agency Swedish armed forces	
	Scientifically and technically responsible Martin Hagström	
Report title (In translation) Guidance of Collaborating missiles - Status report 2002-09-30		
Abstract (not more than 200 words) This is a status report for the project "Guidance of Collaborating Missiles", focusing on Studies of collaborating missiles systems, Control law for near optimal target search and Development of a simulation model for collaborating missiles. Results from previous research and ideas of future work are also given.		
Keywords		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 33 p.	
	Price acc. to pricelist Security classification	

Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	6
1.1	UPPDRAG OCH MÅLSÄTTNING	6
1.2	MILSTOLPAR	6
1.3	ARBETSUPPLÄGG I STORT	7
1.4	DELTAGARE	9
2	TIDIGARE ARBETE	10
2.1	SYSTEMSTUDIER AV FIBEROPTISKT STYRDA ROBOTAR	10
2.2	BANOPTIMERING FÖR MULTIPLA ROBOTAR	11
2.3	SENSORDATAFUSION	12
2.4	PLANERING AV ROBOTBANOR FÖR SYNKRONISERING I MÅLOMRÅDET.....	13
2.5	SIMULERINGSMILJÖ FÖR SAMVERKANDE ROBOTAR - ROSA	14
3	SYSTEMSTUDIE TRÅDLÖST KOMMUNICERANDE ROBOTAR.....	16
3.1	SPELKORT.....	16
3.2	SCENARIO.....	17
3.3	RESULTAT FRÅN TIDIGARE STUDIER	19
3.4	INRIKTNING AV HÖSTENS STUDIE.....	19
3.5	SIMULERINGSSTÖD	19
4	STYRNING FÖR MAXIMAL INFORMATION	21
4.1	DECENTRALISERAD STYRNING AV SAMVERKANDE ROBOTAR MED HJÄLP AV REINFORCEMENT LEARNING.....	21
4.2	CENTRALISERAD STYRNING.....	21
4.3	DECENTRALISERAD STYRNING	21
4.4	DISTRIBUERAD OPTIMERING GENOM PARAMETERSÖKNING I POLICYRUMMET	22
4.5	FORTSATT ARBETE	23
4.6	RELEVANT ARBETE.....	24
5	STYRNING AV ROBOTGRUPPER MED POTENTIALFÄLT	25
6	SIMULERINGAR I FLAMES.....	27
7	FÖRSÖKSPLATTFORM FÖR AUTONOMT SAMVERKANDE BETEENDE.....	29
7.1	BAKGRUND.....	29
7.2	MÅL	29
7.3	TEKNISK ÖVERSIKT	29
7.4	STATUS.....	30
8	FORTSATT ARBETE 2003-2005.....	31
9	REFERENSER.....	32

1 Inledning

1.1 Uppdrag och målsättning

Projektet Styrning av samverkande robotar skall enligt uppdraget från Försvarmakten behandla följande frågeställning:

- Hur kan verkan mot olika typer av mål förbättras genom att utnyttja samverkande robotar?
- Hur kan information från underrättelse- och ledningssystem användas för vapenstyrning?

Projektets mål är att utveckla teknik och metoder för samordnad (autonom) styrning av flera samverkande robotar.

Projektet kommer att vidareutveckla ett par olika koncept för samverkande robotsystem, dels system med fiberoptisk kommunikationslänk till eldenhet och dels system där en trådlös kommunikationslänk mellan robotarna utnyttjas.

Tyngdpunkten kommer att ligga på studier och utveckling av styrprinciper för samordnad styrning, men robotsystemens taktiska för- och nackdelar kommer också att belysas i simulerade scenarier.

Projektet skall också ge en ökad kompetens framför allt inom området autonom styrning, som kommer till nytta i flera andra tillämpningar.

1.2 Milstolpar

Projektet har följande milstolpar:

Lägesrapport

Sammanfattning av tidigare resultat, redogörelse för pågående och planerad verksamhet, samt genomgång av intressanta frågeställningar inom området samverkande robotar dokumenteras i en lägesrapport.

Milstolpen redovisas med denna rapport.

Kundseminarium

Ett kundseminarium skall hållas september 2002. Vid seminariet kommer arbetsläget att redovisas och det fortsatta arbetet att diskuteras. Framför allt kommer resultaten av förra årets systemstudie att presenteras och inriktningen av fortsatta studier kommer att förankras hos kunden.

En demonstration av simuleringsmiljön ROSA kommer också att genomföras under seminariet.

Kundseminariet har skjutits upp till 29 november 2002.

Systemstudie och forskningsresultat

En systemstudie av ett par koncept för samverkande robotsystem skall utföras. Kostnad, prestanda, taktiskt utnyttjande och möjlighet till realisering skall bedömas. Försvar mot samverkande robotsystem skall också studeras. Simuleringsverktyget FLAMES utnyttjas för att studera taktiska aspekter. Arbetet är en vidareutveckling av den systemstudie som utförs hösten 2001.

Forskning på metoder för optimering av en robotinsats med samverkande robotar. Konferensbidrag eftersträvas.

Arbetet utförs under hösten och redovisas i en rapport december 2002.

Robotmoduler i FLAMES

Simuleringsverktyget FLAMES utnyttjas för att studera taktiska för- och nackdelar med samverkande robotsystem. För detta behov vidareutvecklas de robotmoduler för samverkande robotsystem som tagits fram under 2001.

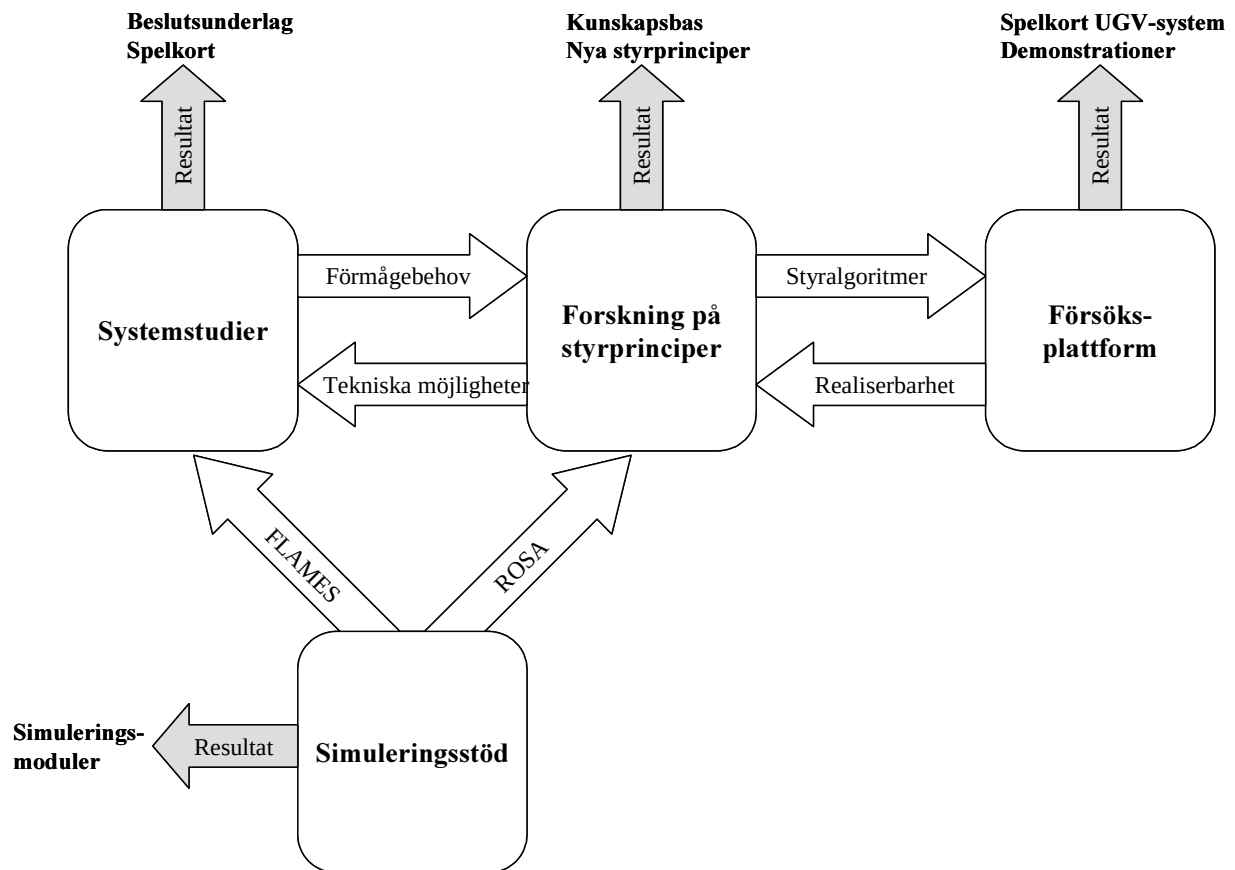
Modulerna presenteras i en rapport december 2002.

1.3 Arbetsupplägg i stort

Arbetet i projektet bedrivs på tre fronter:

- Systemstudier drivs för att belysa taktiska möjligheter med samverkande robotsystem.
- Grundläggande forskning på optimala 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.
- Försöksplattform för autonom styrning utvecklas.

Verksamheterna kompletterar varandra. Systemstudierna belyser vilka forskningsområden som är kritiska för en realisering av samverkande robotsystem. Forskningen på optimala 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. Försöksplattformen 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.



Figur 1.1

Resultatet av systemstudierna riktar sig direkt mot kundens (Försvarmaktens) behov genom att ge beslutsunderlag för fortsatt forskning om samverkande robotsystem, samt för planering av framtida vapensystem och analys av framtida hotbild. De spelkort som produceras kan utnyttjas i andra verksamheter, t.ex. i FoRMA-studien som exempel på PE-system.

Resultatet av forskningsverksamheten kommer också Försvarmakten till godo genom att den kunskapsuppbyggnad om autonoma system som sker kan utnyttjas för kommande studier. Framtagna autonoma styrprinciper kan i ett längre perspektiv komma till nytta i framtida svenska vapensystem, men utgör också en viktig grund för internationella kontakter inom området autonomitet.

Arbetet med simuleringsverktyg ger också resultat i form av robotsimuleringsmoduler som kan, liksom spelkorten, utnyttjas av andra studier.

Försöksplattformen, som utvecklas i samarbete med flera projekt på Institutionen för Flyg och Autonoma system, kan bli ett värdefullt verktyg för forskningen på andra institutioner och avdelningar inom FOI.

1.4 Deltagare

I projektet deltar följande personer:

Peter Alvå, Flyg och Autonoma System (Projektledare)
Antonios Fokas, Flyg och Autonoma System (Bitr. projektledare)
Birgitta Stridh, Flyg och Autonoma System (Sekreterare)
Folke Andersson, Flyg och Autonoma System
Åke Arvidsson, Flyg och Autonoma System
Lars Forssell, Flyg och Autonoma System
Leif Hagstedt, Flyg och Autonoma System
Johan Hamberg, Flyg och Autonoma System
Anders Lennartsson, Flyg och Autonoma System
Erik Marits, Flyg och Autonoma System
Daniel Skoogh, Flyg och Autonoma System
Dag Wallström, Flyg och Autonoma System
Andreas Alm, Flyg och Autonoma System (Examensarbetare)
Daniel Martin, Flyg och Autonoma System (Examensarbetare)

Martin Eklöf, Systemmodellering
Johan Pelo, Systemmodellering
Jenny Ulriksson, Systemmodellering
Martin Jerbryd, Systemmodellering (Examensarbetare)

Johan Schubert, Data- och Informationsfusion
Åke Wernersson, Data- och Informationsfusion

Ove Steinvall, Lasersystem
Staffan Gadd, Radarsensorer

2 Tidigare arbete

Forskning på autonoma styrprinciper med inriktning mot samverkande robotsystem startade 1995-07-01. Under hösten 1995 genomfördes en förstudie för att klargöra kunskapsläget och inriktningen för den fortsatta verksamheten [1]. Arbetet delades därefter upp i två huvuddelar, studier av nya styrprinciper för samverkande robotar samt studier av systemaspekter för fiberoptiskt styrda robotar.

Några resultat av det tidigare arbetet presenteras nedan, resultat som utnyttjas i nuvarande projekt.

2.1 Systemstudier av fiberoptiskt styrda robotar

Under 1996-1997 utfördes en systemstudie av ett fiberoptiskt styrt robotkoncept, där systemets informationsbehov, insatsmöjligheter, taktiskt uppträdande, överlevnad, operatörens roll m.m. belystes [2]. Framför allt betonades effekten av samverkan mellan de ingående robotarna.

Under 1998-1999 fortsatte vi med en fördjupad systemstudie av robotkonceptet, där målsökarens egenskaper och operatörens roll vid samverkan ägnades stort intresse [3].

Några slutsatser från dessa studier:

Fördelar med ett fiberoptiskt robotsystem

- Störsäkert
Den fiberoptiska länken är i praktiken omöjlig att upptäcka och att störa ut.
- Operatörskontroll
Den optiska fibern kan överföra sensordata till vapenplattformen och styrkommandon till roboten, vilket ger skytten en möjlighet att påverka styrningen utan att ha fri sikt till målet och över en lång räckvidd. Möjligheterna till målidentifiering är goda, liksom möjligheterna att vid behov i sista stund avbryta en inledd bekämpning. Möjligheterna till val av träffpunkt och därigenom graderad verkan är goda.
- Informationsutbyte - samverkan
Informationen från flera robotars sensorer överförs till samma vapenplattform och styr dator. Robotanfallet kan därmed samordnas och bli effektivare.
- Spaningseffekt
Robotarnas målsökare kan under anflygning och anfall täcka in ett mycket stort område, vilket kan ge värdefull underrättelseinformation för andra vapeninsatser.
- Träffutvärdering
Sista bilden från robotens målsökare innan den träffar sitt mål kan användas för att bedöma utfallet av insatsen. En efterföljande robots målsökare kan också användas för träffutvärdering.

Begränsningar med en fiberoptisk länk

- Begränsad flyghastighet
Fibers draghållfasthet och dagens hasplingsteknik gör att robotens flyghastighet begränsas till strax under ljudhastigheten, 340 m/s.
- Risk för fiberavbrott
Om den optiska fibern skadas förloras kontakten med roboten, och operatören har inte längre någon möjlighet att påverka styrningen.

Fiberoptiskt styrda robotar förefaller att vara mycket väl lämpade för insatser på det fragmenterade slagfältet, där egna, fientliga och civila enheter förekommer uppblandade med varandra.

Robotsystemet kompletterar många av dagens system. Fiberoptiskt styrda robotar är *inte*:

- någon utpräglad luftvärnsrobot, men är kanske det bästa system som finns för att bekämpa helikoptrar, även från ubåt. Andra lämpliga mål kan vara UAVer.
- något utpräglat artillerisystem, men det bedöms ha mycket bättre förmåga att bekämpa punktmål än dagens system, även på långa avstånd.
- någon utpräglad sjömålsrobot, men har troligen god verkan mot små och medelstora sjö-mål.
- någon utpräglad pv-robot, men kan förmodligen bekämpa alla typer av stridsfordon, inklusive stridsvagn, på helt andra avstånd än dagens system.

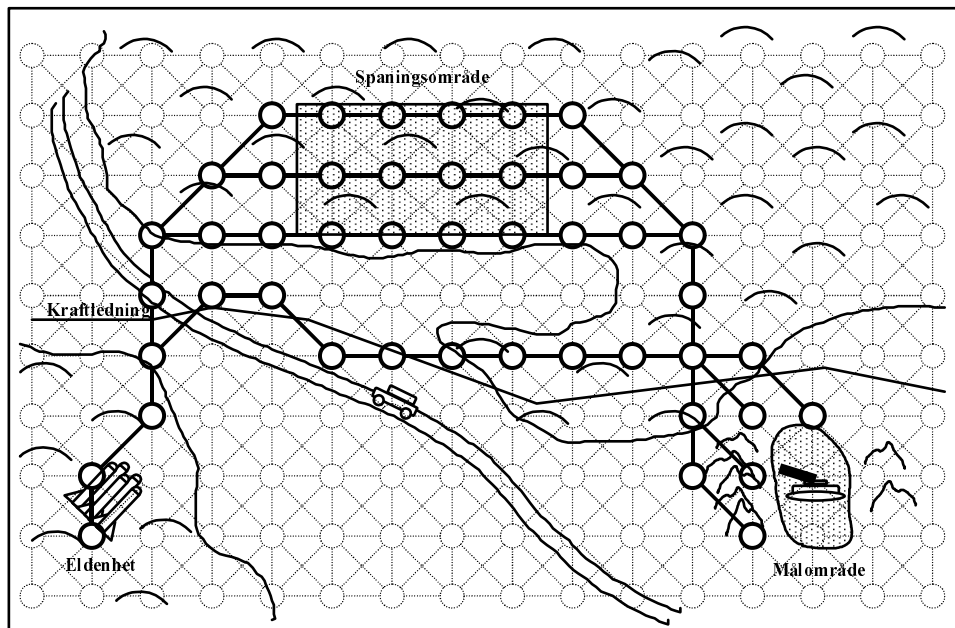
Systemet torde passa särskilt bra vid internationella operationer på grund av att en operatör har tillgång till målsökarbilden och kan vid behov själv styra roboten till önskad träffpunkt, alternativt avbryta uppdraget.

2.2 Banoptimering för multipla robotar

När ett beslut om vapeninsats har tagits inleds den första fasen i anfallet, planering av uppdraget. Med utgångspunkt från tillgängligt underrättelseunderlag beräknar datorsystemet var målet/målen sannolikt kommer att befinna sig vid vald eller möjlig anfallstidpunkt. Därefter föreslås lämpliga robotbanor, med hänsyn till systemprestanda, terräng, egna förband, fientlig motverkan, behov av kompletterande underrättelser, taktik i målområdet m.m. Operatören godkänner sedan uppdragsplaneringen och avfyrrar robotarna.

Robotarna följer de planerade banorna mot målområdet. Under anflygningen kan dock förutsättningarna för uppdraget komma att förändras. Ny underrättelseinformation alternativt förlust av en robot under anflygningen, på grund av bekämpning eller fiberavbrott, kan komma att kräva en förändrad anfallsstrategi och därmed innebära att robotarna kan behöva ändra sitt uppträdande.

En metod att beräkna optimala banor för multipla robotar har föreslagits i [4]. Ett nätverk läggs över kartan, där varje nod i nätverket representerar en position och varje båge, d.v.s. förbindelse mellan två noder, representerar en "kostnad" att förflytta sig från en position till en annan. Ju högre kostnad en båge har desto högre risk är det för en robot att färdas denna väg. Målet är att hitta de banor som ger lägst kostnad när man summerar bågkostnaderna som tillhör dessa banor.



Figur 2.1 Nätverk för optimal vägplanering - "Billigaste" vägarna markerade

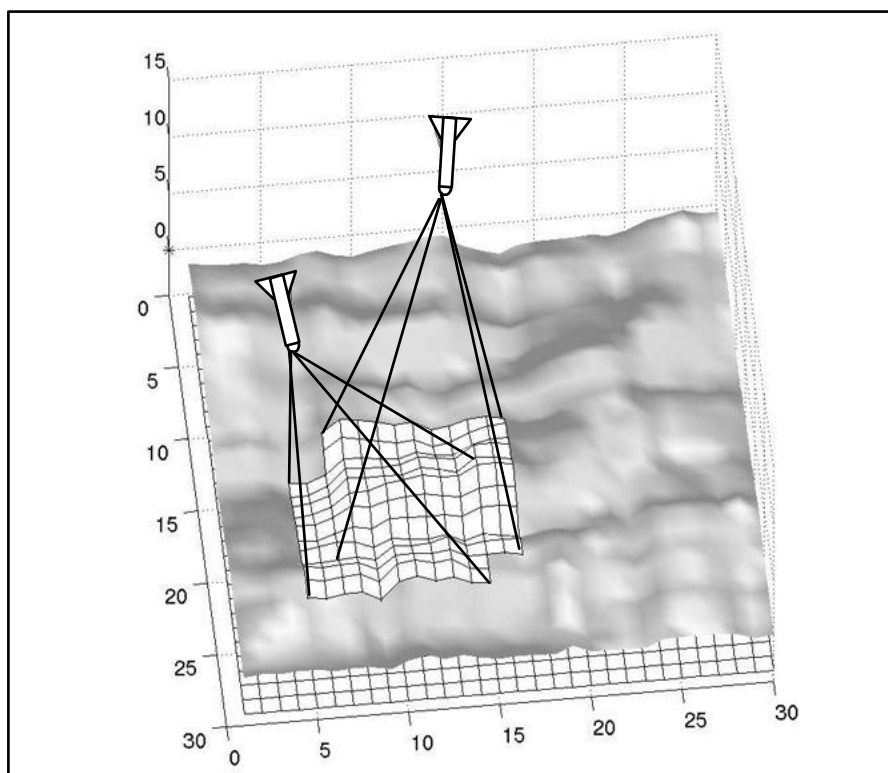
Den föreslagna metoden utnyttjar dynamisk programmering för att lösa optimeringsproblemet. För att förkorta beräkningstiden sker banplaneringen i flera steg. Först görs en grov planering med låg upplösning där man finner de optimala banorna i form av bredare "korridorer". Sedan förfinas upplösningen i dessa "korridorer" och mer exakta banor beräknas för varje robot. Algoritmerna kan också hantera omplanering av robotbanorna om förutsättningarna för uppdraget ändras under anflygningen.

En viktig forskningsuppgift är att definiera "kostnaderna" i nätverket utifrån de aktuella förutsättningarna, "kostnader" som i många fall förändras med tiden. Detta har emellertid ännu inte studerats närmare i projektet.

2.3 Sensordatafusion

Den fiberoptiska länken mellan robot och utskjutningsplattform gör det möjligt att överföra målsökarinformation direkt till den markbaserade styrdatoren, och i denna utföra all bildbehandling. Eftersom flera robotar samtidigt kan styras från samma dator har vi också en möjlighet att väga samman information från två eller flera målsökare för att få en säkrare målidentifiering.

Problemet med sensordatafusion av två robotars målsökarinformation har behandlats i [5]. Vi betraktar problemet när två robotar samtidigt riktar sina målsökare mot samma område.



Figur 2.2 Två robotar betraktar samma målområde

Informationen från robotarnas målsökare behandlas först var för sig. Denna bildbehandling ger oss målangivelser i form av position och egenskaper, samt ett mått på osäkerheten i angivelserna. Datorsystemets terrängdatabas i kombination med positionsdata från robotarnas navigeringssystem används för att förbättra noggrannheten i analysen.

Måldata från de två målsökarna vägs sedan samman för att ge en större tålighet mot falska mål och klotter, samt en bättre positionsangivelse. Det är viktigt att robotarnas position är känd med stor noggrannhet för att man skall veta att man betraktar samma område och samma mål.

Studien visade på en metod att sammanväga målangivelser från två målsökare. I ett par scenarier beräknades informationsvinsten med sensordatafusion jämfört med att låta två robotar var för sig avsöka samma område. Sensordatafusion visade sig ge bättre noggrannhet i målpositionering och målidentifiering, samt gjorde det lättare att finna mål som utnyttjade terrängmask. Priset för detta var en betydligt lägre avsökningskapacitet, samt krav på större beräkningskapacitet.

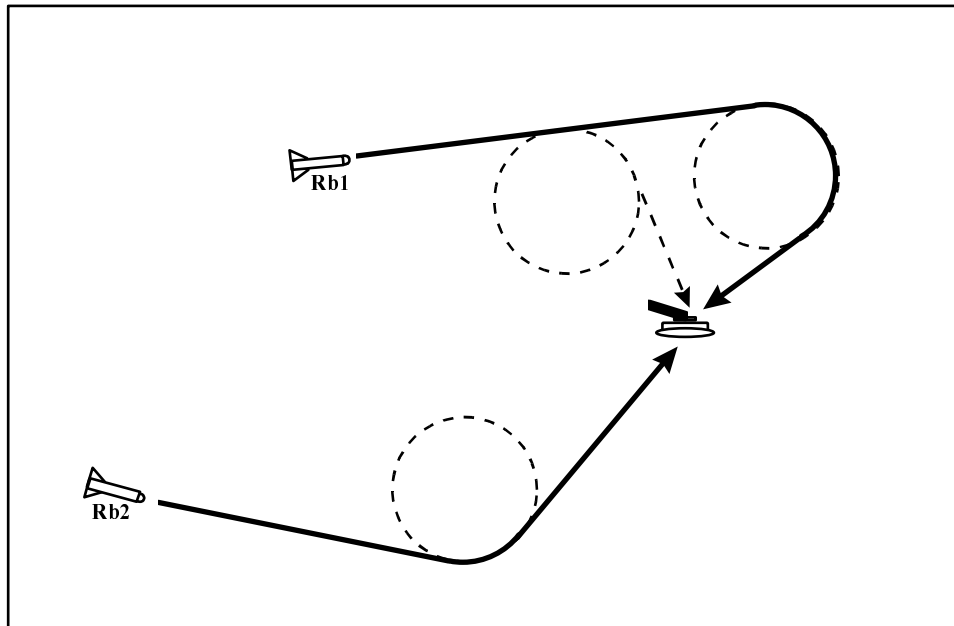
2.4 Planering av robotbanor för synkronisering i målområdet

En viktig taktisk fördel med ett fiberoptiskt robotsystem är möjligheten till insats trots osäker målinformation vid utskjutningstillfället. Robotbanorna planeras då utifrån en trolig målfördelning i målområdet. När sedan målinformation erhålls från de första robotarnas målsökare kan en omplanering bli nödvändig.

Ett viktigt kriterium vid vägvalet i slutfasen syns vara att robotarna skall anlända samtidigt för att uppnå överraskning och mättnad i fiendens försvarssystem. De skall också anlända i målområdet från rätt håll, så att de på bästa sätt skall kunna bekämpa de utvalda målen. Genom

att lösa detta slutfasproblem för flera robotar och samtidigt utnyttja den senaste observationen av aktuell måltyp och dess omgivning, kan man bestämma vilka robotar som bäst kan bekämpa varje inmätt mål.

Vi tittar på ett enkelt fall, där vi vill uppfylla samtidighetskriteriet för två robotar. Små justeringar av ankomsttiden kan åstadkommas med hjälp av hastighetsreglering. Den eller de robotar som har längst väg kvar ökar helt enkelt hastigheten så att de anländer samtidigt som de robotar som befinner sig närmast. Om vägskillnaden mellan robotarna är större måste emellertid även robotbanorna modifieras. De närmaste robotarna får ta en längre väg mot målet.



Figur 2.3 Rb1 förlänger sin bana för att nå fram till målområdet samtidigt som Rb2

I Figur 2.3 ser vi hur banan för den närmaste roboten kan förlängas, så att vägen till målområdet blir lika lång som för den robot som befinner sig längst ifrån. Vägvalet begränsas framför allt av robotarnas manöverförmåga, de kan inte utnyttja en godtyckligt liten svängradie.

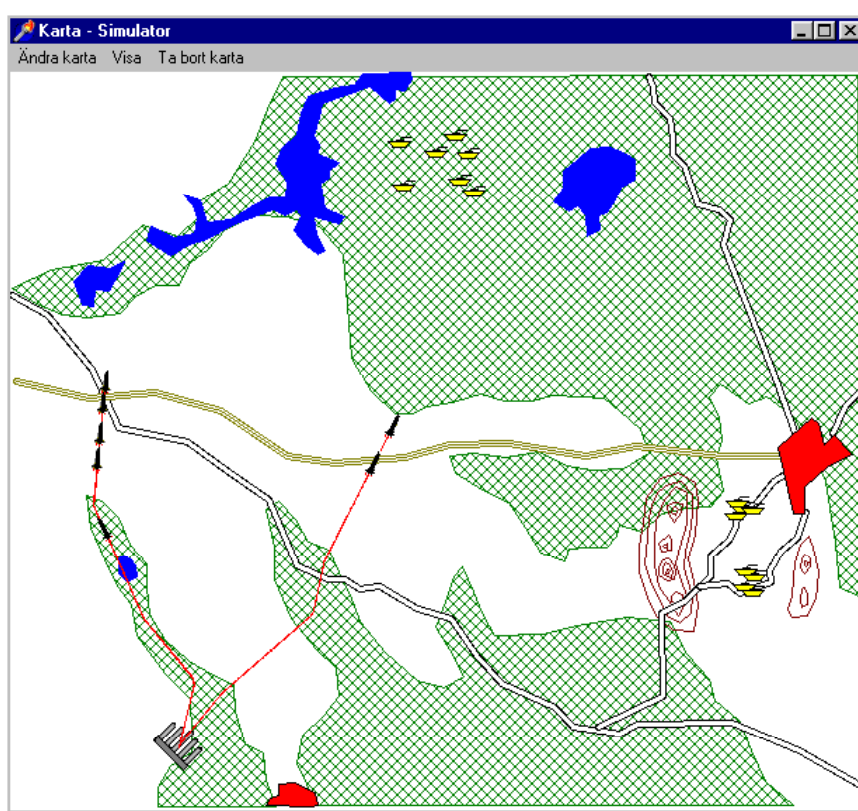
Målet med denna del av forskningen är att få fram algoritmer för vägval i slutfasen för att erhålla synkronisering i målområdet. En jämförelse med ett osynkroniserat robotanfall skall visa hur mycket prestanda hos robotsystemet kan förbättras med samverkan mellan de ingående robotarna.

2.5 Simuleringsmiljö för samverkande robotar - ROSA

Arbetet i projektet har resulterat i ett antal nya styrprinciper för samordning av ett robotanfall. Som ett hjälpmedel för att utvärdera dessa styrprinciper har vi också utvecklat simuleringsmiljön ROSA (ROBotSAMverkan) [6, 7]. Simuleringsmiljön består av två delar, en simulator och en styrdator. Ett enkelt terränggenereringsprogram ingår också. Programpaketet är anpassat för Windows-miljö. Realtidskärnan i operativsystemet utnyttjas för att åstadkomma exekvering av parallella processer. Programmen har utvecklats med hjälp av Delphi 5, med Object Pascal, ett kraftfullt verktyg för Windows-tillämpningar.

De båda programmen utbyter data via en kommunikationskanal, en kanal som simulerar de fiberoptiska trådarna i robotsystemet. Simulatorens tar emot styrsignaler från styrsystemet, beräknar robotarnas uppträdande och producerar sensordata som skickas tillbaka till styrdatoren. Simulatorens uppdaterar också omvärldsmodellen där robotarna agerar, till exempel målens uppträdande. I styrdatoren bearbetas de simulerade sensordata som erhålls från simulatorprogrammet och utnyttjas som indata till de algoritmer för samordnad styrning som skall utvärderas. Dessa algoritmer producerar nya styrsignaler som skickas tillbaka till de simulerade robotarna.

Programpaketet ROSA används också för att demonstrera möjligheterna med ett fiberoptiskt styrt robotsystem och andra robotsystem med samverkande robotar. Därför innehåller det också ett kraftfullt grafiskt presentationssystem som ger en överskådlig bild av ett simulerat robotanfall.



Figur 2.4 Terrängkarta med robotar och mål

3 Systemstudie trådlöst kommunicerande robotar

Under 2000 och 2001 genomfördes systemstudier avseende samverkande robotar, som utbyter information via en trådlös kommunikationslänk [8, 9]. Upplägget och resultatet från dessa studier presenteras kortfattat nedan.

Under hösten 2002 kommer vi att gå vidare med en ytterligare fördjupad studie av liknande robotkoncept. Ett förslag till inriktning av den fördjupade studien presenteras.

3.1 Spelkort

I systemstudierna har följande tre spelkort tagits fram. En utförligare beskrivning av dessa finns i [9].

Bärrobotsystemet "TAURUS Transporter"

Som bärrobot har här en utvecklad variant av TAURUS-systemet (KEPD 350) kommit till användning, benämnd TAURUS Transporter, med ett lastalternativ bestående av åtta stycken subrobotar av typ EURAAS. Systemkombinationen kan utnyttjas för insats mot såväl fordon som fartygsmål samt RF-emitterande måltyp, t.ex. spanings- eller eldledningsradar.

TAURUS Transporter målsökarsystem utgörs av en IR-målsökare integrerad med en laserradar, där de två funktionerna utnyttjar en gemensam apertur. För samband med omvärlden utnyttjas huvudsakligen ett speciellt laserlänksystem och som reservalternativ en RF-länk när den optiska länkens prestanda begränsas av nedsatt sikt.

Laserlänksystemet medger frisiktskommunikation och ett ömsesidigt informationsutbyte med såväl mycket hög bandbredd som hög länksäkerhet och utgående från siktstatistik oftast med en god tillgänglighet.

Subrobotsystemet "EURAAS"

EURAAS (EUROpean Autonomous Attack System) är ett turbojetmotordrivet subrobotsystem vilket försetts med ett målsökarsystem av laserradartyp som med hjälp av en avancerad målsökaralgoritm, i kombination med ett medfört målbibliotek, vid bekämpningstillfället väljer en måltypsrelaterad stridsdelsmod. För att roboten även skall kunna komma till användning mot emitterande RF-mål har målsökaren försetts med integrerad anordning vars mottagaranter utgörs av alternativt:

- Farkostintegrerade konforma antenner.
- Tre kring målsökaraperturen, med 120° inbördes vinkelförskjutning, framåtriktade antennspröt för fasjämförande inmätning av inkommande RF-signaler, jfr RAM (Rolling Airframe Missile).
- Ett "fraktalt antennsystem" med möjlighet till fasjämförande inmätning inom ett brett frekvensområde.

EURAAAS utnyttjar också ett laserlänksystem, kompatibelt med TAURUS Transporter, för samband sinsemellan och med omvärlden.

Upp till åtta stycken EURAAAS kan bäras av en TAURUS Transporter.

SpaningsUAV-systemet "CASTOR"

CASTOR är en kolvmotordriven spaningsUAV som baseras på en tänkbar vidareutveckling och anpassning av UAV-systemet "SEASCAN A/B" [10].

Plattformen är försedd med laserlänk och RF-länk för samband med markstation och med omvärlden. Länkarna är kompatibla med TAURUS Transporter och EURAAAS.

CASTOR-systemet är i första hand avsett som ett enskilt uppträdande spaningsUAV-system men kan vid behov även samverka med en eller flera identiska UAV-individer, i svärm eller flock för att lösa spaningsuppgifter över hav eller mot mål i underliggande terräng. Laserlänken medger även att CASTOR kan ingå som en icke stridsdelsbärande flockmedlem tillsammans med länkbärande EURAAAS-robotar

3.2 Scenario

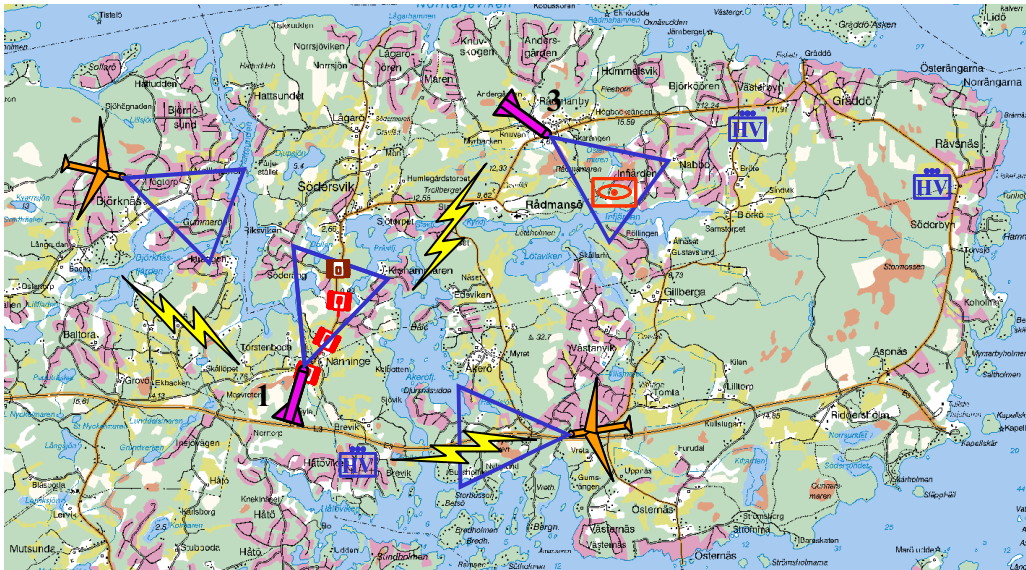
De ovan beskrivna spelkortet har utnyttjats i ett scenario, där vi vill göra en insats mot en mekaniserad fiende som tidigare har landstigit i Kapellskär. Scenariot är en vidareutveckling av ett scenario som har utnyttjats i FOI-projektet FoRMA för att studera framtida ledningssystem på bataljonsnivå inom ramen för NBF (Nätverksbaserat försvar), [11].

Fientliga styrkor landstiger överraskande i Kapellskär och landar på Arlanda med hjälp av "Trojanska hästar", d.v.s. civila fartyg respektive flygplan har utnyttjats för att dölja trupptransporten. Strax efteråt luftlandsätts även en fientlig styrka i Skepptuna, samtidigt som attackhelikoptrar landar i Tierp.

För att hejda fiendens framryckning från Kapellskär mot Norrtälje görs en insats med markrobotar, fyra Taurus Transporter med vardera åtta EURAAAS, med uppgift att i första hand slå mot fiendens artilleri, luftvärn och stridsvagnar. Insatsbeslutet baseras på spaningsunderlag från UAV-systemet CASTOR.

Bärrobotarna avsöndrar sina subrobotar strax utanför målområdet. Därefter utnyttjas deras sensorer för målsökning över området. Robotarna fungerar i detta läge i princip som "engångs-UAVer". Målsökningsbanor har beräknats vid uppdragsplaneringen med utgångspunkt från den lägesbild som tidigare erhållits med UAV-spaningen. Avsikten är att tillsammans med de spaningsUAVer som fortfarande är operativa i området uppdatera och förmedla lägesbilden till subrobotarna innan de når in i målområdet, för att kraftigt reducera sökområdet för dessa.

Under målsökningsfasen överförs sensorinformationen kontinuerligt mellan bärrobotar och UAV via laserkommunikationslänkarna, så att samtliga plattformar har tillgång till den samlade lägesbilden. Så fort subrobotarna befinner sig inom kommunikationslänkens räckvidd överförs lägesbilden även till dessa.



Figur 3.1 Målsökning - utbyte av sensorinformation.

När subrobotarna anländer till målområdet har bärrobotarna hunnit uppdatera hela lägesbilden. Ett stort antal mål har identifierats och tilldelats en prioritetsordning. Robotsystemet gör nu en preliminär målfördelning mellan subrobotarna, där hänsyn tas till värdet av varje mål och sannolikheten för de individuella robotarnas förmåga att slå ut målet. Målfördelningen måste också ta hänsyn till robotarnas möjlighet att samverka för att slutligen identifiera och mäta in respektive mål.



Figur 3.2 Målfördelning mellan grupper av subrobotar.

3.3 Resultat från tidigare studier

Studierna beskriver ett långgräckviddigt robotsystem med möjlighet till kommunikation och samverkan mellan de ingående robotarna och med övriga delar av ledningssystemet. I ett scenario belyses några taktiska fördelar med ett samordnat robotanfall mot rörliga markmål, där insatsen också samordnas med ett antal UAVer under målsökningsfasen.

Ett problem vid insats med långgräckviddiga robotar mot rörliga mål är att de aktuella målen hinner förflytta sig över ett stort område under tiden från insatsbeslut till leverans av verkansdel. Med ett samverkande robotsystem löses detta genom att flera robotar samordnar målsökningen och därmed kan täcka ett stort målområde på kort tid. Robotarnas kommunikationslänkar kan också utnyttjas för att ta emot mållägesinformation från andra källor, t.ex. UAVer eller målutpekare på marken. På så sätt kan systemet fortlöpande förses med uppdaterad målinformation för att därmed väsentligt öka precisionen.

Ett samverkande robotsystem kan också, tack vare möjligheten till informationsutbyte, utföra en effektiv målfördelning sinsemellan för att uppnå en optimal effekt av robotinsatsen.

Den totala informationen från robotarnas målsökare kan också fortlöpande förmedlas till ledningssystemet, som kan utnyttja informationen för träffutvärdering och som underlag till förnyad vapeninsats.

Ett samverkande robotsystem torde vara ett effektivt vapen mot rörliga mål på det framtida slagfältet, speciellt om robotarna kan kommunicera med ledningssystemet under hela anfallstiden. Förhållandet pris/prestanda jämfört med alternativa vapensystem behöver dock ytterligare utredas.

3.4 Inriktning av höstens studie

Årets systemstudie föreslås fortsätta samma grundscenario som tidigare års studie, det ovan beskrivna Roslagen-scenariot. Motivet till detta är att dels slippa lägga stora resurser på att ta fram ett helt nytt scenario, dels har tidigare studier pekat på flera aspekter av samverkan mellan robotar och med ledningssystemet i scenariot som ännu inte har fördjupats.

En av dessa aspekter som kommer att få en djupare analys i årets studie är försvar mot samverkande robotar. Vilka åtgärder kan fienden i scenariot tänkas vidta för att skydda sig mot de inkommande robotarna? Som en följd av denna analys kommer vi också att beröra hur robotsystemet kan kompensera för dessa motåtgärder, och därmed föra resonemanget kring duellen medel-motmedel ett steg vidare.

Studien föreslås också ta fram ett par nya spelkort, framför allt är det intressant att se på möjligheterna att utnyttja en UCAV som leverantör av EURAAS-robotarna. Ett sådant koncept torde innebära nya möjligheter till samverkan med ledningssystemet i ett framtida nätverksbaserat försvar.

Studien kommer också att göra en inventering av pågående forskning inom autonoma system, för att kartlägga vilka tekniker som tillämpas på samverkande robotar och liknande system.

3.5 Simuleringsstöd

Systemstudien kommer att utnyttja simuleringsverktyget FLAMES för att belysa valda delar av scenariot. Simuleringarna skall på ett illustrativt sätt belysa effekten av samverkan i olika typsituationer. De skall också kunna utnyttjas i analysen av scenariot för att ge ny kunskap om

möjligheter och begränsningar hos samverkande robotar. Simuleringsmiljön beskrivs utförligare i kapitel 6.

4 Styrning för maximal information

4.1 Decentraliserad styrning av samverkande robotar med hjälp av Reinforcement Learning.

Backgrundscenario: Ett robotsystem bestående av flera autonoma och kommunicerande robotar används i ett uppdrag för att söka, lokalisera och bekämpa rörliga mål i ett målområde.

Målområdets innehåll och sammansättning av hot och mål anges initialt med hjälp av en sannolikhetsfördelning. Vid ankomsten gäller att robotarna med hjälp av sina sensorer och lokal kommunikation genomsöka området så snabbt som möjligt.

Det forskningen fokuserar på är att ta fram nya, alternativt vidareutveckla befintliga styralgoritmer inom Multiagent Reinforcement Learning, för optimal (effektiv) avsökning och neutralisering av målen i målområdet. Det innebär att robotarna samordnar sina rörelser dynamiskt så att den totala avsökningstiden blir så kort som möjligt.

Samverkan definierar vi härmed att vara det beteende som uppkommer genom lösning av ett optimeringsproblem.

4.2 Centraliserad styrning

Vi har tidigare studerat samverkan för avsökningsproblemet med ett centraliserat robotsystem[12]. Lösningen baserades på en central databas som uppdaterades med information från robotarna i målområdet, en s.k. entropikarta. Entropikarta uttrycker den kvarvarande osäkerheten i målområdet och uppdateras inkrementellt med hjälp av Bayes teorem i takt med att robotarna avsöker målområdet.

Maximering av en s.k. "informationsvinst per episod" definierad som minskning av osäkerheten (entropi) på grund av observationer ledde till framtagning av ett styrsystem med nära optimal prestanda. Denna centraliserade systemlösning ställer dock orealistiska krav på kommunikationen mellan agenterna och den centrala styrenheten. Systemet är också kritiskt beroende av centralenhetens tillgänglighet.

4.3 Decentraliserad styrning

Problemet vi har nu studerat är en utveckling av ett decentraliserat styrsystem där varje agent väljer sin sökväg autonomt vars beslutsfattande grundar sig på information från egna observationer och sporadisk kommunikation med de övriga i gruppen.

Varje robot tolkar omvärldskartan ur sitt eget lokala perspektiv samt håller reda på de övriga robotarnas lägesställning.

Agenterna designas att vara identiskt lika dvs. de har samma policy, mål och handlingsreper-toar. Att agenterna kan i varje ögonblick fatta olika beslut beror på att deras sensorinforma-tion återger olika delar av omvärlden från respektive agentcentrerad position.

Fördelen med att ha samma policy är att varje agent kan prediktera de andra agenternas hand-lingar och avsikter utifrån sin egen policy och ett estimat av deras positioner. Inläringen av policyn förenklas dessutom avsevärt, eftersom varje agent bidrar med sina erfarenheter under träningen.

Inlärningsförfarandet liknar det som i ett singelagentsystem utom i det avseendet att om-världskartan utökas nu med information om de andra robotarnas position. Den utökande omvärldskartan kodas till en diskret agentcentrerad bild av omvärlden med bestämt antal element oavsett antal agenter.

Policyfunktionens komplexitet blir naturligtvis större än för singelagent men växer linjärt med antalet robotar i gruppen pga. systemets förmåga att generalisera.

Detta system kommer att ha det centraliserade systemets prestanda som övre gräns och varie-rar nedåt beroende på graden av informationsutbyte mellan agenterna vilket tillåts att vara sporadiskt och med lågt bandbredd.

Den största fördelen med decentraliseringen är främst robustheten i prestanda och "graceful degradation" mot systemfel och störningar.

Eftersom arbetsfördelningen sker dynamiskt och i realtid kan mindre systemfel tolereras utan att de för den skull behöva leda till systemhaveri. Systemet kan genom omfördelning av de befintliga resurserna fortsätta att fungera, om än med degraderad prestanda. T.ex. vid bortfall av några robotar under ett uppdrag övertas automatiskt det uteblivna arbetet av de kvarva-rande robotarna i gruppen.

Systemet är även robust mot försämrad kommunikation. Robotarna övergår då gradvis från att ha utnyttjat "global information" för samverkande styrning till mera lokalt baserad styrning. Vid t.ex. bortfall av kommunikation fortsätter systemet att fungera dock som en samling av oberoende aktörer. Varje robot agerar som om den vore ensam aktör i uppdraget och betraktar de övrigas effekt på omvärlden som brus.

4.4 Distribuerad optimering genom parametersökning i policyrummet

Matematiskt kan samverkan formuleras som ett multiagent banoptimeringsproblem tillämpat på en diskretiserad karta av målområdet. Uppgiften är alltså att finna en återkopplad styrlag (policy) som styr varje robot i banor som maximerar den sammanlagda inhämtade informa-tionen från målområdet.

Allmänt kan Reinforcement Learning användas för att beräkna en policy hos en agent som maximerar en för uppgiften uppsatt objektfunktion som i vårt fall är att maximera inhämtad information från målområdet på kortast tid. Ett nödvändigt mellansteg i metoden är framtag-ning av en s.k. värdefunktion som i varje tillstånd anger en förväntad kostnad för agenten att nå sitt mål givet att den följer en bestämd policy. Slutmålet för agenten i vårt fall är att nå ett tillstånd hos omvärlden där hela området är genomsoekt.

Direkt tillämpning av den klassiska Reinforcement Learning på multiagentfallet skulle kräva en global värdefunktion som värderar hela gruppens policy som funktion av alla agents tillstånds- och handlingsvektor. Problemet är att insignalvektorns dimension skulle variera med antal agenter i gruppen.

Ett rimligt alternativ till den globala värdefunktionen är en Monte Carlo baserad metod GPOMDP (Gradient Partially Observable Markov Decision Process) [13]. Varje agent, under inlärningsfasen estimerar gradienten av objektfunktionen med avseende på sina lokala policyparametrar med hjälp av insamlad data från varje träningsepisod. Agenten uppdaterar sedan sina policyparametrar i gradientens riktning vilket inkrementellt leder till objektfunktionens lokala maximum.

Resultatet blir en distribuerad optimering över flera mindre komplexa instanser, dvs. en för varje agent. Vinsten är snabbare inläring och skalbarhet.

Eftersom agenterna delar på samma policyfunktion men har olika erfarenheter av omvärlden kommer uppdateringarna att resultera till en generaliserad policy. Den färdigtränade policyn kan sedan laddas ned hos varje enskild agent i en grupp med varierande storlek. Gruppstorleken kan under ett uppdrag variera dynamiskt på grund av bortfall eller avbrott i kommunikationen.

Agenternas policyfunktion är i form av ett neuronnät där vikternas värden är policyfunktionens parametrar. Den uppkomna policyn efter optimeringen definierar agenternas ”samverkande” beteende.

Resultatet av våra experiment med två agenter i ett simulerat sökuppslag visar att agenterna under perfekt kommunikation klarar uppgiften på ca 70 % av tiden än vad en ensam optimal agent skulle ha behövt.

GPOMDP algoritmen visade att den kan finna nästan optimala policyfunktioner och att dess komplexitet (CPU tiden) växer linjärt med problem storleken (kartstorleken). Den långsamma konvergensen som vi erfarit när vi skalade upp problemet och vissa stabilitets problem kan dock förbättras enligt förslag i utgiven rapport och är föremål för fortsatt arbete.

4.5 Fortsatt arbete

4.5.1 Regulator med flera abstraktionsnivåer

Ett vanligt problem för alla metoder för styrning av stora (komplexa) system är antalet möjliga situationer och handlingar som regulatorn behöver lära, lagra och interpolera emellan.

Ett sätt att begränsa komplexiteten är att organisera styrsystemet som en flerlagerstidhierarki. Varje lager kan därmed designas så att det får en begränsad komplexitetsgrad.

Lagren högre upp i hierarkin representerar abstrakta situationer (abstrakta tillstånd) eller handlingar (makro) som verkar på större tidsrymd än de i lagren under. Tidsskalan i det lägsta lagret motsvarar systemets minsta tidsupplösning.

Det finns ett antal papper som beskriver hur reinforcement learning kan modifieras i denna riktning med bibehållen teoretisk grund när det gäller optimalitet och stabilitet, se t.ex. [14].

4.5.2 Kommunikation mellan agenter

Generellt kan kommunikation i ett multiagentsystem betraktas som processen som leder till att minska osäkerheten i samband med beslutsfattande.

Sett ur ett Reinforcement Learnings perspektiv kan sändning av ett meddelande betraktas som en aktiv handling bland de övriga handlingsalternativen att indirekt påverka omvärlden via

sina lagkamrater. Analogt kan mottagandet av information från andra i laget betraktas som en extra "virtuell" lokal sensor.

Varje agents avsikt är att påverka omvärlden i en riktning som maximerar lagets totala summa av erhållna belöningar. När, vad och hur ofta man kommunicerar blir på det sättet styrparametrar som agenterna lär sig genom träning och i samspel med varandra. Beslut om att sända en observation till de övriga medlemmarna kommer att bero på graden av förväntad förbättring som utsändningen kan åstadkomma för gruppen för att nå sitt mål.

4.6 Relevant arbete

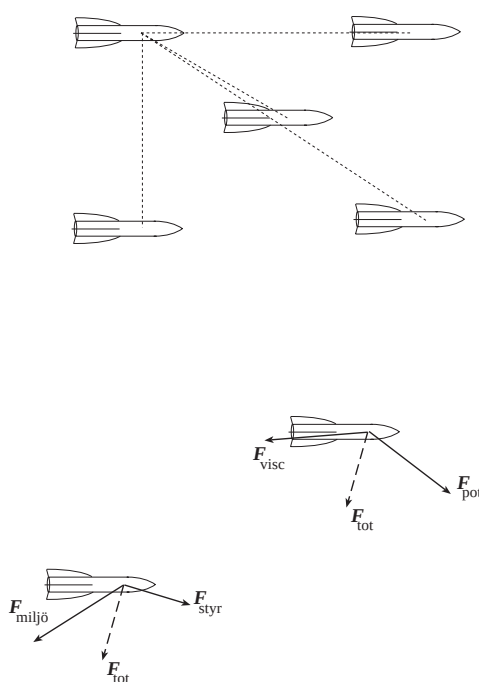
Metoden "parametersökning i policyrummet" liknar till sin struktur en tidig "actor-critic" algoritm som består av två separata funktioner, en "critic" (värdefunktion) som värderar den aktuella policyn och en "actor" (policy) som genererar styrsignaler. Fördelen med denna uppdelning är att policyfunktion kan konvergera till ett lokalt minimum trots onoggrann skattning av värdefunktionen. Detta beror på att värdefunktionen endast behöver värdera de tillstånd som är direkt kopplade till styrsignalmängden vilket oftast är betydlig färre än tillståndsmängden.

I Baxter m.fl. [13] presenteras en "direkt gradientbaserad RL" algoritm där det visas att värdefunktionen inte behöver skattas noggrannare än den man får ur data från en enda singel trajektorisk samplad ur den underliggande Markov kedjan.

Peshkins m.fl. [15] använder "RL med parametersökning i policyrummet" för att undersöka problemet för samarbete i ett multiagentsystem. Alla agenter får samma belöningsignal från en global utvärderingsfunktion, men har olika uppfattningar (lokala) om omvärldens globala tillstånd. Parametrarna hos varje agents policyfunktion optimeras genom "gradient descent". Peshkin visar bl.a. i sin rapport att sannolikhetsfördelningen av styrsignaler genererade från alla agenter separat är den samma som den som genereras från en centraliserad policy med vektoriell styrsignalvektor, vilket är en nödvändig förutsättning för distribuerad optimering.

5 Styrning av robotgrupper med potentialfält

Potentialfältsstyrning är ett nytt sätt att styra grupper av farkoster och bygger på en mycket enkel princip. Ställdonen (motorer, roder o.s.v.) sätts till sådana värden att den totala kraften (eller momentet) på den enskilda farkosten blir lika med kraften (momentet) beräknat med ett tänkt potentialkraftfält bestående av parkraftväxelverkan mellan farkosterna och ett yttre potentialkraftfält. Denna ”konservativa” kraft kan kompletteras med en viskös dämpningsterm för stabilitetens skull.



Figur 5.1 Ett robotsystem med den totala kraften uppdelad i verkliga och tänkta komponenter

I den är att utnyttja de välkända egenskaper som sådana system har, energibalans, rörelsemängds- och rörelsemängdsmomentbalans m.m. System av partiklar med parkrafter och parmoment är välkända från alla delar av fysiken, t.ex. celest mekanik och molekylodynamik.

Metoden har utvecklats av bland andra P. S. Krishnaprasad (U. Of Maryland) och N. E. Leonard (Princeton U.) som använt den till styrlagskonstruktion för samverkande satelliter respektive undervattensfarkoster. Kompletteringen med viskösa krafter och med yttre potential infördes förra året inom detta projekt och har under året också dykt upp ibland annat i arbeten från DARPA.

Ytterligare varianter kan tänkas, exempelvis magnetfältliknade växelverkan (föreslaget för UAV-styrning av Krishnaprasad under 2003) och klusterkonfigurationsberoende potentialer, d.v.s. icke-parkrafter. Med magnetfältliknade växelverkan blir kraften vinkelrät mot hastighetsvektorn på samma sätt som roderkrafter.

Metoden har ett antal egenskaper som gör den intressant för styrning av samverkande robot-system:

- enkelhet
- flexibilitet
- fungerar även vid bortfall av en enhet
- kan kombineras med andra tekniker
- matematiska metoder finns utvecklade för studiet av dess rörelseekvationer

I formler kan man uttrycka principen på följande sätt. Man föreskriver accelerationerna så att för varje robot (här: för enkelhets skull masspunkt) gäller att

$$m_A \ddot{\mathbf{r}}_A = - \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}_A} U(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N, t) - k_A \dot{\mathbf{r}}_A$$

$$U(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N, t) = \sum_{A < B} u(|\mathbf{r}_A - \mathbf{r}_B|) + \sum_A U_{ext}(\mathbf{r}_A, t)$$

Här låter man funktionen U_{ext} ha gropar i målområden, prioriterade vägar etc. samt toppar i områden som bör undvikas. Parpotentialen $u(r)$ innehåller flera delar:

- en repulsiv “kärna” som förhindrar kollision
- en långräckviddsdel håller ihop gruppen
- funktionen planar ut mot ett gränsvärde om gruppen skall kunna delas upp

Metoden har framgångsrikt simulerats både i två och tre rumsdimensioner och med ett varierande antal robotar. Ett exempel på dynamisk uppdatering av potentialerna beroende på tidigare rörelser har också studerats. Potentialberg byggs då upp i områden där robotarna har vistats mycket, varefter dessa områden undviks i fortsättningen. Detta skulle kunna användas för spaning.

Exempel på uppdrag som skulle kunna utföras med hjälp av potentialstyrning och dess varianter är formationsbildning, formationsflygning ruttplanering samt spaning. Troligtvis lämpar sig metoderna mindre väl för vissa andra typer av uppdrag och får då kompletteras med andra tekniker såsom exempelvis optimal styrning.

6 Simuleringar i FLAMES

Modelleringsverksamheten i projektet Samverkande Robotar har under 2002 varit inriktat på färdigställande av modeller för ett samverkande robotsystem. Implementeringen av modellen för missilsystemet görs i simuleringsramverket FLAMES [16]. Simuleringsramverket erbjuder en färdig arkitektur för merparten av de delar som bygger upp det samverkande robotsystemet, såsom sensorer, kommunikationslänkar, och plattformar.

Ett examensarbete [17] har under året genomförts i syfte att omarbета och förbättra den kognitiva modell för missilers beteende som tagits fram under tidigare examensarbeten [18]. Anpassade modeller för kringutrustning såsom kommunikationslänk och sensorer har tagits fram. Examensarbetet har också visat på ett antal viktiga aspekter för modelleringsarbetet:

- Ett samverkande robotsystem är ett mycket komplext system. Att ta fram en komplett och detaljerad datormodell förutsätter att samtliga delar av systemet är väl definierade, något som ej är möjligt för ett system som är tänkt att existera först om 10-15 år. Således har ett antal antaganden om systemets egenskaper fått göras.
- De antaganden som görs för missilsystemets grupp-beteende har stor inverkan på bedömningen av systemets egenskaper och prestanda. Detaljer som hur kommunikation sker, beslutsfattande, målfördelning och målidentifiering är av central betydelse.
- Val av strategier för prioritering av mål och målval är till stor del beroende av missilsystemets uppgift. Förhållandevis enkla strategier går att parametersätta, för att kunna varieras vid simuleringar, medan mer komplexa algoritmer för målval kan vara betydligt mer krävande att realisera.

Modellen av missilsystemet kommer att användas i den systemstudie som startat under hösten 2002. Utfallet från studien kommer att styra den fortsatta utvecklingen av modellen. Det finns för närvarande ett antal tänkbara inriktningar:

- Nätverks- och kommunikationsaspekter: Robotsystemet kan till viss del beskrivas som ett kringflygande ad-hoc nätverk, där robotindividerna sporadiskt upprättar förbindelser med varandra för informationsutbyte. Här finns ett antal frågor som kan vara av intresse att studera vidare, t.ex. möjlighet till utstörning, prediktering av beteende för individer som ej kan nås.
- Val av sensorer och målidentifiering. Modellen av det samverkande robotsystemet kan också ses som ett multisensorsystem, där möjligheten finns att inte bara väga samman sensordata, utan också låta sensorerna samverka för att effektivare klassificera mål och göra skadeutvärdering.
- Missilernas grupp-beteende samt metoder för vägval och avsökning är områden med stor forskningspotential. En omsättning av en del av de teorier som idag finns för dessa områden till konkreta modeller för missilsystemet kan komma att bli aktuell.

Utöver modelleringsarbetet i projektet bedrivs också ett antal parallella verksamheter som är av intresse att följa upp. Inom projektet Informationsfusion har ett arbete med att integrera ramverket med ett mer avancerat geografiskt informationssystem (GIS-system) bedrivits. Ett betydelsefullt resultat från detta arbete är att erhålla förutsättningar för en betydligt mer förfinad terrängmodell, som tillåter kategorisering av terräng i form av marktyper (så som öppet

fält, granskog, vägar etc.). Dessutom fås en topografisk modell med upplösning som bättre motsvarar de krav markscenarier ställer (till skillnad från de DTED 0 rasterdata med ca 750 meters upplösning som tidigare använts). Förutsättningarna för att modellera sensorer mer verklighetstroget kommer därmed att vara betydligt bättre.

Då flera FOI- projekt finns som också använder sig av FLAMES har en övergång till en PC-baserad miljö genomförts. Övergången förväntas underlätta en samordning av Flames-användandet inom FOI, och ge en mer flexibel och kostnadseffektiv lösning än den tidigare Silicon-Graphics plattformen.

Ur det arbete som bedrivits dels inom projektet samverkande robotar, kan ett antal erfarenheter sammanställas.

- Det finns tydliga fördelar med fördefinierade gränssnitt mellan delmodeller. Arbetet med modellutvecklingen kan förändras under arbetets gång, det är förhållandevis enkelt att till en början koncentrera arbetet på den modul som är central för frågeställningarna, t.ex. funktioner för att styra samverkan och målval. I ett senare skede kan modellen byggas ut efterhand med övrig utrustning så som sensorer, kommunikationslänkar mm.
- En övergång till PC-miljö har genomförts smidigt, något som kunde ha medfört en betydande arbetsinsats om inte leverantören av ramverket hade tillgodosett detta.
- Det utvecklingsarbete som har bedrivits i andra projekt, samt övergången till PC har visat på betydelsen av att ha goda relationer till leverantören av ramverktyget.
- De modeller som har tagits fram är utvecklade för att fungera endast i FLAMES-miljö. Modellen för missilens dynamiska egenskaper, baseras dock på en fristående modell. Integrering av en fristående och extern modell i Flames ställer betydligt högre krav på design och genomförande, än om modellen designas endast för Flames.

7 Försöksplattform för autonomt samverkande beteende

7.1 Bakgrund

Det har inom projektet beslutats att delta i framtagandet av en försöksplattform för samverkan mellan autonoma farkoster, vilket sker tillsammans med andra projekt hos institutionen för Flyg och Autonoma System. Avsikten med arbetet är att erhålla en experimentell resurs som kan användas för att verifiera kvaliteten hos befintliga förslag på hur autonoma gruppbetenden skall förverkligas, samt också för att förfina och utveckla nya metoder. Andra projekt avser att använda en eller flera farkoster för att studera och verifiera olika aspekter på styrning.

7.2 Mål

Ett antal grupper i världen utför idag experiment med samverkande beteende hos autonoma farkoster. Inom institutionen finns forskare med kompetens inom området, men endast simuleringar har använts för att utveckla och verifiera algoritmer etc. De kommer självklart att vara några av de första användarna av systemet för att med experiment snabbt kunna testa och verifiera metoder och algoritmer som utvecklas.

Ett antal grupper i världen arbetar idag med teori och simuleringar för att belysa olika aspekter på samverkande beteende inom autonoma farkoster och robotar. En mindre andel av dessa grupper utför experiment, med olika förutsättningar och lösningar vad avser plattformar och beteendimplementation. Inom institutionen finns forskare med kompetens inom området, men endast simuleringar har använts för att utveckla och verifiera algoritmer etc. De kommer naturligt att vara några av de första användarna av systemet för att med experiment snabbt kunna testa och verifiera metoder och algoritmer som utvecklas.

Samverkan mellan autonoma farkoster för bland annat uppgiftsfördelning, delgivning av sensorinformation och liknande, kan studeras. Detta görs i begränsad utsträckning i Sverige, LIU och KTH är två aktörer. Diskussioner förs med andra parter om att studera scenarier med samverkan mellan de olika system som då blir tillgängliga. En viktig skillnad mot de flesta andra system som används i Sverige är att det system som projektet valt att arbeta med, konstruerats för att klara förhållandevis höga hastigheter. En vanlig begränsning är att använda låga hastigheter eftersom kollisiondetektionssystem är långsamma. Detta system är inte avsett att studera undvikande av kollision med hinder eller andra fordon och kan därför, om det används på stora öppna ytor, köras i höga hastigheter.

7.3 Teknisk översikt

Ett antal farkoster skall förse med en central dator med ett generellt gränssnitt mot farkostens utrustning, servon, sensorer etc. Därigenom förenklas framtagandet av algoritmer från beskrivningar av ett autonomt beteende, eftersom algoritmerna inte behöver innehålla specifik

information om hur varje apparat på farkosten skall styras. Information om tillgängliga sensorer och servon etc. finns i tabeller som uppdateras dynamiskt vid förändringar. Snabba omkonfigureringar av utrustningen är möjlig. Datorarkitekturen är designad för att kunna användas på en mängd olika farkoster, exempelvis markfordon, flygplan, helikoptrar och undervattensfarkoster.

7.4 Status

En arkitektur för de datorprogram som används har specificerats och implementeringen av dessa pågår. I stort kan sägas att en lagerstruktur används. Det lägsta lagret innehåller operativsystemet, över det ligger en styrande och sammanhållande applikation som bland annat kan kommunicera med en övervakare på en annan dator. De algoritmer som skall användas kan via den kommunikationen föras över till farkostens dator och sedan exekveras, då de har tillgång till de funktioner som fysiskt styr farkosten eller läser av dess sensorer, genom olika standardfunktioner.

Som första farkost har valts ett markgående fordon med elektrisk drivning. Modifieringar för att montera dator, kommunikationsutrustning och sensorer är genomförda. Provkörning av styrningsservon och avläsning av navigeringssensorn (GPS-mottagare) är utförda.

8 Fortsatt arbete 2003-2005

Projektet Styrning av samverkande robotar avslutas december 2002. Emellertid kommer ett nytt projekt att starta, Samverkande robotar i nätverk, där forskningen kring autonoma system får en naturlig fortsättning.

Detta nya projekt, som planeras pågå t.o.m. 2005, skall behandla följande frågeställning:

- Hur förbättra verkan mot olika typer av mål genom att utnyttja samverkande robotar?
- Hur kan underrättelse- och ledningssystem i NBF utnyttjas för vapenstyrning?

Projektet skall dels presentera metoder för samordnad styrning av flera robotar i nätverk dels värdera taktiska för- och nackdelar med samverkande robotar i NBF.

Projektet skall också ge en ökad kompetens framför allt inom området autonom styrning, som kommer till nytta i flera andra tillämpningar.

Arbetet kommer att bedrivas i nära samarbete med projektet Precisionsvapen i NBF, där ett flertal olika vapensystem och deras koppling till det framtida ledningssystemet kommer att belysas.

9 Referenser

- 1 Alvå P., Berglund E., Carlsson L., Laurent C., *Fiberoptiskt styrda robotar - förstudie*, FOA-R--96-00313-2.5--SE, oktober 1996.
- 2 Alvå P., Andersson F., Berglund E., *Fiberoptiskt styrda robotar - Systemaspekter*, FOA-R--97-00614-314--SE, november 1997.
- 3 Alvå P., Andersson F., Carlsson G., Karlsson M., *Fiberoptiskt styrt robotsystem - Aspekter på samordnade robotanfall*, FOA-R--99-01345-314--SE, december 1999.
- 4 Raicevic P., *Fibreoptic Guided Missiles - Optimization of flight paths - A Master's Thesis*, FOA-R--97-00663-314--SE, december 1997
- 5 Brolund D., *Fibreoptic Guided Missiles - A Missile Seeker Model and Methods for Fusing Seeker Data in a System with Multiple Missiles*, FOA-R--97-00664-314--SE, december 1997
- 6 Alvå P., Kallstenius S., Åström U-S, *ROSA - En simuleringsmiljö för samverkande robotar - Användarhandledning och programbeskrivning*, FOA-R--98-00889-314--SE, oktober 1998
- 7 Alvå P., Åström U-S, *ROSA 2.0, Vidareutveckling av simuleringsmiljö för samverkande robotar, Användarhandledning och programbeskrivning*, FOA-R--00-01798-314--SE
- 8 Alvå P., Andersson F., Wallström D., *Studie av samverkande robotsystem – Insats mot landstigen mekaniserad bataljon*, FOA-R--00-01799-314--SE, december 2000.
- 9 Alvå P., Andersson F., Sandblom A., *Studie av samverkande robotsystem - Ett vapensystem ingående i ledningsnätverket*, FOI-R--0321--SE, december 2001
- 10 se klickbara länkar på hemsidan <http://www.insitugroup.net>.
- 11 André T., Isacson T., Kihlström G., Svensson J-E, *FoRMA/LUST Årsrapport 2000 - Situationsuppfattning och Ledning för Rätt insats*, FOI-R--0016--SE, Januari 2001.
- 12 Fokas A, *Styrlag för nära optimal målsökning för ett system med fiberoptiskt styrda robotar*, FOA-R--99-01346-314--SE, December 1999.
- 13 Baxter J., Bartlett P., L. (2000) *Reinforcement learning in POMDP's via direct gradient ascent*. Proc. 17th Intern. Conf. on Machine Learning, p 41-48. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA.
- 14 McGovern Amy , Precup Doina, Ravindran B., Singh Satinder, Sutton Richard S. *Hierarchical Optimal Control of MDPs*, Proceedings of the 10th Yale Workshop on Adaptive and Learning systems, 1998
- 15 Peshkin L., Kim K., Meuleau N., Kaelbling L. P. (2000) *Learning to cooperate via policy search*. In proc. of 16th Intern. Conf. on uncertainty in AI.
- 16 Eklöf M., Pelo J., Ulriksson J., Wallström D., *Styrning av samverkande robotar – En Studie av Modellering och Simulering i FLAMES*, FOI-R-0322--SE, december 2001.

-
- 17 Jerberyd M., *Examensarbete, Utveckling av en simuleringsmodell för hantering av rörliga mål i ett autonomt samverkande missilsystem*, 2002-05-27
 - 18 Ulriksson J., *An Investigation and Prototype Development of a Simulation Model of an Autonomous Co-operating Missile System*, FOI-D--0017--SE, maj 2001.