

Användarrapport

Peter Alvå
Folke Andersson
Andreas Sandblom

Studie av samverkande robotsystem: Ett vapensystem ingående i ledningsnätverket

Utgivare Totalförsvarets forskningsinstitut Avdelningen för Systemteknik 172 90 STOCKHOLM	Rapportnummer, ISRN		Klassificering
	FOI-R--0321--SE		Användarrapport
	Forskningsområde		
	Bekämpning		
	Månad, år	Projektnummer	
	December 2001	E6003	
	Verksamhetsgren		
	Uppdragsfinansierad verksamhet		
	Delområde		
	VVS med styrda vapen		
Författare/redaktör Peter Alvå Folke Andersson Andreas Sandblom	Projektledare		
	Peter Alvå		
	Godkänd av		
	Monica Dahlén		
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig		
	Martin Hagström		
Rapportens titel Studie av samverkande robotsystem: Ett vapensystem ingående i ledningsnätverket			
Sammanfattning Ett system av flygande robotar där varje robot kan utbyta information med varandra öppnar för nya möjligheter, till exempel samverkan för att underlätta målidentifiering och målval. Robotsystemets förmåga ökar ytterligare om det dessutom kan kommunicera med ett yttre ledningsnätverk. Rapporten beskriver spelkort för ett attackrobotsystem med laser- och radiolänk för informationsutbyte och för ett UAV-system med möjlighet att samverka med robotsystemet. I ett scenario visas hur attackrobotar och UAV-systemets samordningseffekter kan utnyttjas för att uppnå taktiska fördelar. Forskningsaspekter kring autonoma styrsystem för samverkande robotar behandlas också. Ett samverkande robotsystem torde vara ett effektivt vapen mot rörliga mål på det framtida slagfältet, speciellt om spaningsUAVer, attackrobotar samt ledningsnätverk kan utbyta relevant underrättelse- och mållägesinformation under såväl sök- som anfallsfas.			
Nyckelord Robotsystem, Scenarier, Autonomitet, Samordnad styrning, Ledning, Nätverk, Simulering			
Övriga bibliografiska uppgifter		Språk Svenska	
ISSN 1650-1942		Antal sidor 37	
Distribution Enligt missiv		Pris Enligt prislista Sekretess Öppen	

Issuing organization Swedish Defence Research Agency System Technology Division SE-172 90 STOCKHOLM Sweden	Report number, ISRN	Report type
	FOI-R--0321--SE	User report
	Research area code	
	Combat	
	Month year	Project no.
Author/s (editor/s) Peter Alvå Folke Andersson Andreas Sandblom	December 2001	
	E6003	
	Customers code	
	Contracted Research	
	Sub area code	
	Weapons and Protection	
	Project manager	
	Peter Alvå	
	Approved by	
	Monica Dahlén	
	Scientifically and technically responsible	
	Martin Hagström	
Report title		
Collaborating missiles systems - A study		
Abstract		
The report gives an example of a collaborating missile system and a UAV-system and shows how these can be used to obtain better system performance in tactical situations. The report contains a brief abstract of the current research in the guidance field. A collaborating missiles system shows good potential against moving targets, particularly if the missiles can interact with the C3I system during the attack.		
Keywords		
Missiles systems, Scenarios, Autonomy, Co-operative control, Command & control, Network, Simulation		
Further bibliographic information	Language	
	Swedish	
ISSN	Pages	
1650-1942	37	
Distribution	Price Acc. to pricelist	
	Security classification Unclassified	

Innehåll

1	Inledning	1
2	Samverkande robotsystem – dagens teknik och framtidens behov	3
2.1	Kommunicerande robotsystem idag	3
2.2	Operativa krav	3
2.3	Förslag på systemlösning	4
2.4	Behov av och krav på terrängdatabas	4
3	Systemspelkort	7
3.1	Bärrobotsystemet ”TAURUS Transporter”.	7
3.2	Subrobotsystemet ”EURAAS”	8
3.3	SpaningsUAV-systemet ”CASTOR”	9
4	Scenario – Robotattack mot mekaniserad fiende	13
4.1	Inledningsfas	13
4.2	Insats med samverkande subrobotar	15
4.2.1	Uppdragsplanering	15
4.2.2	Transportfasen – subrobotar avsöndras	16
4.2.3	Målsökning med bärrobotar	16
4.2.4	Målfördelning	17
4.2.5	Slutfasuppträdande	19
4.2.6	Träffutvärdering	20
4.3	Kommentarer till scenariot	20
4.3.1	Koppling till ledningssystemet	20
4.3.2	Strategier för optimal målsökning och målfördelning	21
4.3.3	Sårbarhet – informationskrigföring	21
5	Forskningsaspekter – styrsystemet	23
5.1	Systemegenskaper hos samverkande robotsystem	23
5.2	Kommunikationsbegränsningar	23
5.3	Autonomi	24
5.4	Metoder för utveckling av styralgoritmer	24
5.5	Scenarier	24
6	Forskningsinsatser i projektet	25
6.1	Uppdragsplanering och omplanering	25
6.2	Beräkning av målområde	25
6.3	Taktikvärdering	25
6.4	Optimering av anflygningsbanor	25
6.5	Målsökning och målfördelning	26
6.6	Optimal målsökning	26
6.7	Målfördelning	27
6.8	Målsökning och målfördelning	28
6.9	Sensordatafusion	28
6.10	Styrning av robotgrupper med potentialfält	28
6.11	Simuleringsmodell i ramverket FLAMES	30

6.11.1	FLAMES	30
6.11.2	Utfört arbete relaterat till FLAMES	31
6.11.3	Fortsatt arbete	31
6.11.4	Terränghantering i FLAMES	32
7	Slutsatser	33
8	Fortsatt arbete	35
A	Förbandssymboler	39

1. Inledning

Ett system av flygande robotar, där varje robot kan utbyta information med varandra, öppnar för nya möjligheter. Till exempel kan robotarna samverka för att underlätta målidentifiering och målval. Tekniken har tidigare studerats för ett system av fiberoptiskt styrda robotar, där styrningen sker från en gemensam dator i eldenheten med möjlighet till fullständigt informationsutbyte mellan de ingående robotarna under ledning och övervakning av en operatör, dels för ett robotsystem med en radio- eller laserlänk mellan robotarna, där endast ett begränsat informationsutbyte sker.

Uppdraget

FOI-projektet "Ledning och styrning av samverkande robotar" startade 1995-07-01, då under namnet "Fiberoptiskt styrd PV-robot". Under hösten 1995 genomfördes en förstudie för att klargöra kunskapsläget beträffande fiberoptiskt styrda robotar och inriktningen för projektets verksamhet under det första året (4). Arbetet har därefter delats upp i två huvuddelar, studier av nya styrprinciper för samverkande robotar samt studier av taktiska och systemtekniska aspekter för samverkande robotsystem.

Under 1996-1999 utfördes systemstudier av några koncept för fiberoptiskt styrda robotsystem där informationsbehov, insatsmöjligheter, taktiskt uppträdande, överlevnad, målsökare, operatörens roll m.m. har belysts (1, 2). Framför allt betonades effekten av samverkan mellan de ingående robotarna.

Under 1999-2000 har några robotkoncept studerats där en trådlös kommunikationslänk utnyttjas för dataöverföring mellan robotarna, som därmed ges möjlighet till ett samordnat uppträdande (3).

Detta år har vi fördjupat studien av det robotkoncept som utnyttjar en trådlös kommunikationslänk. Framför allt har vi studerat systemets koppling till ett yttre ledningsnätverk, där UAV-system utgör en betydande komponent. Resultatet av studien redovisas i denna rapport.

Arbetsupplägg

Huvuddelen av arbetet har bedrivits under ett arbetsinternat, där ett spelkort har tagits fram för ett bärrobotsystem med olika typer av subrobotar och för ett UAV-system. Tekniska och taktiska aspekter hos systemen har sedan behandlats i ett scenario. Under arbetsinternatet har också styrprinciper för samverkande robotsystem diskuterats, samt möjligheten till taktiska simuleringar av samverkande robotsystem. Tiden efter internatet har utnyttjats för fördjupningar och dokumentation.

Deltagare

I studien har följande personer vid FOI deltagit:

Peter Alvå
Folke Andersson
Martin Eklöf
Antonios Fokas
Martin Hagström
Johan Hamberg
Vahid Mojtahed

Johan Pelo
Andreas Sandblom
Johan Schubert
Birgitta Stridh
Dag Wallström
Jenny Ulriksson

Omfattande bidrag till rapporten har lämnats av, förutom av författarna, Antonios Fokas, Johan Hamberg, Dag Wallström och Jenny Ulriksson.

Rapportdisposition

Ett spelkort för ett robotsystem med olika typer av subtridsdelar presenteras. Speciellt behandlas ett lastalternativ med subrobotar, som kan samverka med varandra och med bärfarkosten. Robotsystemets egenskaper belyses i ett scenario där subrobotar sätts in mot en mekaniserad fiende, som har landstigit i Kapellskär. I scenariot utnyttjas också ett UAV-system som direkt kan samverka med robotsystemet, varför spelkort för detta system också presenteras.

Rapporten behandlar också några aspekter kring forskning på styralgoritmer för samverkande agenter och redogör för den forskning som bedrivs inom projektet.

Avslutningsvis presenteras några fördelar och begränsningar hos samverkande robotsystem, som framkommit vid diskussionerna i studien. Förslag på fortsatt forskningsinriktning kring samverkande robotsystem ges också.

2. Samverkande robotsystem – dagens teknik och framtidens behov

2.1 Kommunicerande robotsystem idag

Det finns idag inga robotsystem som samverkar annat än på en mycket låg nivå, t.ex. kommunikation mellan robot och skytt. Några exempel på sådana system är:

- Rbs23 Bamse där roboten leds in mot målet av en eldledningsradar monterad på lavetten, det vill säga ett enkelriktat och kontinuerligt informationsflöde.
- Den ryska jaktroboten AA-10 ALAMO, där roboten skjuts mot en punkt, där dess målsökare har möjlighet att låsa på målet. Kommunikation sker endast för att uppdatera roboten om eventuella förändringar i måluppträdandet, det vill säga ett enkelriktat och behovsstyrt informationsflöde. Då AA-10:s målsökare är semiaktiv är roboten även efter mållåsning beroende av radarbelysning från det skjutande flygplanet.
- Den amerikanska luftvärnsroboten PATRIOT som styrs från en markstation, men även utrustats med en målsökare. Målsökarens information sänds ner till markstationen, där den tillsammans med mål- och robotdata uppmätt av eldledningsradarn används för att beräkna styrkommandon, som sedan sänds till roboten, det vill säga ett kontinuerligt dubbelriktat informationsflöde.
- Den i Tyskland huvudsakligen utvecklade roboten POLYPHEM som styrs via optofiber. Styrkommandon beräknas av skytten utifrån information från robotens målsökare, även här ett kontinuerligt dubbelriktat informationsflöde. POLYPHEM-systemet är också intressant med hänsyn till att dess robotar har en gemensam länk till/från avfyringsenheten/ operatören och att systemet relativt lätt torde kunna modifieras för att uppträda utifrån principer för delad information.
- LOCAAS är ett amerikanskt turbojetmotordrivet subrobotsystem som i huvudsak är avsett för att inom en given yta självständigt söka efter, identifiera och bekämpa vissa typer av flyttbara eller rörliga mål. LOCAAS-roboten är ursprungligen inte framtagen att utnyttjas för en inbördes samverkan mellan flera individer, men studier för samverkande robotsystem pågår inom ramen för en pågående utveckling av LOCAAS-systemet, där med laserlänk modifierade LOCAAS-robotar är tänkta att utgöra agenter.

2.2 Operativa krav

Framtidens markstrid bedöms ställa nya, hårda krav på attackrobotsystem.

Exempel på sådana är: (ej i prioritetsordning!)

- Förmåga att bekämpa tidskritiska mål (luftvärn, artilleri, stridsfordon etc.).
- Förmåga till kostnadseffektiv bekämpning med god yttäckningsförmåga.

- Förmåga att genom autonomt låghöjdsuppträdande reducera risken för upptäckt och bekämpning.
- Förmåga till måldiskriminering, träffpunktoptimering och bekämpningsoptimering.
- Förmåga till graderad verkan och begränsning av oönskade sidoeffekter.
- Förmåga till bekämpning av flera mål per insats.
- Förmåga till hög funktionssannolikhet oberoende av väder och belysningsförhållanden.
- Förmåga till optimal och effektiv insats (varje robot träffar ett mål).
- Förmåga att samla in och kommunicera omvärldsinformation för uppdatering av exempelvis syntetiska omgivningar.
- Förmåga att kommunicera relevant underlag för verkansutvärdering.
- Förmåga att hantera situationer med avsiktlig störning och/eller vilseledning

2.3 Förslag på systemlösning

Ovanstående krav bedöms kunna lösas av ett system bestående av en flygburen bärrobot som avsondrar ett antal subrobotar, vilka därefter autonomt avsöker ett större område samt därefter kommunicerar med såväl bärrobot som varandra för att uppnå optimal verkan och verkansverifiering. Låghöjdsuppträdande (50-300 meter) medger oftast en tillfredsställande meteorologisk sikt för målupptäckt med medförda sensor-system, och möjliggör samtidigt ett uppträdande som reducerar bekämpningsrisken. En avancerad sensor i subrobotarna som utnyttjar aktiv/passiv detektion såväl inom det optiska- som inom RF-området skapar förutsättningar att åstadkomma ett kompakt system för automatisk måligenkänning. Hög upplösning i tre dimensioner ger möjligheter till träffpunktoptimering och att åstadkomma tillräcklig verkan med begränsad sprängkraft. Samverkan mellan subrobotar med attackfunktion ökar förmågan till upptäckt, lokalisering, identifiering och bekämpning av prioriterade mål, samt möjliggör en mellan subrobotarna inbördes optimal målfördelning.

2.4 Behov av och krav på terrängdatabas

Den geografiska informationen spelar en viktig roll för all militär verksamhet. Utveckling och användning av geografiska informationssystem (GIS) är mycket snabb och den höga utvecklingstakten på datorsidan underlättar införandet av mycket kraftfulla system. Vid tillämpning på ett system av autonomt uppträdande och samverkande flygande robotar med spanings-/attackfunktion kan digitala geografiska data utnyttjas för att, med utgångspunkt från systemspecifika krav hos såväl de egna systemen som motståndarens, analysera hur en kombination av olika kriterier påverkar möjligheterna till ett eget optimalt uppträdande i ett stridsområde.

Exempel på kriterier kan vara:

- optiska siktförhållanden, maskvinklar som förhindrar insyn/utblick
- elektromagnetisk vågutbredning
- öppen eller skylande terräng
- transportvägar
- framkomlighet

Under förutsättning att det autonomt verkande robotsystemet ges tillgång till ett högupplöst och systemanpassat GIS-underlag bedöms detta i hög grad öka systemets förutsättningar att, i en dynamisk stridsmiljö, i nära realtid, såväl analysera som bedöma det egna systemets handlingsmöjligheter utgående från motståndarens handlingsmöjligheter och hans sannolika handlande under inverkan av inverkan av terrängfaktorer.

3. Systemspelkort

Nedan beskrivs ett antal systemspelkort som tillsammans utgör exempel på hur ett konceptuellt system för samverkande robotar kan vara uppbyggt. Spelkortet bör såväl enskilt som tillsammans betraktas som exempel på ett fiktivt "totalsystem" där de ingående enheterna representerar olika delfunktioner. Systemspelkortet beskriver bland annat en bärrobot (TAURUS Transporter) vilken kan föras med ett antal olika lastalternativ. Det för studien mest intressanta lastalternativet utgörs av åtta stycken turbojetmotordrivna subrobotar (EURAAS). När dessa avsköts från bärroboten kan de kommunicera såväl inbördes som med i området förekommande bärrobotar och spaningsUAVer (CASTOR).

Spelkortet beskriver inget i sinnevärlden idag förekommande totalsystem utan baseras på en tänkbar och möjlig vidareutveckling av olika delsystem vilka kan spåras tillbaka i den pågående tekniska evolutionsprocessen. I kapitel 4 ges exempel på några av de taktiska fördelar som kan erhållas med detta koncept vid ett samordnat anfall mot ett antal olika typer av rörliga markmål.

3.1 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 måltyper, t.ex. spanings- eller eldledningsradar.

"TAURUS Transporter" kan bäras, transporteras och avfyras från en flygande vapenbärare exempelvis JAS 39 Gripen, alternativt föras med startraketer som medger utskjutning från en fordonsmonterad marklavett (jfr NEMESIS-projektet).

"TAURUS Transporter" räckvidd överensstämmer i princip med KEPD 350, men vid beräkning av total systemräckvidd bör hänsyn tas till subrobotarnas uppträdande efter det att dessa avsköts från bäraren.

"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.

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

Data och prestanda (Endast för studien relevanta storheter redovisas här.)

Lastalternativ:	8 x EURAAS
Marschfart, anflygningsfas:	850 km/h (240 m/s)
Marschfart, "UAV-mod":	540 km/h (150 m/s)
Anflygningshöjd:	ca 30 m över underliggande terräng
Minsta svängradie:	150 m (sustained turn) vid V= 150 m/s

Laserradar

Lasertyp	Diodpumpad YAG eller fiberbaserad laser
Våglängd	1.06 μm
Lasereffekt (medeleffekt)	0-25 W
Pulslängd	1-3 ns
Pulsenergi	50-125 μJ
Avsökning	Parallellscan + möjlighet till pekning, zoom-mod.

Scanner	Galvanometer styrd spegel+vätskekristall för finavsökning i zoommod över målkandidat
Scannerfrekvens spegel	80 Hz
Finavsökning i zoommod	10*10 m ² med en uppdatering av 25 Hz.
Lasermottagare	5 cm mottagaröppning Detektorarray, 10 element

IR/CCD sensor

Täckning TV/CCD (färg)	1*0.75°-14*10°
Täckning IR:	2*1.5°-20*15°
Vinkelupplösning:	0.1 mrad
Teknik IR	Okyld bolometertyp, kameravikt 1-2 kg
Temperaturupplösning	< 100 mK
<u>Positionering</u>	GPS, alt. Terrnav utnyttjande lasermätt topografi

Kommunikation

Huvudalternativ	Laserlänk (balanserat system eftersom målsensorerna är optiska)
Reservalternativ	RF länk (p.g.a. röjnings och störrisk)

Laserkommunikationslänk

Lasereffekt	1-10 W
Lasertyp	Laserdiodarray
Laserlob	160*30 grader
Lasermottagare	
Optik	Hemosfärisk, 3 cm i diameter
Detektor	Fotodiod

Anm. Eftersom det troligen är viktigt med full duplex mellan robotarna har de var sin sändare och mottagare.

Robotarna kan förses med retromodulator som tillåter att de om de laserbelyses t ex från marken, kan modulera tillbaka en reflekterad stråle med den information som de har lagrat eller just för tillfället samlar in.

3.2 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 mottagarantenn utgörs av alternativt:

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

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

Farkostdata

Längd:	0,8 m
Spännvidd:	1,0 m (utfällda vingar)
"Startvikt":	45 kg
Stridsdelsvikt:	7 kg

Farkostprestanda

Flyghastighet:	540 km/h (150 m/s)
Flyghöjd:	50-600 m
Max flygtid:	20 min (motsvarande 120km flygsträcka)
Minsta svängradie:	150 m (Sustained turn) vid V= 150 m/s

Laser/IR/CCD system

Stråkbredd:	Flyghöjdsberoende (ung. lika med flyghöjd)
Avsökning:	Framför farkosten (upp till 1000 m) eller rakt under
Måldetekning:	IR/CCD alternativt laser eller kombination
Måligenkänning:	I huvudsak laser (3-D) med stöd av IR/CCD
(ATR=Aut. Target recognition)	
Signalbehandling ATR:	Storleksmätning (till 0,1 meter noggrannhet), Orientering, särdragsextraktion, 3-D modell-matchning i medfört målbibliotek
Lagring av terrängdata	För senare användning i uppdaterade högupplösta (10 cm) terrängdatabaser över stridsfältet. Länkas via laser alt. RF-länk till fpl/hkp/UAV i området eller till markstation.
Verkansutvärdering (BDA):	Sensordata länkas via UAVer till ledningssystemet.
<u>Kommunikation:</u>	Laserlänk
Samverkan:	några 10-tal robotar
Max samverkansavstånd	5-8 km, väder- och terrängberoende
Kommunikationsinnehåll	ID varje robotb, position, detekterade måltyper, målposition, verkansverifiering, lagrade terrängdata i batchsändning.
<u>Stridsdel:</u>	Av multifunktionstyp med tre olika verkansformer, mot aktivt pansar respektive bepansrade mål och mjuka mål: "stretching rod", "slug", och splitter.

3.3 SpaningsUAV-systemet "CASTOR"

CASTOR är en kolvmotordriven spaningsUAV som baseras på en tänkbar vidareutveckling och anpassning av UAV-systemet "SEASCAN A/B" se (11).

Valet av SEASCAN som utgångspunkt för en tänkbar vidareutveckling mot ett förbandssatt system i tidsperspektivet 2010 – 2015 har skett mot bakgrund av, dels systemets relativa litenhet, dels dess möjligheter att operera under mycket långa

aktionstider. Till detta kan läggas två jämförelsevis okomplicerade startmetoder i kombination med en enkel och innovativ metod för återfångst av UAVn efter fullgjort uppdrag. Sammantaget innebär dessa faktorer att UAV-systemet relativt enkelt bedöms kunna transporteras och operera från, dels plattformar av typ (hemvärns-mannens/-kvinnans) personbil med takräcksmonterad startlavett och återfångstanordning, dels (Marinens eller Kustbevakningens) fartyg eller båtar (t.ex. Stridsbåt 90). De sistnämnda måste dock utöver fångstanordningen förses med en inte alltför utrymmeskrävande pneumatisk katapult av teleskoptyp.

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 EURAAS-robotarännu ett tänkbart exempel/scenario är att utnyttja ett antal CASTOR som en flygande kedja av relästationer för att därigenom skapa en möjlighet att med extrem bandbredd och länksäkerhet upprätta samband, samt utöva direkt verksamhetsledning, över långa avstånd.

Option 1. Vid diskussion med företrädare för Hägglunds Vehicle pekade vi på möjligheten att ett framtida enhetsfordon av SEP-typ (Skyddad Enhets Plattform), som utrustats med såväl katapult som fångstanordning samt en kassett innehållande 9- 12 stycken UAVer av CASTOR-typ, därmed skulle kunna utgöra ett exempel på en markörlik basresurs för systemet.

Option 2. Mot bakgrund av att CASTOR-systemets begränsade fartresurser men, från flera utgångspunkter, fördelaktig långa aktionstid ställs vi inför problemet att över stora avstånd snabbt komma fram till och påbörja verksamhet i spaningsområdet. En möjlig lösning syns därför vara att CASTOR med hopfällda vingar förpackas i en speciell "UAV-kapsel" avsedd att hängas i en yttre vapenbalk på ett stridsflygplan. Därigenom skulle en eller flera CASTOR snabbt kunna flygtransporteras till och fällas över ett insatsområde. Efter fällning bromsas respektive kapsel, med hjälp av en fallskärm, till en lämplig fart där CASTOR frigörs, fäller ut vingarna, startar motorn och påbörjar tilldelat uppdrag. Efter fullgjort uppdrag återvänder CASTOR med distansekonomisk fart till utgångsbasen alternativt till någon annan av operatören vald landningsplats.

Farkostdata

Spännvidd:	3,1 m
Längd:	1.2 m
Vingyta:	0,75 m ²
Framkantpilvinkel:	23°
Kroppsdiameter:	0,2 m
Max lastförmåga:	7,5 kg (inkluderar nyttolasten sensor- och sambandsystem plus bränsle). Anm. Viktförhållandet mellan nyttolast och bränsle påverkar väsentligen uttagbar aktionstid.
Transportförpackning:	(L x B x H) = 2.0 x 0,5 x 0,4 m (= Motsvarar ett kassettutrymme vid transport i ett specialfordon avsett för att operera med ett antal UAVer).
Energiförsörjning:	70 W startgenerator plus en batterienhet som i samband med en avsiktligt "tyst" glidflykt kan strömförsörja de för uppgiftens lösande väsentliga systemen och därefter medge återstart av drivmotorn.

Farkostprestanda

Fartintervall:	100-180 km/h (~ 25 -50 m/s)
Max flyghöjd:	5 km
Stighastighet:	5 m/s
Glidtal:	1:25
Minsta svängradie:	30 m (sustained turn) vid $V = 40$ m/s:
Aktionstid:	15 h (+)
<u>Positionering</u>	GPS, alt. Ternav utnyttjande lasermätt topografi

Kommunikation

Huvudalternativ	Laserlänk (balanserat system eftersom målsensorerna är optiska)
Reservalternativ	RF länk (p.g.a. röjnings och störrisk)

Laserkommunikationslänk

Lasereffekt	1-10 W
Lasertyp	Laserdiodarray
Laserlob	160*30 grader
Lasermottagare	
Optik	Hemosfärisk, 3 cm i diameter
Detektor	Fotodiod

Sensorsystem**Alt 1. IR/CCD sensor**

Täckning TV/CCD (färg)	1*0.75°-14*10°
Täckning IR:	2*1.5°-20*15°
Vinkelupplösning:	0.1 mrad
Teknik IR	Okyld bolometertyp, kameravikt 1-2 kg
Temperaturupplösning	< 100 mK

Alt 2. QinetiQ's "VLADIMIR"
(Very Large Array Demonstration Imager for InfraRed) se (12).

Den engelska forskningsorganisationen QinetiQ utvecklar för närvarande ett intressant gimbalupphängt IR-kamerasystem med dubbla bildfält, avsett att ingå som bildsensor i UAV-systemet "OBSERVER". IR-kameran är försett med två parallellt riktade linssystem med olika brännvidd, samt två okylade detektorarrayer. Ett "chopper-system" växlar mellan arrayerna och de två bilderna sänds växelvis till en mottagare där de genom överlagring och bildbehandling presenteras på en bildskärm på sådant sätt att bildens centrala delar har en högre upplösning än dess periferi.

Anm. Eftersom det troligen är viktigt med full duplex mellan robotarna har de var sin sändare och mottagare.

UAVerna kan förses med retromodulator som tillåter att de om de laserbelyses t.ex. från marken, kan modulera tillbaka en reflekterad stråle med den information som de har lagrat eller just för tillfället samlar in.

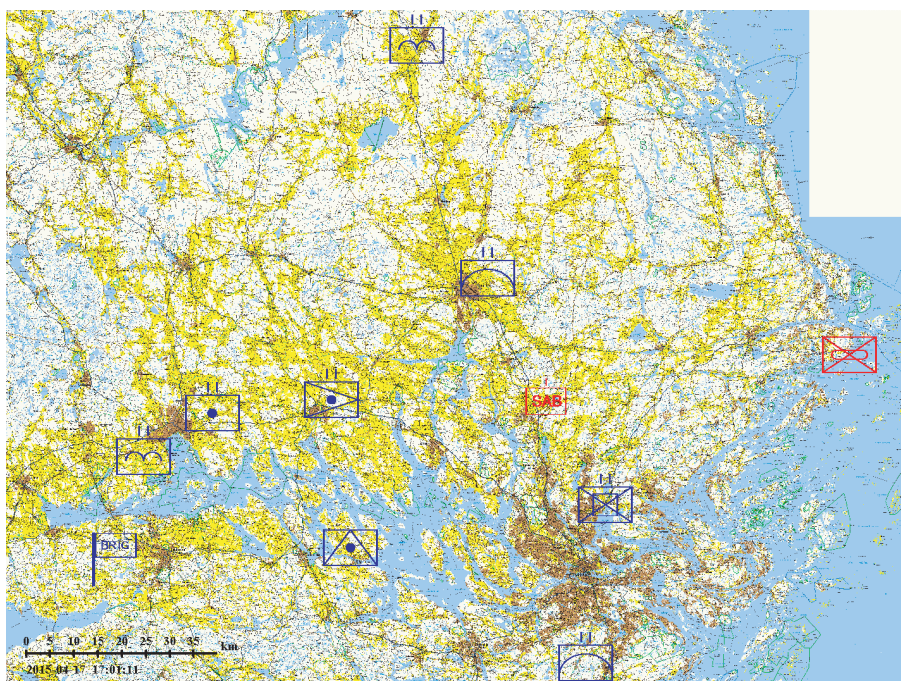
4. Scenario – Robotattack mot mekaniserad fiende

Vi skall nu utnyttja valda delar av spelkortet från föregående kapitel 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 RMA (Revolution in Military Affairs), (5)

En förteckning av de i figurerna använda förbandssymbolerna finns i Bilaga A.

4.1 Inledningsfas

17.00 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.



Figur 4.1: Läget vid krigsutbrottet

17.15 Rapporter om skottlossning och landstigning av främmande trupp vid Kapellskär börjar komma in. Angriparens syfte bedöms vara att upprätta ett brohuvud mellan Arlanda och Kapellskär för att kunna ta in nya trupper och gå mot Stockholm.

Våra enheter som kan sättas in mot angriparen i Roslagen är för närvarande ganska få. En brigad är under gruppering i området, för närvarande är endast en lätt

mekaniserad bataljon, som befinner sig på övning norr om Stockholm, operativ.

17.20 Brigaden får order om att ingripa mot angriparen. Brigadstaben är för närvarande grupperad utanför Örebro, varför brigadchefen överlåter åt chefen för 1. Mekbat att leda verksamheten i Kapellskärsområdet. Bataljonen får sig underställt haubitsbataljonen utanför Västerås, raketartilleribataljonen utanför Enköping och en halv luftburen bataljon, grupperad utanför Västerås. Vidare finns möjlighet att efter begäran erhålla understöd från markrobotförbandet utanför Strängnäs.

17.30 1. Mekbat inleder framryckning mot Rådmansö med uppgift att förhindra den landstigna angriparen att ta sig förbi Norrtälje och upprätta sitt brohuvud. Samtidigt skickar bataljonens UAV-grupp iväg den första spaningsUAVn av totalt sex mot området kring Rådmansö. Syftet med spaningsUAVerna är att samla in information om fiendens styrkor och gruppering.

17.55 Den sista UAVn startar (en UAV har startat var femte minut).

18.00 Den första UAVn är på plats och börjar inleda spaning. För att snabbt kunna få en lägesbild över händelseutvecklingen flyger UAVn på en något högre höjd än vad som är optimalt med hänsyn till risken för att bli bekämpad. I gengäld kan den spana av ett större område på kortare tid.

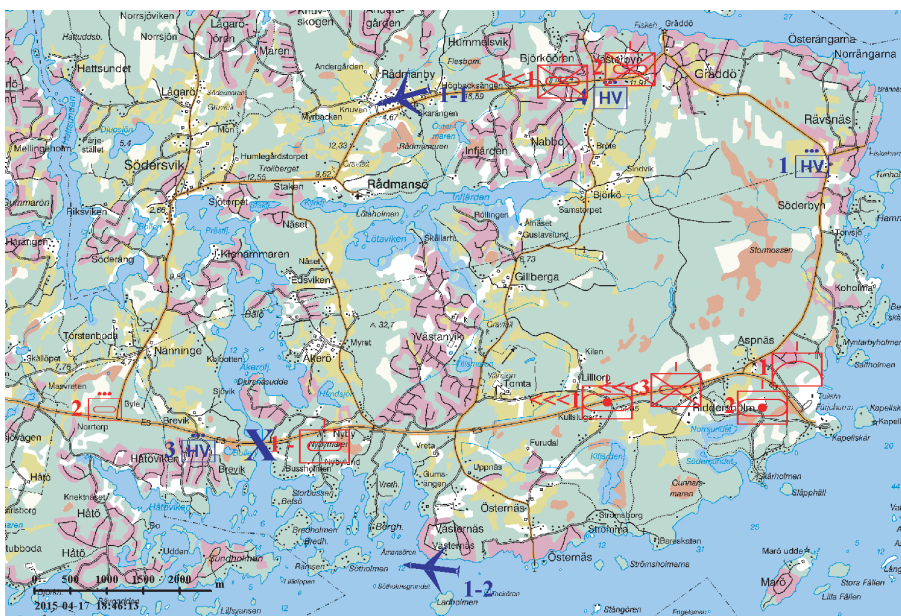
18.07 Efter ett par minuter blir den första spaningsUAVn bekämpad, men dess roll ersätts snabbt av nästa spaningsUAV, som är på plats sedan ett par minuter. De övriga UAVerna anländer nu i rask takt, och så fort en något sånär övergripande lägesbild har erhållits, fortsätter UAVerna spaningen på lägre höjd för att minska sin risk för att bli upptäckta och bekämpade av fiendens luftvärn.

18.15 Hemvärnet (HV) rapporterar att en kolonn av fordon är på väg västerut mot bron över Åkeröfjärden. Samtidigt börjar bilderna från UAV-spaningen rapporteras in. Inrapporteringen sker genom kommunikation med andra högtflygande plattformar (flygplan typ JAS, större spaningsUAVer m.fl.), som fungerar som reläer, och genom kommunikation med marken genom befintlig infrastruktur för mobiltelefoni, eller kommunikation med markpersonal som kan länka informationen vidare genom det markbundna fiberoptiska telenätet. Denna nätverksbaserade inrapportering minskar fiendens möjligheter att genom störning och sabotage strypa underrättelseflödet från operationsområdet.

18.30 De sammanlagda underrättelserna har gett en ganska klar bild av vad som sker. Till följd av detta får HV order om att spränga bron vid Åkeröfjärden och gör så strax efter att de första fientliga fordonen ur kolonnen passerat. Detta får till följd att fienden måste vända om för att ta en nordligare väg. Lägesbilden i Figur 4.2 har erhållits som resultat av spaningarna och de inkommande rapporterna.

Mindre fientliga spaningsförband har nått fram till Norrtälje, men huvudstyrkan befinner sig fortfarande inom ett begränsat område på östra delen av halvön. Fiendens framryckning har till stor del fördröjts tack vare att hemvärnet lyckades spränga bron över Åkeröfjärden.

18.40 Bataljonschefen bedömer dock att fiendens styrka är så stor att han inte kan slå honom enbart med sina egna resurser. Han begär därför målbekämpning med markrobotförbandet i Strängnäs - subrobotar mot främst fiendens artilleri, stridsvagnskompani och skyddande luftvärnsförband. För att kunna slå fienden på Rådmansö måste insatsen tillfoga honom 50 % förluster av dessa enheter.



Figur 4.2: Landstigen fiende på Rådmansö. Lägesbild kl. 18.45 - fienden under framryckning.

4.2 Insats med samverkande subrobotar

18.45 UAV-spaningen visade att fiendestyrkan på Rådmansö utgörs av en förstärkt mekaniserad bataljon. Med hänsyn till fiendens styrka bedöms följande mål finnas i området och vara av intresse för markrobotinsatsen.

Stridsvagnar	10 st (5 st observerade)
Stridsfordon	48 st
ArtilleripjäserW	12 st
Luftvärnsbatterier	6 st

Utöver dessa enheter finns en stor mängd transportfordon, där några kan utgöra alternativa mål för insatsen, t.ex. bränsletransporter.

Bataljonschefens begäran om insats går via OPIL (Operativa Insatsledningen), som ger eldtillstånd med fyra TAURUS Transporter med vardera åtta subrobotar (EURAAS) – totalt 32 st EURAAS.

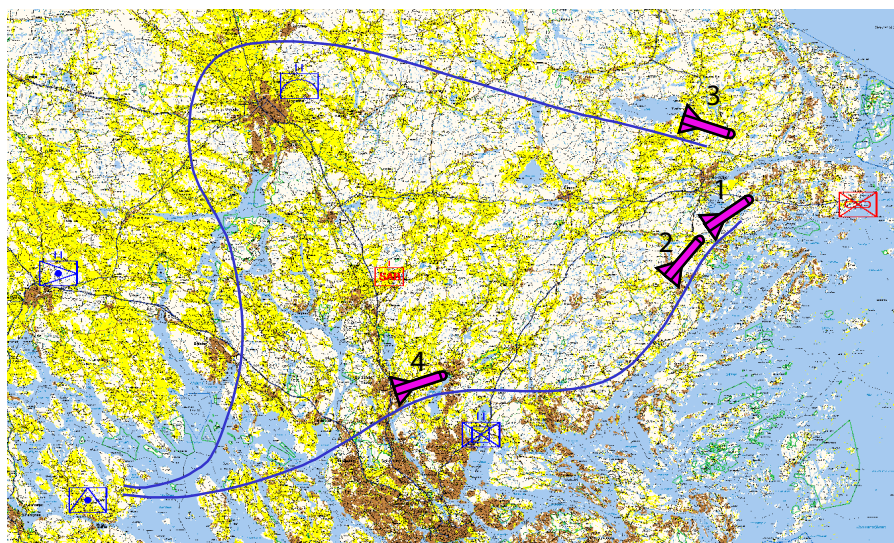
4.2.1 Uppdragsplanering

18.46 Markrobotbatteriets ledningsplats tar emot insatsordern från OPIL. En uppdragsplanering görs med hänsyn till givna förutsättningar, vapeninsats, fiendens styrkor och gruppering, mål med insatsen, terrängens beskaffenhet, aktuell vädersituation och siktförhållanden, m.m.

Insatsledningen utnyttjar ett kraftfullt beslutsstöd för att beräkna optimala robotbanor utifrån givna förutsättningar. Robotarna kan därför avfyras en mycket kort tid efter insatsorder.

Resultatet av uppdragsplaneringen beskrivs i stora drag i Figur 4.3 och Figur 4.4.

De fyra bärrobotarna följer de blå banorna i figuren. Bärrobot 1 och 2 anflyger från sydväst mot fordonskolonnen med uppgift att slå ut stridsvagnar och medföljande luftvärn liknande Tunguska-M1 med luftvärnsrobotar och luftvärnskanoner. Dessa robotar avsöndrar vardera åtta subrobotar c:a 20 km från målområdet. Bärrobot 3 flyger in från nordväst och dess åtta subrobotar har som huvudgift att slå ut det



Figur 4.3: Uppdragsplanering - Bärrobotarnas anflygningsväg till målområdet.

grupperande artilleriet med fiberstyrda robotar (av POLYPHEM-typ). Bärrobot 4 och dess åtta subrobotar anflyger efter de övriga robotarna och skall kunna sättas in mot mål som missats i den första attacken.

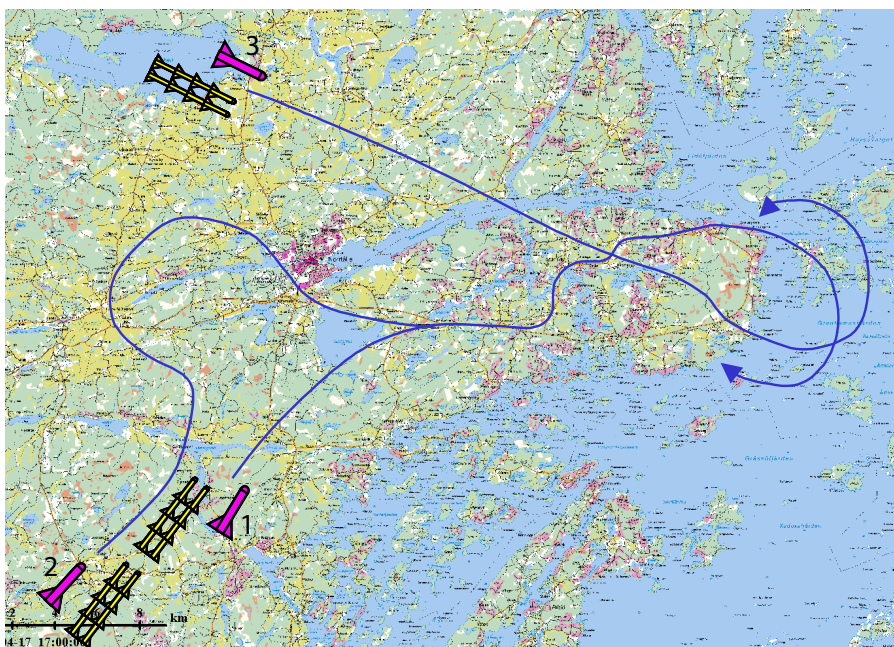
Efter att bärrobot 1 och 2 släppt sina subrobotar går bärrobot 1 upp något på höjd och flyger in över kolonnen för att skapa en sista mållägesbild. Därefter följer sexton subrobotar som genom samverkan fördelar målen sinsemellan för maximal verkan. Bärrobot 2 tar en mindre sväng för att återkomma efter insatsen för att resultatspana och skicka hem underlag för en verkansvärdering. Efter att bärrobot 3 släppt sina subrobotar flyger den in över det grupperande artilleriet för att målspana åt subrobotarna. Efter överflygningen svänger den sedan tillbaka in över insatsområdet för att avspana resultatet av de åtta subrobotarnas samverkande insats. Då bärrobotarna fortfarande innehåller mycket bränsle avslutar de med att styra mot lämpliga mål som attackrobotar.

4.2.2 Transportfasen – subrobotar avsöndras

18.51 Den första roboten avfyras 18.46, 6 minuter efter bataljonschefens 1. Mekbat begäran om insats till OPIL. Ytterligare fem minuter senare har bärrobotarna nått fram till målområdet och får en sista aktuell lägesbild från spaningsUAVerna förmedlad genom någon del av nätverket. Bärrobotarna som hittills följt de planerade banorna mot målområdet avsöndrar nu sina subrobotar och formerar sig för anfallet. Bärrobot 1 leder anfallet mot fordonskolonnen följd av sina åtta subrobotar och ytterligare subrobotar från bärrobot 2. Bärrobot 2 genomför en fördröjningsmanöver för att genom att öka sin flygsträcka återansluta en bit bakom robotgruppen. Strax norrut har bärrobot 3 tagit täten mot det grupperande artilleriet följd av sina åtta subrobotar. Någon minut bakom följer bärrobot 4 som ännu inte släppt sina subrobotar.

4.2.3 Målsökning med bärrobotar

18.52 När bärrobotarna avsöndrat sina subrobotar 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



Figur 4.4: Uppdragsplanering - Avsöndringspunkter för subrobotar och planerad målspaning.

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 söksområdet för dessa.

Ett par spaningsUAVer har överlevt fiendens motåtgärder under den tidigare spaningen och opererar fortfarande över Rådmansö. Dessa plattformar är utrustade med en likadan laserkommunikationslänk som subrobotarna och bärrobotarna och kan därför bidra till robotsystemets totala lägesuppfattning. SpaningsUAVerna kan också via länken erhålla en sökbana från robotsystemet och kan direkt delta i målsökningsfasen.

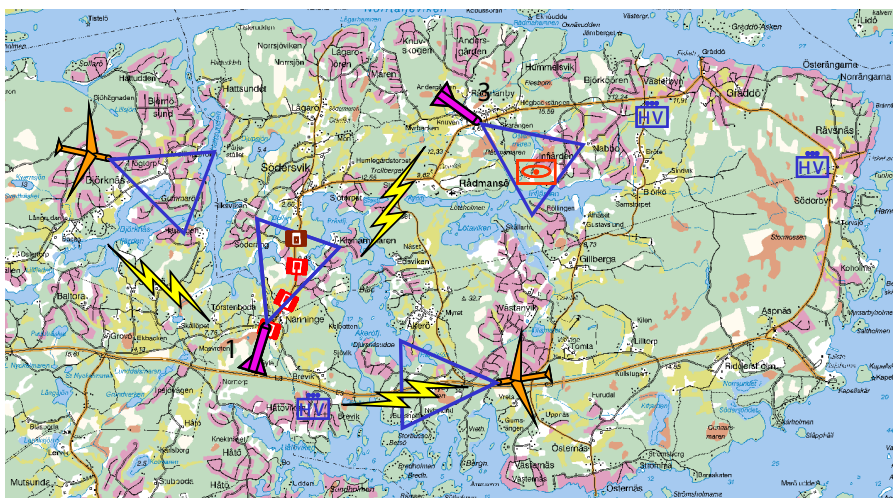
Under målsökningsfasen överförs sensorinformationen kontinuerligt mellan bärrobotar och UAV via laserkommunikationslänkarna, så att samtliga plattformar har tillgång till den samlade lägesbilden. Så fort subrobotarna befinner sig inom kommunikationslänkens räckvidd överförs lägesbilden även till dessa.

Under målspaningen bekämpas bärrobot 3 av fiendens luftvärn. Detta luftvärn var inte tidigare känt, men bärrobotens sensorer hinner dock registrera avfyrningsplatsen för luftvärnsrobotarna och informationen förmedlas till övriga robotar via laserlänken innan den blir utslagen. Eldledningsradarn mäts också in av robotens målsökare.

Bärrobot 3's åtta subrobotar som släpptes precis utanför målområdet har erhållit de inmätta positionerna för eldledningsradar och robotlavett. De omplanerar nu sin insats och styr mot dessa positioner utöver det grupperande artilleriet med fiberstyrda robotar. Även ytterligare en spaningsUAV går förlorad över Kapellskär men även denna hinner mäta in och förmedla luftvärnets position. Dess signaler fångas upp av en hemvärnsman som kan reläa informationen vidare via det fiberoptiska marktelenätet.

4.2.4 Målfördelning

18.52 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,



Figur 4.5: Målsökning - utbyte av sensorinformation.

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 4.6: Målfördelning mellan grupper av subrobotar.

Figuren ovan visar de viktigaste målen i scenariot som har identifierats under målsökningsfasen. På vägen nordväst om den sprängda bron över Åkeröfjärden har åtta stridsvagnar med två medföljande luftförsvarsvagnar liknande Tunguska-M1 rekognoserats. Nordost om dessa har två grupperande artilleriställningar med fiberstyrda robotar identifierats samt en luftvärnsställning inmätt av bärrobot 3 innan den blev bekämpad.

Målfördelningen resulterar i att de 16 subrobotarna från bärrobot 1 och 2 slår mot stridsvagnskolonnen och de två luftförsvarsvagnarna. De gör en samlad insats där de går mot en stridsvagn vardera och två och två mot luftförsvarsvagnarna. Dessa anfalls

från två riktningar för att omöjliggöra bekämpning av båda subrobotarna. Fem till tio sekunder senare följer de andra fyra robotarna längs vägen för att slå ut eventuella mål som klarat anfallet. Ytterligare ett antal sekunder efter följer bärrobot 2 som genomför en snabb resultatspaning och måluppdatering. Eventuellt kvarvarande robotar från anfallet har som tilläggsuppgift att gå vidare mot artilleri- eller luftvärnsställningarna.

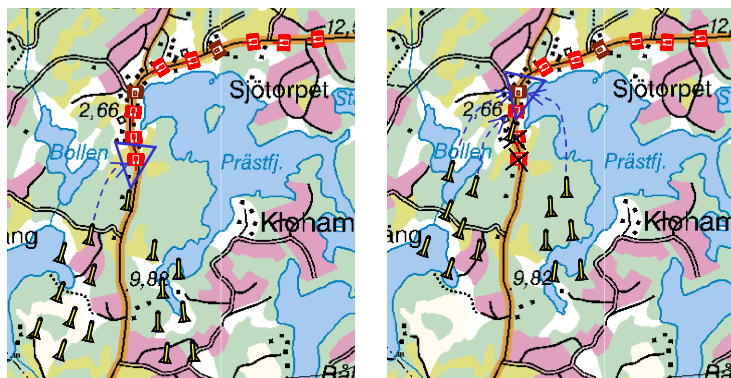
Samtidigt som anfallet mot fordonskolonnen sker anflyger de åtta subrobotarna från den bekämpade bärrobot 3 från nordväst. Två av dem går mot luftförsvarsställningen medan de övriga sex subrobotarna delar upp sig på grupper om tre som samtidigt slår mot varsin av artilleriställningarna.

18.53 En grupp om åtta subrobotar anländer till målområdet senare än de övriga. Dessa subrobotar har avsöndrats från bärrobot 4 och skall nu få sina mål tilldelade med hjälp av den nya lägesbilden inhämtad bl.a. från de tidigare bärrobotarnas iakttagelser. När de första subrobotarna har hunnit verka kan dessa nu styras mot de mest lämpliga av de kvarvarande målen.

18.54 Bärrobot 4 flyger nu in över målområdet och gör en sista resultatspaning innan den tillsammans med de övriga kvarvarande bärrobotarna utnyttjar sitt kvarvarande bränsle som stridsladdning och attackerar lämpliga kvarvarande mål.

4.2.5 Slutfasuppträdande Låt oss följa den grupp subrobotar som fått i uppgift att slå mot de åtta stridsvagnarna och de två luftförsvarsvagnarna i fordonskolonnen på vägen. Robotarna uppträder på så sätt att en subrobot spanar längs med fiendens förflyttningsväg, medan övriga subrobotarna följer efter bakom. De efterföljande subrobotarna uppträder dolt och utnyttjar om möjligt terrängmask vid sidan av vägen. Den spanande subroboten har tillgång till lägesbilden från bärrobot 1, som endast ett 20-tal sekunder tidigare har mätt in målen. Med hänsyn till stridsvagnarnas förflyttningshastighet beräknar den inom vilket område respektive mål kan förväntas uppträda.

När ett mål identifieras rapporteras målläget till den av de bakomvarande robotarna som ligger bäst till för insats. Medan insatsroboten styr mot det utpekade målet fortsätter spaningsroboten att söka efter ytterligare mål. Om ett mål identifieras som en luftförsvarsvagn liknande Tunguska-M1 tilldelas två subrobotar detta mål och anfaller från två håll för att förhindra att båda blir bekämpade av luftförsvarsvagnen. Vid en eventuell förlust av den spanande roboten tar en subrobot dess plats som "spanare" med ökad risk för nedskjutning som följd. Den styr in över vägen och tar upp för att förbättra sin spaningskapacitet.

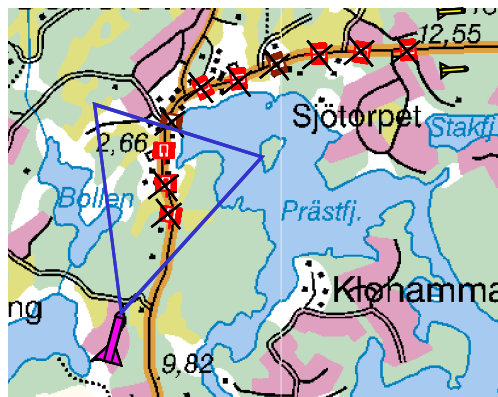


Figur 4.7: Robotinsats mot fordon längs väg.

4.2.6 Träffutvärdering En viktig del av robotanfallet är att också fastställa resultatet av insatsen. Det finns flera möjligheter att samla information om utfallet.

Sista målsökarbilden från varje robot förmedlas via laserlänken omedelbart före träff. Denna kan ligga till grund för en träffutvärdering och verkansberäkning. Denna träffutvärdering och verkansberäkning kan antingen ske automatiskt på en mer förenklad nivå av ledningssystemet, eller mer noggrant och detaljerat av en eller flera operatörer som sammanställer informationen och gör en bedömning av verkan i målet. Bedömningen kan sedan matas in i ledningssystemet och utgöra information för nya insatser, beslutade såväl av operatör som autonomt av de inblandade robotarna.

Flera bärrobotar och subrobotar som samverkar vid målidentifiering, som i exemplet ovan, kan också samverka vid en träffutvärdering genom att en eller flera subrobotar spanar över vägen bakom insatsrobotarna. Deras målsökarbilder ger då information om uppnådd verkan. Genom att fusionera denna information kan robotarna utföra en förenklad träffutvärdering som de förmedlar sinsemellan och tillbaka till ledningssystemet. Om det visar sig att en stridsvagn inte blivit utslagen, kan de efterföljande subrobotarna utnyttjas för en förnyad insats.



Figur 4.8: Träffutvärdering av robotanfallet.

Träffutvärdering kan också med fördel utföras av en bärrobot som i fallet ovan då flera bärrobotar deltagit i samma insats. En spanar då av målområdet först som beskrivet tidigare medan den andra bärroboten följer bakom subrobotarna för träffutvärdering. De eventuellt kvarvarande spaningsUAVerna kan också utnyttjas till detta. Man kan också tänka sig att lokala observatörer (t.ex. HV-män) kan utföra en träffutvärdering som de sedan förmedlar till ledningssystemet och på så sätt ger robotarna och robotoperatörerna beslutsunderlag för nya insatser.

4.3 Kommentarer till scenariot

4.3.1 Koppling till ledningssystemet I scenariot ovan har vi antagit att robotarna kan avfyras tio minuter efter bataljonschefens insatsbegäran hos OPIL. Vi har inte gjort någon analys om huruvida en så kort beslutscykel är möjlig i ett framtida nätverksbaserat ledningssystem, eller om tiden kan kortas ytterligare. Vad vi vill peka på är att, även om beslutstiderna är mycket korta, kommer den underrättelseinformation (i detta fall baserad på UAV-spaning) som ligger till grund för insatsbeslutet att vara i storleksordningen 10-tals minuter gammal, när robotarna anländer målområdet. Ett rörligt mål, t.ex. en stridsvagn, kan därför ha hunnit förflyttat sig inom ett mycket stort område.

En insats med långräckviddiga robotar mot rörliga mål kräver därför en möjlighet att uppdatera robotsystemet med aktuellt målläge under an- och inflygning mot

målområdet. Detta kan uppnås genom att robotsystemet självt har förmågan att avsöka ett relativt stort område. Med kommunikationslänkarna mellan robotarna är det möjligt att ge varje robot en aktuell mållägesbild över ett stort område, även om varje robot endast avsöker en begränsad del av området. Aktuellt målläge erhållet från andra informationskällor kan också överföras till robotarna via ledningssystemet. I scenariot utnyttjades spaningsUAVerna som informationsförmedlare till robotarna. Vidare kommunicerade spaningsUAVerna med ledningssystemet via förband på marken. Man kan även tänka sig att spaningsrobotarna själva kan kommunicera med ledningssystemet via markförband, likväl som att såväl robotsystemet som spaningsUAVerna kan utbyta information med ledningssystemet via högre flygande plattformar som UAVer och flygplan av typ JAS. Med detta nätverkstänkande blir informationsflödet betydligt mindre sårbart för störningar och sabotage.

Kopplingen till ledningssystemet är också viktig för att kunna utnyttja robotsystemets målinformation för träffutvärdering och som underlag till en eventuellt förnyad vapeninsats mot kvarvarande mål.

4.3.2 Strategier för optimal målsökning och målfördelning I scenariot sker målsökning och målfördelning i flera steg. Den första målsökningen utförs av den mekaniserade bataljonens spaningsUAVer och resultatet ligger till grund för insatsbeslut och uppdragsplanering av robotanfallet. När sedan bärrobotarna anländer till målområdet erhåller de den senaste uppdaterade målbilden av spaningsUAVerna. Utifrån den färskta målinformationen görs sedan en målfördelning på olika grupper av de inkommande subrobotarna. Eftersom de flesta målen i scenariot är rörliga måste varje grupp av subrobotar utföra en ny målsökning och målfördelning när de väl når fram till sin målkaka, dock inom ett relativt begränsat område. I det ovan beskrivna scenariot leds varje grupp av subrobotar av en bärrobot som spanar och uppdaterar målbilden, men denna uppgift kan även utföras av en subrobot.

Det är viktigt att målsökningen kan ske på ett så snabbt och effektivt sätt som möjligt när det gäller rörliga mål, så att tiden mellan målupptäckt och insats blir kort. En metod för optimal målsökning har studerats inom projektet, där robotsystemet tar hänsyn både till förhandsinformation och till ny information från robotarnas målsökare för att anpassa sitt sökmönster. Se vidare kapitel 6.

Målfördelning utgör också ett optimeringsproblem, där man vill att de mest attraktiva målen skall fördelas på robotarna så att sannolikheten att slå ut dem blir så stor som möjligt. En viktig fråga att diskutera är hur "autonomt" systemet får vara när det gäller målval och målfördelning – när skall en robot automatiskt styra mot ett upptäckt mål och när måste en operatör avgöra ifall ett mål skall bekämpas?

4.3.3 Sårbarhet – informationskrigföring I scenariot har vi framför allt pekat på fördelarna med kommunikationslänkar mellan robotarna och den möjlighet till samverkan som dessa erbjuder. I många fall torde detta också minska sårbarheten hos systemet. Det finns emellertid några sårbarhetsaspekter, där kommunikationslänken kan vara en nackdel.

Den mest uppenbara sårbarheten hos det samverkande robotsystemet är ifall kommunikationslänkarna störs eller helt slås ut, på grund av fiendens motåtgärder eller på grund av inverkan av terräng och väderlek. För att hantera detta hot måste styrsystemet kunna hantera olika grader av kommunikationsbortfall, i värsta fall skall varje subrobot kunna utföra sitt uppdrag som en "konventionell" robot, utan samverkan med övriga subrobotar. Möjlighet till samverkan är en option som i princip kan anses innebära att en enskild subrobot kan tillgodogöra sig information från en betydligt större "stråkbredd" än som vore fallet vid utnyttjande av endast den egna målsökaren.

En annan sårbarhet hos det samverkande robotsystemet är fiendens möjlighet till vilseledning. Om en "konventionell" robot luras av skenmål medför detta att endast

den roboten går förlorad. En "samverkande" robot kan emellertid kommunicera den felaktiga målbilden till hela robotsystemet, vilket kan medföra att skenmålsinsatsen lurar flera subrobotar att gå mot fel mål.

5. Forskningsaspekter – styrsystemet

Ett samverkande robotsystem kan ge stora fördelar men för att det ska bli effektivt måste flera tekniker tas fram eller förfinas. I detta kapitel skall vi belysa några aspekter kring styrsystemet för ett autonomt, samverkande robotsystem. En utförligare beskrivning av styrproblem för multiagentsystem finns i (10) .

5.1 Systemegenskaper hos samverkande robotsystem

De mest framträdande *principiella systemegenskaperna* hos samverkande robotsystem är att

- styruddragen huvudsakligen är av kinematisk natur,
- systemet dynamiskt skall adaptera sig efter löpande information om sig självt och omgivningen,
- denna information är osäker samt av komplicerad natur och
- systemet har begränsad intern kommunikation.

De första tre egenskaperna finns även hos robotsystem utan ”samverkan”, och den fortsatta diskussionen inriktar sig därför huvudsakligen på den fjärde (och dess relationer till de övriga tre).

5.2 Kommunikationsbegränsningar

Det är inte självklart hur man skall definiera ”kommunikation” för samverkande enheter. Eftersom de verkar i en gemensam miljö, kommer de att ingå i och påverka varandras omgivningar. I det följande avses endast kommunikation via särskilda kommunikationskanaler (laserlänk, radio) som avsiktligt införts för ändamålet vid konstruktionen.

Ett robotsystem med obegränsad (fullständig, korrekt, omedelbar och ”gratis”) kommunikation kan anses utgöra ett enda monolitiskt dynamiskt system. Exempel på sådana system är de fiberoptiskt styrda robotsystem som tidigare har studerats inom projektet.

Ett robotsystem helt utan kommunikation består i princip av fristående system, även om en samordningseffekt mellan de ingående robotarna kan erhållas genom uppdragsplaneringen. Ett sådant exempel är Sjömålsrobot 15, där flera robotar kan programmeras att gå mot samma målområde, och där målvalskriterier bygger på kunskapen om var de övriga robotarna ”borde” vara.

I båda fallen blir de teoretiska problemen av väsentligen samma slag som för en enda robot, låt vara av radikalt olika komplexitet. För robotsystem med begränsad kommunikation uppstår däremot problemställningar av principiellt annan natur.

Kommunikationsbegränsningarna kan vara av flera slag, bandbreddsbegränsningar,

räckviddsbegränsningar, störningar, röjningsrisk m.m. Vissa begränsningar blir av typen "hårda bivillkor" (omöjligt att använda en viss kanal under vissa omständigheter), medan andra begränsningar är att betrakta som en kommunikationskostnad att väga mot övriga kostnader för systemet.

5.3 Autonomi

Frågan om autonomi uppträder här på två nivåer, dels autonomi för hela systemet (avsaknad av ledningscentral), dels för de enskilda robotarna. Samverkande robotsystem kan fungera såväl med som utan ledningscentral, och den eventuella ledningscentralens roll kan variera från ren övervakning med endast nödingripanden till informationsknutpunkt eller regelrätt fjärrstyrning.

Den följande diskussionen avser system utan ledningscentral, men är i stora stycken tillämplig även för system med ledningscentral.

Ett robotsystem utan kommunikation blir autonomt med isärkopplat beteende, men även ett system med obegränsad kommunikation kan uppträda med isärkopplat beteende om detta av någon anledning visar sig vara att föredra. Ett intressant problem är hur systemet kan välja att separera sig i åtminstone partiellt oberoende grupper, samt hur det kan sammansmälta sådana oberoende grupper till en. Måltilldelning hör till denna problemkrets.

Ett system utan särskilt utvald ledare blir robustare mot bekämpning och andra fel. Vissa ledarfunktioner kan ändå tillfälligt tilldelas en robot i systemet, varvid styralgoritmen utväljer den för tillfället och ändamålet mest lämpade roboten. Exempelvis är det lämpligt att två separerade grupper av robotar kommunicerar via korträckviddskanaler (laser) inom grupperna och via röjningskänsliga långräckviddskanaler (radio) mellan grupperna. Den senare kommunikationen bör skötas av den inom gruppen bäst lämpade roboten.

5.4 Metoder för utveckling av styralgoritmer

Metoder för att utveckla styralgoritmer för samverkande robotsystem omfattar t.ex. dynamisk programmering, särskilt reinforcement learning tillsammans med interpolation, on line optimering med Pontryagins princip samt potentialfältstyrning. Algoritmer kan bedömas efter nominella prestanda ("optimalitet"), robusthet, beräkningsmässig effektivitet och konceptuell enkelhet.

I nästa kapitel presenteras de metoder som projektet hittills har behandlat.

5.5 Scenarier

Olika scenarier är vägledande för bedömning av den relativa vikten för olika önskade egenskaper hos systemet. I Kapellskärsscenario i föregående kapitel är målen många, okända och relativt dåligt försvarade. Där gäller det att identifiera de viktigaste målen och att styra ett begränsat antal robotar mot så många av dessa som möjligt.

I ett sjömålsscenario kan förhållandet vara det omvända, ett flertal robotar skall styras mot ett enda tidigare identifierat men väl försvarat mål. Det gäller då att försvåra för motståndaren att sätta in motåtgärder, t.ex. genom att synkronisera anfallet och att en robot förmedlar målläget till övriga robotar som därmed kan anflyga dolt, och därmed maximera verkan av robotinsatsen.

Urban strid kan innebära ytterligare krav, t.ex. en större betydelse av graderad verkan.

6. Forskningsinsatser i projektet

I detta kapitel ges en sammanfattning av pågående och tidigare forskning om styrning av samverkande robotar inom projektet.

6.1 Uppdragsplanering och omplanering

I scenariot i kapitel 4 antas att tiden från att en begäran om robotinsats inkommer till OPIL tills dess att avfyrning av en första robot sker endast är några minuter. Detta förutsätter ett kraftfullt ledningssystem med mycket korta beslutsvägar och beslutstider. Det ställer också mycket stora krav på den uppdragsplanering som görs innan det att robotarna avfyras, även om robotförbandet naturligtvis kan ha förberett ett antal handlingsalternativ i förväg.

Vid uppdragsplaneringen skall en stor informationsmängd vägas ihop, måltyp, storlek på robotinsats, underrättelser om fiendens styrka, terränginformation, egna förbands grupperingar, väder, siktförhållanden, m.m. För att beräkna ett optimalt uppträdande måste operatörerna stöttas av ett kraftfullt beslutstödssystem.

6.2 Beräkning av målområde

När det gäller rörliga mål bestäms målområdets storlek till stor del av hur gammal underrättelseinformationen om målens läge är, och hur lång tid det tar för robotarna att anlända till målområdet. Med kännedom om målens rörelseförmåga kan man ganska enkelt beräkna inom vilket område de måste befinna sig efter en given tid. Detta område kan emellertid begränsas med kännedom om terrängens beskaffenhet och fiendens taktik, åtminstone kan man avgöra inom vilka områden målen uppträder med störst sannolikhet.

Målområdets omfattning och sannolikhetsfördelning bör kunna beräknas av beslutstödssystemet. Detta ligger sedan till grund för vilken taktik man väljer för robotsystemets uppträdande. Det utgör också à priori-information för målsökningsalgoritmerna under målsökningsfasen.

6.3 Taktikvärdering

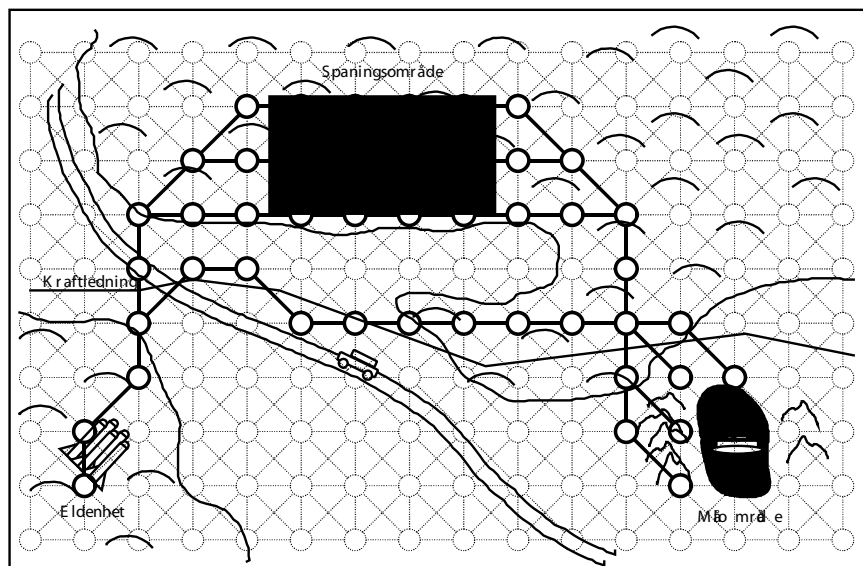
Med kännedom om målområdets omfattning bestäms en lämplig taktik för robotsystemets uppträdande. Här bör operatören stöttas av beslutstödssystemet med förslag på uppträdande, samt med att beräkna konsekvenserna av operatörens modifieringar av ett förslag. Den förutbestämda taktiken utgör ramar för robotsystemets autonoma uppträdande.

6.4 Optimering av anflygningsbanor

Målområdets omfattning och vald taktik för robotanfallet ger underlag för att beräkna optimala anflygningsbanor till målområdet. Anflygningsbanorna skall också ta hänsyn till systemprestanda, terräng, egna förband, fientlig motverkan, siktförhållanden m.m.

En metod att beräkna optimala banor för multipla robotar har föreslagits i (13). 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 6.1: 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.

6.5 Målsökning och målfördelning

Under målsökningsfasen är robotsystemets uppgift att spana av målområdet och upptäcka och identifiera mål. En önskad funktion hos styrsystemet är att autonomt kunna välja en optimal väg under målspaningen, med hänsyn tagen till underrättelseinformation, terräng och kännedom om fiendens taktik. Speciellt viktigt är detta när flera robotar deltar i sökfase så att deras sökvägar samordnas för att täcka så stort område som möjligt. Den målinformation som erhålls från robotarnas målsökare kan också påverka vägvalet, varför optimeringen måste ske kontinuerligt.

6.6 Optimal målsökning

En metod för optimal målsökning studeras för närvarande inom projektet Styrning av samverkande robotar.

Under målspaningsfasen är robotsystemets uppgift att reducera osäkerheten associerad med en initialt antagen målbild över målområdet. Målanalysfunktionen skall autonomt eller med stöd av operatören tolka, värdera och uppdatera den samlade informationen om målområdet i avsikt att lokalisera, klassificera och identifiera de

mål, skenmål och hot som finns i målområdet.

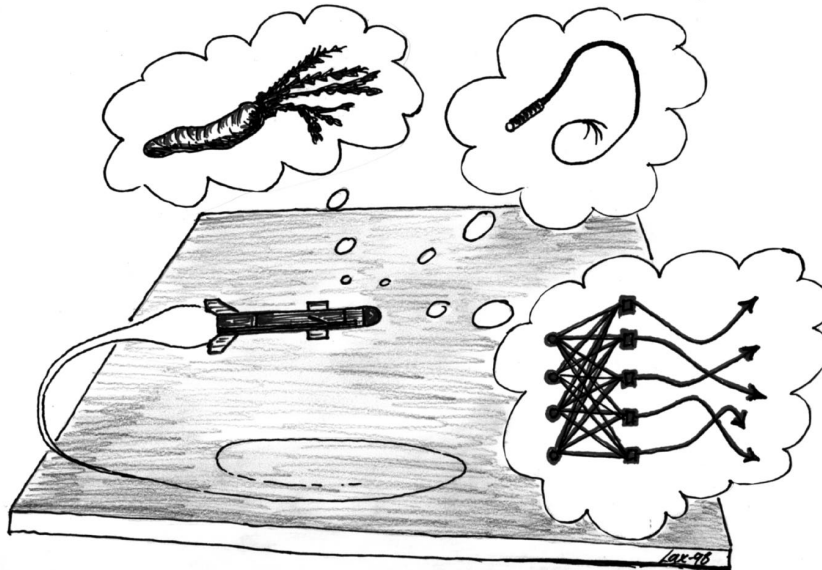
Målanalys sker kontinuerligt och uppdaterar en för robotsystemet global databas, en omvärldskarta, bestående av sannolikhetsfunktioner över målområdet för respektive mål, hot och övrigt. Efter målanalysfasen används informationen i kartan för målfördelning och slutfasstyrning.

Omvärldskartan fungerar också som en kommunikationskanal mellan robotarna. Varje robot utnyttjar kartan som en extra "global sensor" för att styra och koordinera sina flygbanor mot potentiellt intressanta områden med osäker information.

Vi vill finna en återkopplad styrlag som utifrån den aktuella omvärldskartan, robotarnas lokala sensorer, lägestillstånd och dynamik styr robotarna i sådana banor som maximerar informationsinhämtning under spaningsfasen.

En metod inom *reinforcement learning* kallad *temporal-difference learning* har använts i kombination med funktionsapproximering för att hitta en regulator som väljer en nästan

optimal sökväg för ett förenklat fall med robot inom sökområdet (6, 9) Regulatorn kan generalisera från inlärd exempel till mer allmänna fall. Funktionsapproximatorn utnyttjar ett neuralt nätverk med perceptroner i flera lager.



Figur 6.2: Styrning för maximal informationsinhämtning. Robotens styrsystem "lärt sig" en generaliserad styrlag utifrån typiska scenarier.

6.7 Målfördelning

Målfördelning utgör också ett optimeringsproblem, där man vill att de mest attraktiva målen skall fördelas på robotarna så att sannolikheten att slå ut dem blir så stor som möjligt. Ett sätt att hantera detta problem är att tilldela varje måltyp ett "poängvärde", samt att för varje robot beräkna sannolikheten att slå ut varje upptäckt mål. Genom att vikta poängvärde och utslagssannolikhet kan man beräkna en optimal fördelning. En stor svårighet blir dock att bestämma utslagssannolikheten i varje enskilt fall.

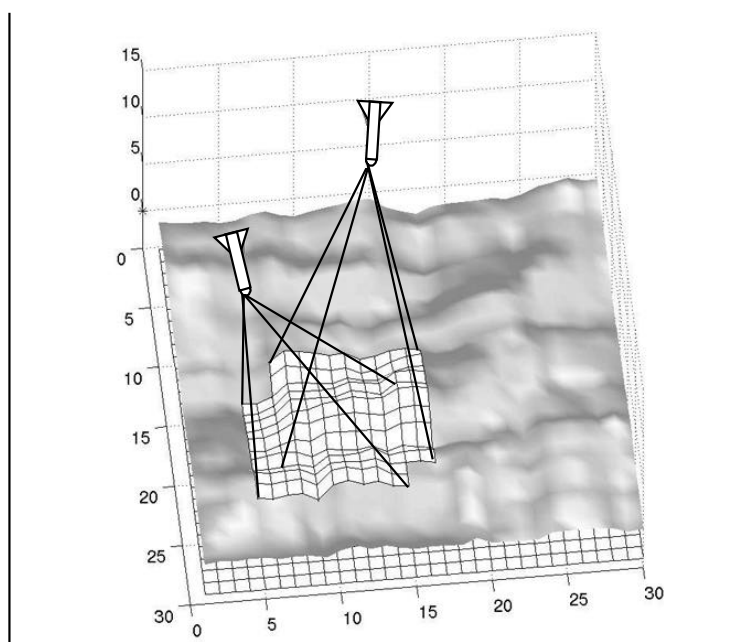
6.8 Målsökning och målfördelning

än mer komplext blir problemet om man beaktar att en robot som fått sig ett mål tilldelat också bidrar till målsökningen på sin väg mot detta mål. För att uppnå det mest optimala beteendet hos robotsystemet bör man därför behandla målsökning och målfördelning som ett gemensamt problem. Den optimeringsmetod som beskrivs ovan för målsökningen bör kunna vidareutvecklas för att även hantera målfördelningen.

6.9 Sensordatafusion

Informationsutbyte mellan robotar ger 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 (7) Vi betraktar problemet när två robotar samtidigt riktar sina målsökare mot samma område.



Figur 6.3: Två robotar betraktar samma målområde.

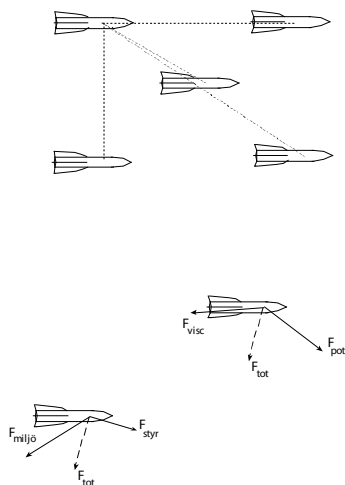
Informationen från robotarnas målsökare behandlas först var för sig. Denna bildbehandling ger oss målangivelser i form av position och egenskaper, samt ett mått på osäkerheten i angivelserna. Datorsystemets terrängdatabas i kombination med positionsdata från robotarnas navigeringssystem används för att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

6.10 Styrning av robotgrupper med potentialfält

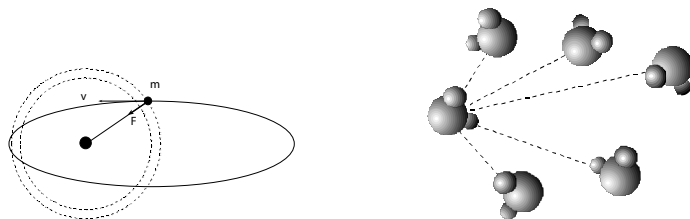
Ett nytt sätt att styra grupper av farkoster är potentialfältsstyrning. Principen är mycket enkel. Ställdonen (motorer, roder o.s.v.) sätts till sådana värden att den to-

tala kraften (respektive 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 6.4: Ett robotsystem med den totala kraften uppdelad i verkliga och tänkta komponenter.

Idén 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.



Figur 6.5: Parkrafter i solsystemet och mellan molekyler.

Metoden har utvecklats av Krishnaprasad och Leonard som använt den till styr-lagskonstruktion för samverkande satelliter respektive undervattensfarkoster. Kompletteringen med viskösa krafter och med yttre potential verkar vara ny. Metoden har ett antal egenskaper som gör den intressant för styrning av samverkande robotsystem:

- 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

$$m_A \ddot{r}_A = -\frac{\partial}{\partial r_A} U(r_1, r_2, \dots, r_N, t) - k_A \ddot{r}_A$$

$$U(r_1, r_2, \dots, r_N, t) = \sum_{A < B} u(|r_A - r_B|) + \sum_A U_{ext}(r_A, t)$$

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.

I följande bilder tagna från en simulering i Mathematica, visas hur en grupp robotar rör sig i formation längs en sinusformig väg, för att omformera sig till kolonn när de passerar ett trångt pass.



Figur 6.6: Robotgruppen under transport. Under passagen sker en omformation.

Metoden har framgångsrikt simulerats både i två och tre rumsdimensioner och med ett varierande antal robotar.

I nära förestående framtid skall styrmetoden prövas praktiskt på samverkande markfordon.

6.11 Simuleringsmodell i ramverket FLAMES

De ovan beskrivna forskningsområdena är inriktade på styrproblem av teknisk karaktär för samverkande agenter. För projektet är det också av stort intresse att kunna göra en fördjupad forskningsinsats på det taktiska utnyttjandet av samverkande robotar, där erfarenheter från den mer grundläggande forskningen är en viktig del.

För detta ändamål utvecklas en simuleringsmodell för ett samverkande robotsystem anpassad för taktiska simuleringar. En utförligare presentation av detta arbete finns i (8)

6.11.1 FLAMES För implementationen av det samverkande robotsystemet har använts simuleringsramverket FLAMES från Ternion. FLAMES är ett simuleringsramverk som tillåter komplexa simuleringar av system. Ramverket tillhandahåller allt ifrån enkla klipp-och-klistra funktioner upp till utveckling av väldigt komplexa modeller, även beteendebaserade (s.k. kognitiva modeller). Därför kan produkten användas omedelbart för enklare scenarier och efter tillräckligt god kännedom om verktyget

kan betydligt mer komplexa scenarier utvecklas och studeras. Med FLAMES kan användaren utveckla, exekvera, analysera och visualisera scenarier i både 2D och 3D. Verktöget kan användas bl.a. till visualisering av problem, taktiska simuleringar och beteendeanalys.

FLAMES är ett av de kraftfullaste simuleringsramverktygen för simuleringar av många mot många dueller på marknaden idag. Det är utvecklat för att användas främst inom den militära sektorn och tillhandahåller åtskilliga användbara modeller inom området. Det klarar olika upplösningar, varierande och omfattande scenariostorlekar m.m.

FLAMES är även utvecklat för att kunna passa många olika syften såsom exempelvis wargaming, systemanalys, taktisk utvärdering etc. Ramverktyget är också ett av de få som stödjer fri utveckling av kognitiva modeller. Sammantaget så gjorde dessa finesser att FLAMES valdes som lämpligaste simuleringsramverktyg för taktiska simuleringar av det samverkande robotsystemet.

6.11.2 Utfört arbete relaterat till FLAMES En robotmodell har utvecklats i två steg, först implementerades ett autonomt uppträdande hos en robotmodell (14) och sedan implementerades samverkan i den nu autonoma roboten (15) Robotmodellen har sedan utnyttjats i ett demonstrationsscenario, där valda delar av det scenario som presenteras i denna rapport har modellerats. Demonstrationsscenariot beskrivs i [12].

Simuleringsmodellen av robotsystemet har varit baserad på komponenter som simuleringsramverket tillhandahåller, samt en kognitiv modell där det autonoma beteendet och funktionalitet för samverkan implementeras.

Konceptet "samverkande robotar" skiljer sig till stor del från traditionella robotsystem, vilket får till följd att det samverkande robotsystemet inte till fullo kan modelleras med de exempelmodeller som följer med FLAMES. Exempelmodellerna kan dock med fördel användas för att modellera övrig utrustning, såsom sensorer, målsökare, mål och liknande som inte är huvudsyftet för studien men som ändå erfordras för simuleringarna.

6.11.3 Fortsatt arbete Inför det fortsatta arbetet har några viktiga punkter identifierats, som behöver utvecklas för att tillförlitliga taktiska simuleringar skall kunna utföras.

Robotmodell I det tidigare arbetet har FLAMES exempelmodeller använts för robotmodellen. För att komma ifrån de begränsningar dessa medför kommer en ny grundläggande robotmodell att utvecklas, som bättre stämmer överens med egenskaper hos de system som skall simuleras.

Kommunikationsmodell Nuvarande kommunikationsmodell ger "perfekt kommunikation" i alla lägen. Den behöver kompletteras med algoritmer för hur signaler störs, blir fördröjda eller kan bli förvanskade genom att information både kan läggas till eller tas ifrån.

Kognitiv modell Den kognitiva modellen innehåller robotsystemets "intelligens". Denna måste utvecklas med nya funktioner, som gör att robotarna i simuleringen efterliknar de funktioner vi tillskriver ett framtida samverkande robotsystem.

Modell av rörligt markmål I det föreliggande scenariot finns ett stort antal rörliga markfordon. Då FLAMES är framtaget främst med tanke på luftstrid är de tillhandahållna exempelmodellerna för markobjekt tämligen enkla även i jämförelse med övriga modeller. Modeller för aktuella markmål behöver därför utvecklas.

Målsökarmodell Med nya, mer realistiska målmodeller behövs en ny målsökare som kan interagera med dessa. Målsökarmodellen bör även vara möjlig att störa, avhaka eller lura med skenmål. Målsökaren skall ha kapacitet att hitta mål och skenmål men även kapacitet att identifiera dessa. En förmåga som skulle vara av särskilt intresse för detta projekt är om identifieringen inte enbart baseras på informationen från en målsökare utan från flera.

6.11.4 Terränghantering i FLAMES FLAMES är i första hand avsedd för luftstridssimuleringar och har därmed inte särskilt avancerad terränghantering. I standardutförande hanteras endast höjddata och det finns en algoritm som räknar ut om det råder fri sikt mellan två punkter i terrängen. För att kunna köra avancerade simuleringar även på marknivå finns önskemål om att gifta ihop ramverket med ett mer avancerat GIS-system. FOI-projektet Informationsfusion utvärderar tillsammans med Ternion för närvarande några av världens mest lovande GIS-system. En implementation av det nya GIS-systemet i FLAMES beräknas vara klart under 2002, vilket då kommer till nytta även i detta projekt.

7. Slutsatser

Rapporten beskriver ett långräckviddigt 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 långräckviddiga 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.

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 anfallet. Förhållandet pris/prestanda jämfört med alternativa vapensystem behöver dock ytterligare utredas.

8. Fortsatt arbete

I det fortsatta arbetet inom projektet Ledning och styrning av samverkande robotar kommer vi dels att fördjupa det scenario som beskrivs i denna rapport, dels utnyttja fler scenarier som belyser andra aspekter av styrning av samverkande robotar. Robot-systemets koppling till ledningssystemet kommer att få en fortsatt utförlig belysning, för att avgöra dess roll i ett framtida nätverksbaserat ledningssystem.

I rapporten tar vi upp några aspekter av styrsystemets uppbyggnad för ett samverkande robotsystem. Detta arbete kommer också att fördjupas under det kommande året med en analys av möjligheten att realisera de olika delarna.

Den simuleringsmiljö som byggts upp i FLAMES för taktiska simuleringar av ett samverkande robotsystem kommer att förfinas och utnyttjas under nästa år. Framför allt vill vi kunna jämföra effekten av ett anfall med samverkande robotar med ett mer konventionellt robotsystem utan möjlighet till samverkan. I detta sammanhang är modellering av kommunikationsflöde i samband med informationskrigföring av central betydelse.

Forskningen på några utvalda styrprinciper för samverkan kommer att fortsätta och fördjupas. Inom projektet har simuleringspaketet ROSA utvecklats som ett verktyg för att genomföra simuleringar av samverkande robotar på en teknisk nivå. Detta verktyg kommer att utnyttjas vid utvecklingen nya styralgoritmer.

Litteraturförteckning

- [1] Peter Alvå, Folke Andersson och Erik Berglund. Fiberoptiskt styrda robotar - systemaspekter. Teknisk rapport FOA-R--97-00614-314--SE, FOA, November 1997.
- [2] Peter Alvå, Folke Andersson, G. Carlsson och Mikael Karlsson. Fiberoptiskt styrt robotsystem - aspekter på samordnade robotanfall. Teknisk rapport, FOA, December 1999.
- [3] Peter Alvå, Folke Andersson och Dag Wallström. Studie av samverkande robotsystem - insats mot landstigen mekaniserad bataljon. Teknisk rapport FOA-R--00-01799-314--SE, FOA, December 2000.
- [4] Peter Alvå, Erik Berglund, L. Carlsson och C. Laurent. Fiberoptiskt styrda robotar - förstudie. Teknisk rapport FOA-R--96-00313-2.5--SE, FOA, Oktober 1996.
- [5] Tommy André, Tore Isacson, G Kihlström och Jan-Erik Svensson. FoR-MA/LUST årsrapport 2000 - situationsuppfattning och ledning för rätt insats. Teknisk rapport FOI-R--0016--SE, FOI, Januari 2001.
- [6] Lars Axelson. Reinforcement learning for missile control. Sci. rept. FOA-R--98-00916-314--SE, Försvarets forskningsanstalt, FOA, 1998.
- [7] Daniel Brolund. Fiberoptic guided missiles - a missile seeker model and methods for fusing seeker data in a system with multiple missiles. Sci. rept. FOA-R--97-00664-314--SE, Försvarets forskningsanstalt, FOA, 1997.
- [8] Martin Eklöf, Johan Pelo, Jenny Ulriksson och Dag Wallström. Styrning av samverkande robotar - en studie av modellering och simulering i flames. Teknisk rapport FOI-R--032--SE, FOI, December 2001.
- [9] Antonios Fokas. Styrlag för nära optimal målsökning för ett system med fiberoptiskt styrda robotar. Teknisk rapport FOA-R--99-01346-314--SE, FOA, December 1999.
- [10] Antonios Fokas. Optimering av robotinsats med samverkande robotar - en litteraturstudie. Teknisk rapport FOA-R--001800-314--SE, FOA, December 2000.
- [11] Insitu group. Web-sida. <http://www.insitugroup.net>.
- [12] U. Known. Guess what. Teknisk rapport ????, IDR, Oktober 2001.
- [13] Peter Raicevic. Fibreoptic guided missiles - optimization of flight paths. Sci. rept. FOA-R--97-00663-314--SE, Försvarets forskningsanstalt, FOA, 1997.
- [14] Eva Sandén. An investigation and preliminary implementation of a cognitive model for autonomous missile behaviour in flames. Teknisk rapport FOI-D--0013--SE, FOI, 2001.
- [15] Jenny Ulriksson. An investigation and prototype development of a simulation model of an autonomous co-operating missile system. Teknisk rapport FOI-D--0017--SE, FOI, 2001.

A. Förbandssymboler

Egna förband (blå)



Mekaniserad bataljon



Luftburen bataljon



Pansarhaubitsbataljon



Raketartilleribataljon



Markrobotbataljon



Luftvärnsbataljon



Hemvärnsgrupp

Fientliga förband (röda)



Mekaniserad bataljon



Mekskyttekompani (stridsfordon)



Stridsvagnskompani



Stridsvagnspluton



Artilleri (bepansrat)



Luftvärn