

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Systemteknik  
172 90 Stockholm

FOI-R--0322--SE

December 2001

ISSN 1650-1942

**Användarrapport**

Martin Eklöf, Johan Pelo, Jenny Ulriksson, Dag Wallström

# **Styrning av samverkande robotsystem**

**En Studie av Modellering och Simulering i FLAMES™**

<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Systemteknik 172 90 Stockholm	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--0322--SE	<b>Klassificering</b> Användarrapport
	<b>Forskningsområde</b> 5. Bekämpning	
	<b>Månad, år</b> December 2001	<b>Projektnummer</b> E6003
	<b>Verksamhetsgren</b> 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	<b>Delområde</b> 51 VVS med styrda vapen	
<b>Författare/redaktör</b> Martin Eklöf Johan Pelo Jenny Ulriksson Dag Wallström	<b>Projektledare</b> Peter Alvå	
	<b>Godkänd av</b> Monica Dahmén	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> FM	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b> Per Brämning	
<b>Rapportens titel</b> Styrning av samverkande robotsystem - En Studie av Modellering och Simulering i FLAMES™		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> Det här dokumentet beskriver arbetet med att modellera och simulera ett militärt scenario i ramverktyget FLAMES™.  Projektet "Styrning av Samverkande Robotar", under vilken denna studie ligger, har till huvudsyfte att studera fördelarna och möjligheterna med ett samverkande robotsystem men också att se på möjligheten att belysa dessa genom simuleringar. Det arbete som här beskrivs har gjorts av två syften. Dels att undersöka metodiken för att bygga upp ett scenario och dels för att identifiera vilka funktioner som behöver implementeras för att en simulering ska kunna belysa relevanta aspekter av en studie av föreliggande typ.  Ett för studien lämpligt scenario har valts och beskrivs kortfattat. Detta scenario har sedan modellerats med idag tillgängliga moduler och simuleringsresultatet gås igenom. Därefter diskuteras hur olika funktioner i modellen har modellerats och vilka förenklingar som gjorts. Slutligen listas ett antal funktioner och moduler som behövs för att förfina simuleringen och förenkla modelleringsarbetet.		
<b>Nyckelord</b> Robotar Samverkam Styrda vapen Modellering FLAMES		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
ISSN 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 25 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris: Enligt prislista</b>  <b>Sekretess</b>	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Systems Technology SE-172 90 Stockholm	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--0322--SE	<b>Report type</b> User report
	<b>Research area code</b> 5. Combat	
	<b>Month year</b> December 2001	<b>Project no.</b> E6003
	<b>Customers code</b> 5. Contracted Research	
	<b>Sub area code</b> 51 Weapons and Protection	
<b>Author/s (editor/s)</b> Martin Eklöf Johan Pelo Jenny Ulriksson Dag Wallström	<b>Project manager</b> Peter Alvå	
	<b>Approved by</b> Monica Dahlén	
	<b>Sponsoring agency</b> Swedish armed forces	
	<b>Scientifically and technically responsible</b> Per Brämning	
<b>Report title (In translation)</b> Guidance of collaborating missiles - A study of modelling and simulation in FLAMES™		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>This document describes the task of modelling and simulation a military situation in the framework FLAMES™. The study is performed under the project "Collaborating Missiles" and its prime objective has been to study the advantage and the possibilities of a collaborating missile system in contrast to a conventional missile system but also investigate the possibility to illustrate those advantages through computer simulations. The study has been launched to investigate two major issues. The first has been to investigate how to build a specific scenario in FLAMES™ with models and modules of today's standard. The second has been to identify functions and modules that are needed to build a scenario flexibly enough to illuminate the specific problems in this specific case.</p> <p>A suitable scenario has been chosen and is briefly described. This scenario has been modelled in FLAMES™ with today's existing modules and the result is discussed. Thereafter is a description of how different functions are modelled. And finally presents a list of functions and modules that is needed to build more advance models and to make modelling easier.</p>		
<b>Keywords</b> Missile systems, Collaborating missiles, Modelling, Guided weapons, FLAMES		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 25 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b> <b>Security classification</b>	



## Innehållsförteckning

1	Inledning .....	7
1.1	Uppdraget.....	7
1.2	Syfte med detta arbete.....	7
2	Modellering och simulering .....	9
2.1	Nyttan av modellering och simulering i projektet .....	9
2.2	Beskrivning av simuleringsmiljön .....	9
2.2.1	Simuleringsramverk .....	9
2.2.2	Simuleringsramverket FLAMES™ .....	10
3	Scenario – Roslagen.....	11
3.1	Bakgrund till scenariot .....	11
3.2	Insats med samverkande subrobotar .....	12
3.3	Simuleringsresultat.....	13
3.3.1	Bärrrobotarnas spaningsinsats.....	13
3.3.2	Anfallet mot stridsvagnskolonnen .....	14
3.3.3	Anfallet mot artillerigrupperingarna .....	15
4	Modeller – behov och produktion.....	17
4.1	Inledning .....	17
4.2	Egna aktörer .....	18
4.2.1	Styrmodeller/Kognitiva modeller (m-modellen) .....	19
4.2.2	Bärrroboten.....	20
4.2.3	Robotmodeller/subrobotar .....	21
4.2.4	Vapensystemmodell .....	23
4.3	Fientliga aktörer .....	23
4.3.1	Fordonsmodell .....	23
5	Kopplingar till andra projekt.....	25
5.1	Terränghantering i FLAMES™ .....	25
5.2	FLAMES-kurser.....	25
6	Fortsatt arbete.....	27
6.1	Inledning .....	27
6.2	Robotmodell.....	27
6.3	Kommunikationsmodell.....	28
6.4	Kognitiv modell .....	28
6.5	Modell av rörligt markmål .....	28
6.6	Målsökarmodell .....	28
6.7	Andra modeller .....	29
7	Referenser .....	31



# 1 Inledning

## 1.1 Uppdraget

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 [1]. 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. belystes [2, 3]. 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 har möjlighet till ett samordnat uppträdande. Resultatet av studien avrapporterades i [4].

Under 1998-2000 införskaffade och implementerade projektet "Robotars funktion i framtida hotmiljö", även kallat "TEAM", utvecklingsverktyget FLAMES™ för analys och modellering av komplexa vapensystem. Inom har verktyget vidareutvecklats och använts för att simulera och analysera situationer där många objekt är involverade.

Under 2001 har möjligheten att simulera samverkan studerats. Ett scenario har modellerats och kritiska områden identifierats. Resultatet av studien presenteras i denna rapport.

## 1.2 Syfte med detta arbete

Projektet "Samverkande robotar" har bl.a. som syfte att undersöka möjligheterna för simulering av beteendemodeller i ramverktyget FLAMES™. För att klargöra FLAMES™ möjligheter har det scenario som beskrivs i [4] modellerats. Redan tidigare har vissa funktioner identifierats, vilket har resulterat i två examensarbeten inom projektet.

Det första examensarbetet påbörjades 1999 och syftade till att implementera ett autonomiskt uppträdande hos en robotmodell. Funktionen hos denna robotmodell har demonstrerats genom att några enklare scenarier har modellerats i FLAMES™ [5].

Det andra examensarbetet utfördes under våren 2001 som en vidareutveckling av det första. Denna gång var syftet att implementera samverkan i den nu autonoma roboten [6]. Resultatet har legat till grund för årets fortsatta arbete med FLAMES™ inom projektet.





## 2 Modellering och simulering

Datoriserad modellering och simulering av ett system innebär att en modell av ett system studeras över en tidsperiod. Modellen är en matematisk representation av det system som ska studeras och är således en abstraktion av ett verkligt problem. Graden av hur verklighetstrogen modellen är bestäms av den abstraktionsnivå som valts vid modelleringen.

Modellen är ofta framtagen för ett specifikt syfte. Detta kan vara allt ifrån att visualisera problemet tydligt för att öka förståelsen, till att sätta upp taktiska scenarier för metodutveckling.

### 2.1 Nyttan av modellering och simulering i projektet

Att i verkligheten sätta upp en första prototyp av ett robotsystem och därefter undersöka taktiska egenskaper och studera användarnas beteende är orealistiskt både från ekonomisk och säkerhetsmässig synvinkel. Modellering och simulering är däremot ett mycket lämpligt verktyg för att studera effekten av ett samverkande robotsystem och senare även kunna jämföra resultatet med simuleringar av ett robotsystem som inte samverkar men i övrigt simuleras med samma förutsättningar som det samverkande robotsystemet.

Ett delmål i projektet är att utveckla simuleringsmodeller för dels ett samverkande robotsystem och dels ett icke-samverkande. Därefter ska taktiska simuleringar genomföras med de båda systemen och resultaten jämförs. På detta sätt kan miljö, scenariots komplexitet och attribut mm. varieras för att göra den resultatanalys som är nödvändig för metodutvecklingen.

### 2.2 Beskrivning av simuleringsmiljön

#### 2.2.1 Simuleringsramverk

Ett simuleringsramverk är enligt definition en generell och flexibel objektorienterad simuleringsmiljö som tillhandahåller bl.a. tjänster och abstrakta klasser och information om hur dessa interagerar. Fördelen med ett sådant ramverk är att man inte i första hand behöver fördjupa sig i en mängd simuleringstekniska detaljer utan i stället kan koncentrera sig på kärnuppgiften. Vidare tillhandahåller ramverket ett stort antal nyttiga tjänster specifika för det område det är designat för. Ramverktyget underlättar också återanvändningen av både modeller och scenarier.

Ramverktyget kan ses som en verktygslåda som underlättar utveckling och simulering av komplexa scenarier. Verktygslådan innehåller funktioner, verktyg och applikationer som kan återanvändas. För att ramverktyget ska vara användbart bör det vara relativt okomplicerat att lära sig och tillhandahålla en miljö, som förutom att tillåta avancerade simuleringar, möjliggör vidareutveckling av befintliga modeller och framtagning av helt nya modeller.

Ytterligare funktioner som bör finnas i ett simuleringsramverk är att tillhandahålla ett antal gemensamma tjänster såsom tidshantering, databashantering, terränghantering m.fl. Alla

kommersiella simuleringsramverk tillhandahåller inte alla dessa tjänster och bland de som gör det är kvalitén skiftande.

## **2.2.2 Simuleringsramverket FLAMES™**

För implementation av det samverkande robotsystemet används numera simuleringsramverktyget 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 mycket komplexa modeller, det gäller även för beteendebaserade modeller (s.k. kognitiva modeller).

Ramverktyget levereras med ett antal så kallade exempelmodeller, det vill säga ett antal enkla modeller för en mängd olika tillämpningar. Därför kan produkten börja användas omedelbart, utan en alltför stor arbetsinsats, för enklare scenarier. Exempelmodellerna är tillräckligt bra för att man, med god kännedom om verktyget, ska kunna modellera och studera mer komplexa scenarier.

Med FLAMES™ kan användaren utveckla, exekvera, analysera och visualisera scenarier i både 2D och 3D. Verktyget kan användas bl.a. till visualisering av problem, taktiska simuleringar och beteendeanalys.

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

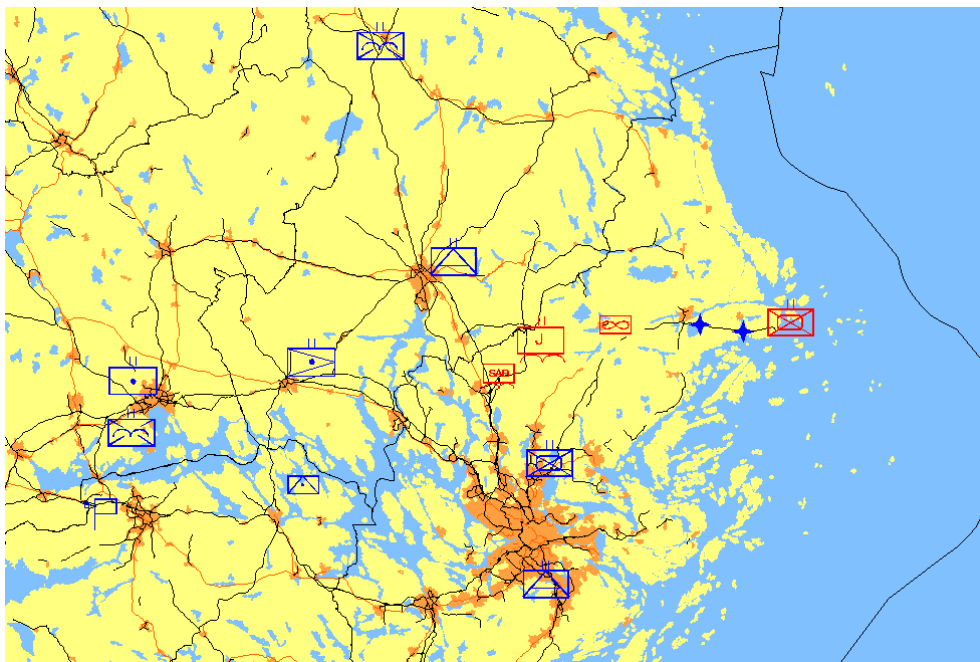
FLAMES™ är även utvecklat för att kunna passa många olika syften såsom exempelvis krigsspel, systemanalys, taktisk utvärdering etc. Ramverktyget är också ett av de få som stödjer fri utveckling av kognitiva modeller. Sammantaget gjorde dessa finesser att FLAMES™ valdes som det lämpligaste simuleringsramverktyget för en del av simuleringarna av det samverkande robotsystemet.

### 3 Scenario – Roslagen

Det scenario som har modellerats i FLAMES™ beskrivs i [4] men med vissa modifieringar. Eftersom det är själva vapeninsatsen med ett samverkande robotsystem som skall studeras, simuleras inte de första delarna av scenariot utan simuleringen påbörjas när subrobotarna har separerat från bärarrobotarna.

#### 3.1 Bakgrund till scenariot

Fientliga styrkor har överraskande landstigit i Kapellskär och landat på Arlanda med hjälp av ”Trojanska hästar”, d.v.s. civila fartyg respektive flygplan har utnyttjats för att dölja trupptransporten. Lite senare luftlandsätts en fientlig styrka i Skepptuna, samtidigt som attackhelikoptrar landar i Tierp. Angriparens syfte bedöms vara att upprätta ett brohuvud mellan Arlanda och Kapellskär för att kunna ta in nya trupper och gå mot Stockholm.

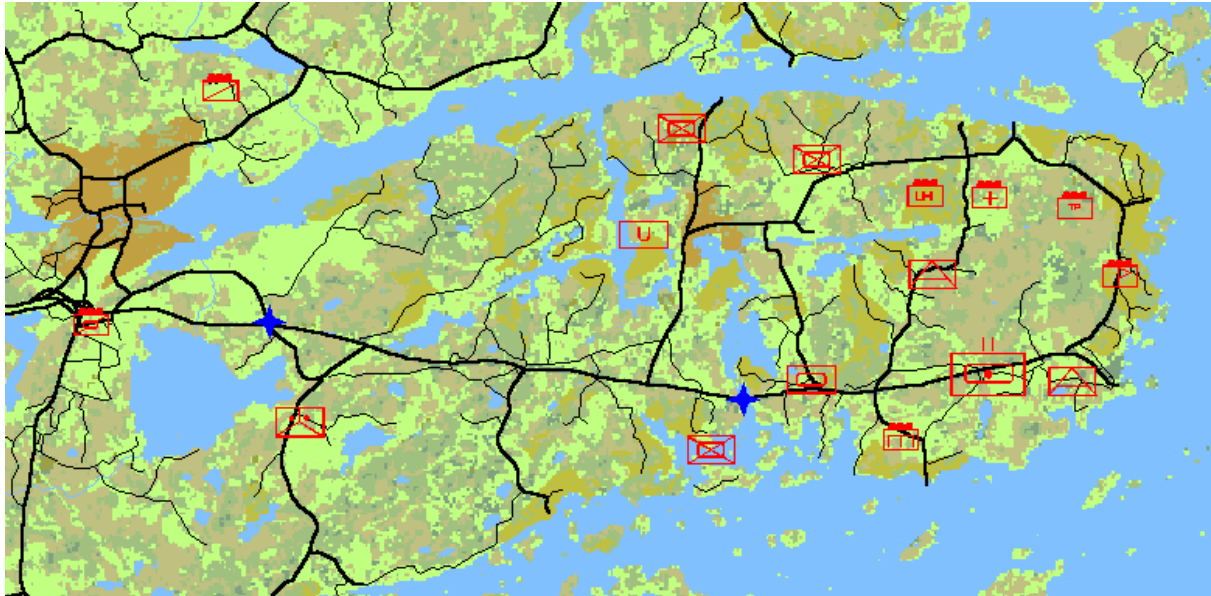


Figur 3.1 Läget två timmar efter krigsutbrottet

Våra enheter som kan sättas in mot angriparen i Roslagen är för närvarande ganska få. En brigad är under gruppering i området, f.n. är endast en lätt mekaniserad bataljon, som befinner sig på övning norr om Stockholm, operativ. Brigaden får order om att ingripa mot angriparen. Brigadstaben är f.n. 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.

1. Mekbat framrycker mot Rådmansö med uppgift att förhindra den landstigna angriparen från att ta sig förbi Norrtälje och upprätta sitt brohuvud. Bataljonen utnyttjar sitt UAV-system för

att samla information om fiendens styrkor och gruppering. Så småningom resulterar UAV-spaningen i följande lägesbild över Rådmansö.



*Figur 3.2 Landstigen fiende på Rådmansö - Mekbat(+)*

Några mindre 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.

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; RSV-subrobotar mot främst fiendens haubitsbataljon och stridsvagnskompani. För att kunna slå fienden på Rådmansö måste insatsen tillfoga honom 50 % förluster.

### 3.2 Insats med samverkande subrobotar

UAV-spaningen visade att fiendestyrkan på Rådmansö utgörs av en förstärkt mekaniserad bataljon, där följande mål är intressanta för markrobotinsatsen.

- 6 stridsvagnar i kolonn vid den sprängda bron över Åkeröfjärden i riktning österut.
- 2 robotluftvärnsfordon tillsammans med stridsvagnarna på plats fyra och sex framifrån i kolonnens färdriktning.
- 6 artilleripjäser i eldställning.
- 2 luftvärnsbatterier grupperade tillsammans med artilleriet.
- Ett antal stridsfordon utspridda på vägarna i området.

Av dessa mål har luftvärn högst prioritet, därefter kommer stridsvagnar och artilleripjäser och sist stridsfordon. Det kan ses underligt då stridsvagnar och i ännu större utsträckning artilleri är de enheter som har förmåga att slå mot oss. Anledningen är den att luftvärnet drastiskt kan sätta ned effekten av robotanfallet.

Bataljonschefen har till sitt förfogande ett batteri tunga attackrobotar. Varje attackrobot består av en bärarrobot kallad TAURUS Transporter och åtta subrobotar kallade EURAAS. Alla robotarna, både TAURUS Transporter och EURAAS, har förmåga att kommunicera med varandra och med markcentralen, eldenheten.

Det spelkort som ligger till grund för TAURUS Transporter beskrivs i [4]. Systemet kan utnyttjas för insats mot såväl fordon som fartygsmål samt RF-emitterande måltypen t ex spanings- eller eldledningsradar. TAURUS Transporter kan avfyras från en flygande vapenbärare (JAS 39 Gripen), alternativt förses med startraket(er) som medger utskjutning från fordonsmonterad markklavett.

TAURUS Transporters räckvidd är c:a 500 km men vid beräkning av total systemräckvidd måste hänsyn tas till subsystemens planerade uppträdande efter det att dessa separerat från bärare. TAURUS Transporter är utrustad med ett målsökarsystem bestående av en laserradar integrerad med en detektor i det visuella/NIR området. Den är också utrustad med en laserkommunikationslänk med en radiolänk som backup.

EURAAS är turbojetmotordriven och försedd med en målsökare av samma typ som den som TAURUS Transporter är utrustad med. EURAAS kan med hjälp av en avancerad målsökaralgoritm i kombination med ett medfört målbibliotek välja stridsdelsmod beroende på måltyp.

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

Planen är att sätta in två grupper EURAAS mot stridsvagnskolonnen och de andra två grupperna mot artilleriet. För att mätta luftvärnet kommer alla robotarna in samtidigt mot respektive målområde. Två robotar avdelas till att slå mot luftvärnet så att varje luftvärnsenhet bekämpas samtidigt av två robotar. Dessa robotar samordnar sina anfall så att de anfaller luftvärnsenheterna från motsatta håll, 180 grader emellan, samtidigt.

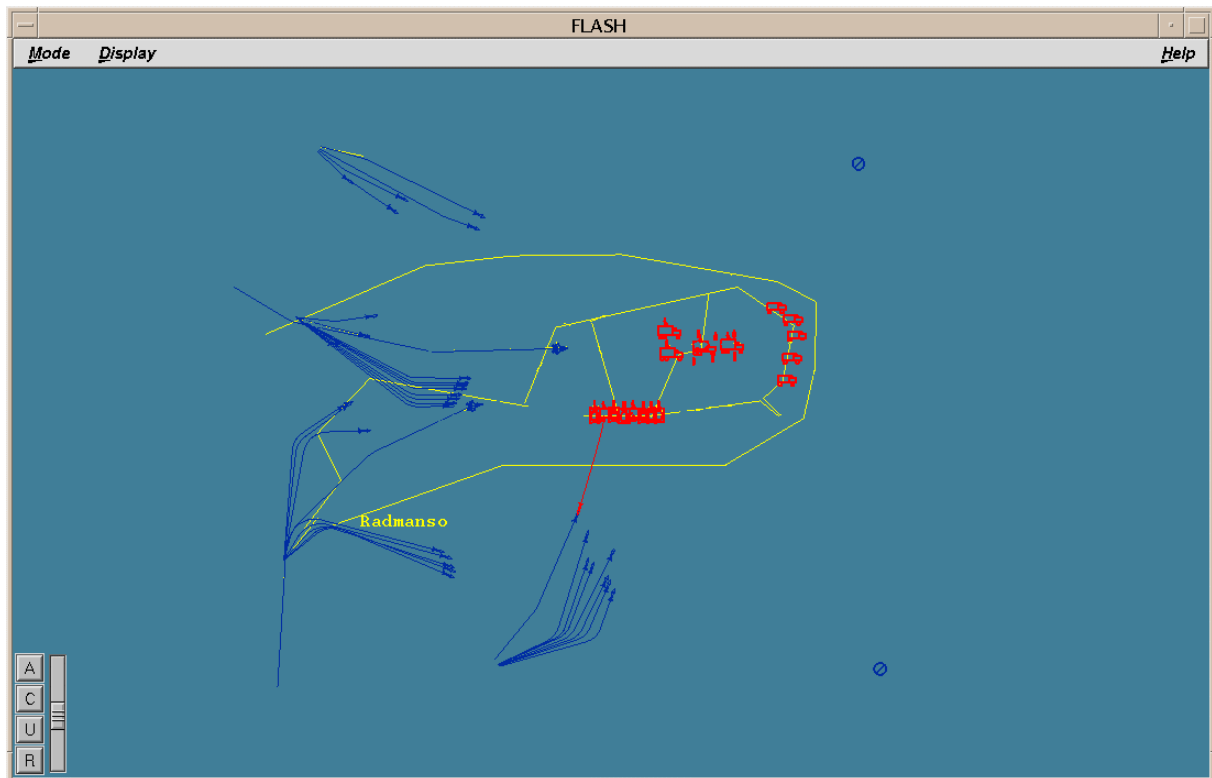
Då alla prioriterade mål är bekämpade börjar robotarna söka efter andra mål, i första hand stridsfordon.

### **3.3 Simuleringsresultat**

Som redan nämnts börjar simuleringen då subrobotarna har separerat från bärrmissilerna, då det är själva vapeninsatsen som här ska studeras.

#### **3.3.1 Bärarrobotarnas spaningsinsats**

Bärarrobotarna flyger över området, två från öster och två från väster. Flygvägarna väljs för att kunna avspana ett så stort område som möjligt. I första hand försöker bärarrobotarna verifiera och uppdatera UAVernas tidigare levererade målinformation och i andra hand försöka upptäcka eventuella nya mål genom att avspana vägar och andra områden med hög sannolikhet för förekomst av fordon. Det vill säga bärarrobotarna slösar inte tid med att avspana t. ex. större vattensamlingar.



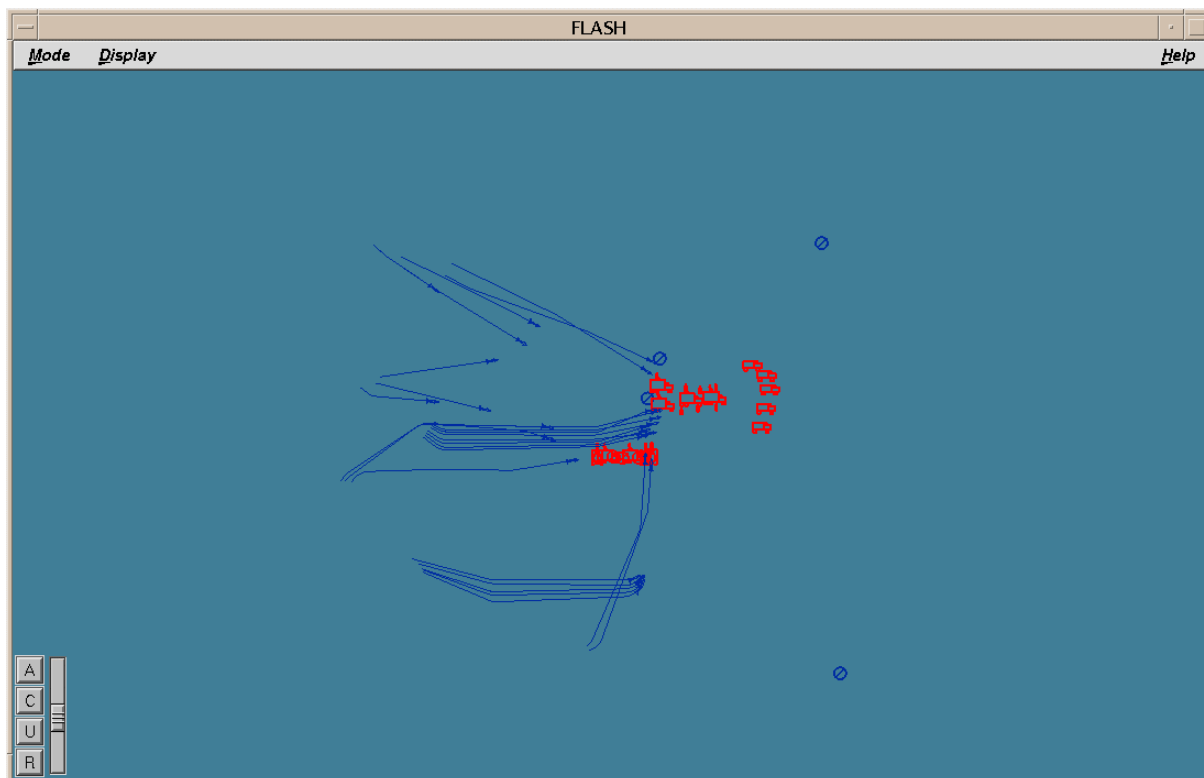
Figur 3.3 bärrrobotarnas avspaning av målområdet

### 3.3.2 Anfallet mot stridsvagnskolonnen

Anfallet genomförs som planerat. De robotar som inte slår mot luftvärnet fördelar målen mellan sig. Eftersom det är fler robotar än mål blir några, sex robotar, utan mål. Dessa följer dock med de andra robotarna fram till målområdet för att kunna fungera som ersättare om någon eller några robotar blir bekämpade eller om något av anfallen misslyckas.

Under anflygningen blir en robot nedskjuten av luftvärnet innan det blir nedkämpat, men överskottet på robotar medför att alla stridsvagnarna blir bekämpade.

Fem robotar återstår och börjar söka efter nya mål enligt tidigare erhållen information av bärrrobotarna.



Figur 3.4 Attackrobotarnas gruppering för att anfalla dels stridsvagnskolonnen och dels artillerigrupperingen

### 3.3.3 Anfallet mot artillerigrupperingarna

Vid detta anfall visar det sig att två ytterligare, ej tidigare upptäckta, luftvärnsbatterier är grupperade inom området och deltar i bekämpningen av robotarna varav fyra robotar blir bekämpade. En målomfördelning sker mellan de återstående robotarna och ytterligare fyra robotar avdelas för att bekämpa detta nya hot. Dessa fyra robotar väljer sina banor för att i första hand slå mot det nya hotet så snabbt som möjligt och i andra hand välja banor och tidspassning för att maximera effekten av anfallet.

Samtidigt rapporteras till de grupper som anfaller stridsvagnskolonnen att antalet högprioriterade mål i detta målområde nu är högre än antalet tillgängliga attackrobotar.

Luftvärnet blir bekämpat men bara fyra av artilleripjäserna. De fem återstående robotarna från stridsvagnsanfallet anflyger mot de två artilleripjäser som återstår. Information om vilka pjäser som inte har anfallits har robotarna mottagit via kommunikationslänken. De två robotar som bedöms ligga bäst till för att anfalla de två återstående pjäserna anfäller dessa. De övriga tre väljer banor för att undersöka om någon pjäs i det föregående anfallet har överlevt.

Då inga obekämpade artilleripjäser påträffas flyger de tre återstående robotarna an mot vägarna i området för att slå mot varsitt först påträffat stridsfordon.





## 4 Modeller – behov och produktion

### 4.1 Inledning

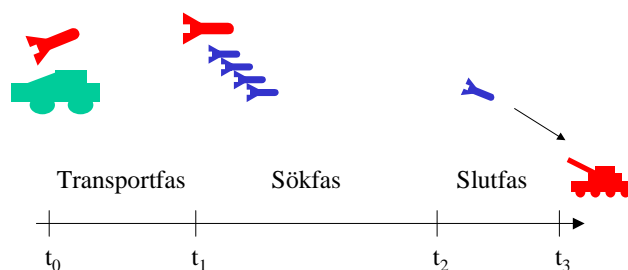
En första analys av det aktuella scenariot har genomförts, d v s en detaljerad genomgång och analys av scenariots alla ingående delar är utförd. Bl.a. har robotarnas beteende och plattformsmodell studerats. Med robotplattformsmodell menas här en modell över den fysiska robotens dynamiska och kinematiska egenskaper.

Analys har gjorts kring huruvida modellen ska utvecklas vidare och hur en prototyp av vapensystemet TAURUS med dess subrobotar EURAAS ska kunna utvecklas i FLAMES™. Modellering av mål, målinformation och terräng mm har analyserats, bl.a. målinformation från rörliga mål och vilken betydelse terränghanteringen har för de markmål som eventuellt används. Mer om terrängen står skrivet i avsnittet ”Terränghantering i Flames”.

Simuleringsmodellen av robotsystemet har hitintills 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.

En detaljerad beskrivning av det samverkande robotsystemet ligger utanför ramarna för denna rapport, men en FLAMES™-modell av systemet kan grovt beskrivas med de tre faser som illustreras i figur 4.1 Dessa faser är:



Figur 4.1 Modellen för det samverkande robotsystemet kan ges tre signifikanta faser.

**Transportfas:** Vid  $t_0$  avfyras/startas bärfarkosten, och går längs en fördefinierad bana. Under transportfasen är de samverkande robotarna ännu ej aktiverade. Samverkan mellan olika bärfarkoster kan dock ske.

**Sökfase:** Vid  $t_1$  frigörs robotarna från bärfarkosten genom att ett kriterium blir uppfyllt. Robotarna styrs här av den kognitiva modellen som de är knutna till, och kan kommunicera med varandra.

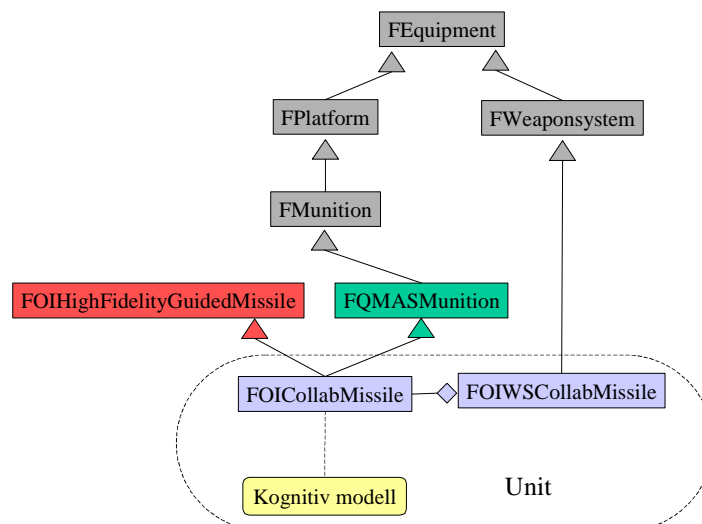
**Slutfas:** När en robot valt ut sitt mål vid  $t_2$  och skall gå mot det, är den kognitiva modellen inte lämpad att styra in roboten mot målet, i denna fas bör kontrollen ligga hos missilmodellen. Kontrollen ska dock kunna återlämnas till den kognitiva modellen för värdering, eller för det fall där roboten tappar målet.

Fokus för modelleringsarbetet ligger i sökfase då de övriga faserna kan modelleras helt eller delvis med befintliga modeller. Under transportfasen kan robotsystemet ses som en farkost som skall transporteras från en given punkt längs en bestämd färdväg. Slutfasbeteendet då roboten har låst på målet samt funktionalitet för skadeutvärdering kan till stor del hämtas från befintliga modeller.

Sökfase kräver dock nytänkande; roboten bör kunna fungera som en autonom enhet (*Unit*), med en kognitiv modell knuten till sig som dirigerar roboten vid avsökning, målval, etc. Enheten behöver kunna skapas dynamiskt under simuleringen, den måste ha en robotplattform som beskriver dess dynamiska egenskaper och som tar kommandon från den kognitiva modellen. Robotplattformen behöver även ha funktionalitet för terrängföljning, och ett tillhörande vapensystem.

## 4.2 Egna aktörer

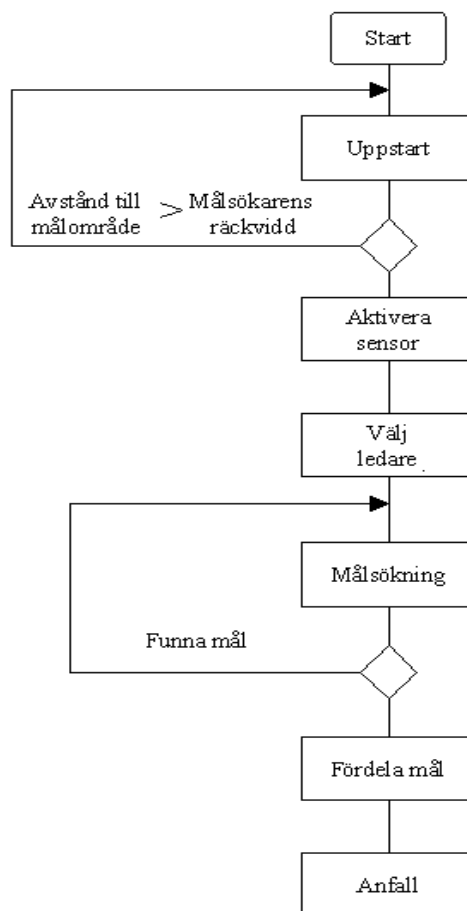
Under sök- och slutfaserna kan robotsystemet modelleras med komponenterna vapensystem, robotmodell och kognitiv modell, se figur 4.2. Utöver dessa kan exempelmodellerna användas för sensorer, målsökare, kommunikationslänkar etc.



Figur 4.2 En robotindivid i ett scenario är en självständig enhet, och kommer att kunna modelleras med komponenterna robot (*FOICollabMissile*), vapensystem (*FOIWSCollabMissile*) samt en kognitiv modell som styr dess beteende. Utöver dessa tillkommer även sensorer, målsökare, m.fl. som ej berörs här.

#### 4.2.1 Styrmodeller/Kognitiva modeller (m-modellen)

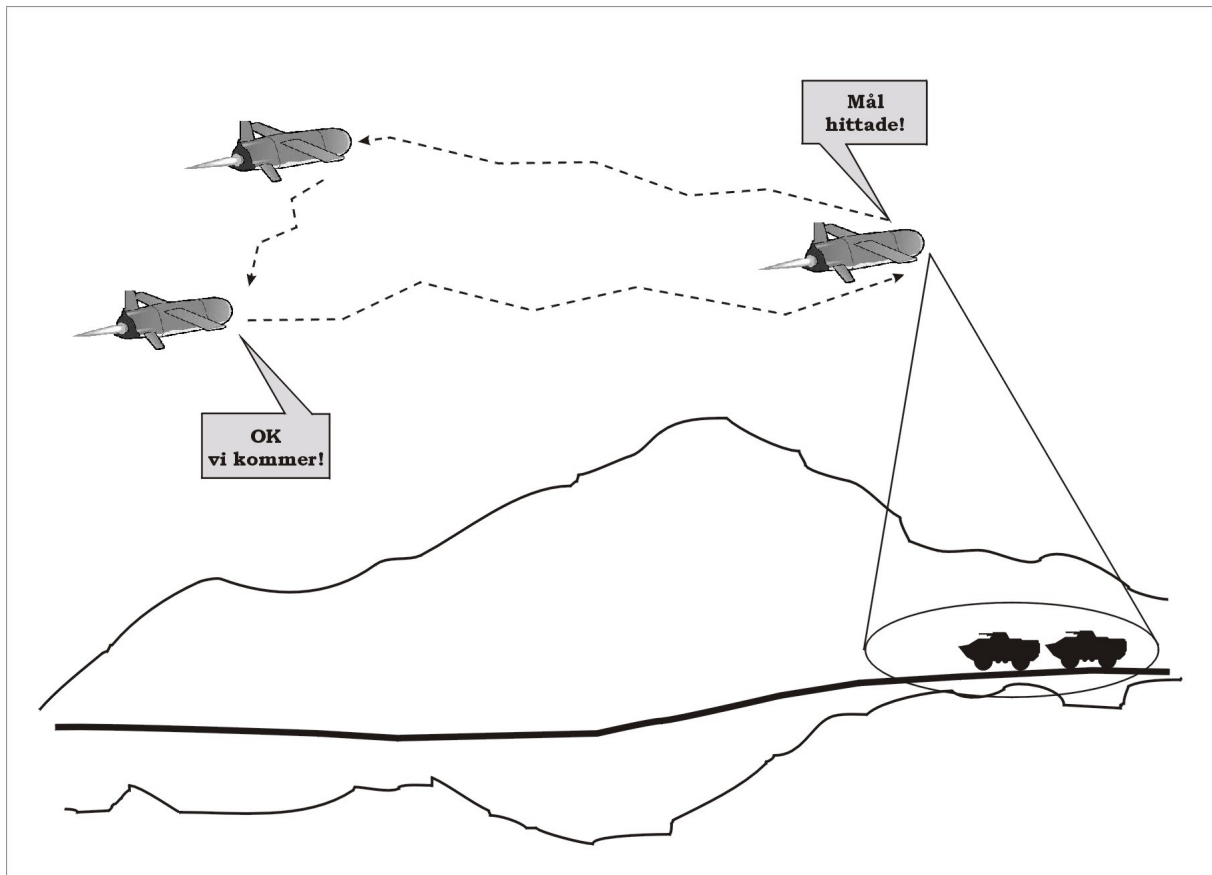
Den kognitiva modellen som använts i simuleringsmodellen i FLAMES™ består av ett antal processmetoder som visas i figur 4.3. Processmetoderna innehåller funktioner som t.ex. målsökning och samverkan.



Figur 4.3 Schematisk bild över hur processmetoderna samverkar

Kommunikationen mellan robotarna sker i form av meddelanden. En meddelandemetod skickar ett meddelande som antingen skickas till samtliga robotar (broadcast) eller bara till en specifik. Allt informationsutbyte mellan robotarna sker på detta sätt. Några exempel på de meddelande som skickas är:

- Existensmeddelande – Robotarna skickar ut meddelanden om att de existerar till alla de robotar som lyssnar och för att få svar från de robotar som finns i omgivningen.
- Uppdatering av målinformation – Samtliga robotar uppdaterar ledaren kontinuerligt om nya funna mål, se figur 4.4.
- Målval – Ledaren avgör vilken robot som ska anfälla vilket mål och skickar denna information till robotarna.
- Svartsmeddelande – Generellt svartsmeddelande som används för att svara på alla inkommande meddelanden. Detta för att säkerställa om meddelanden verkligen har kommit fram till den avsedda roboten.



Figur 4.4 Samverkande robotar som sammanställer målinformationen

För att minska mängden av alla de meddelanden som utbyts i ett scenario så valdes metoden att ha en ledarrobot för alla robotar i ett scenario. Ledarrobot blir den robot som har lägst ID nummer och det är denna robot som avgör hur de övriga robotarna ska flyga och som avgör när det är tid att avbryta sökfasen för att attackera målen. Huvuduppgiften för ledarroboten är att fungera som kommunikationscentrum och centrum för informationsfusion. Det vill säga istället för att alla robotar ska skicka meddelanden till alla andra robotar, så skickas informationen istället bara till ledarroboten som sammanställer informationen och sedan skickar ut den till alla andra robotar, se figur 4.4.

Mer om roboten och dess autonoma funktioner finns att läsa i [6].

Den kognitiva modellen är idag anpassad för plattformen *FQPFixedWing*, det är en FLAMES™ exempelmodell. En anpassning bör göras till de nya plattforms- och vapensystemmodellerna.

#### 4.2.2 Bärarroboten

Bärarroboten, TAURUS Transporter, är för närvarande modellerad med *FQPFixedWing*-plattformen, som även har använts för de övriga faserna. Eventuella behov av modifieringar kommer att utredas under 2002.

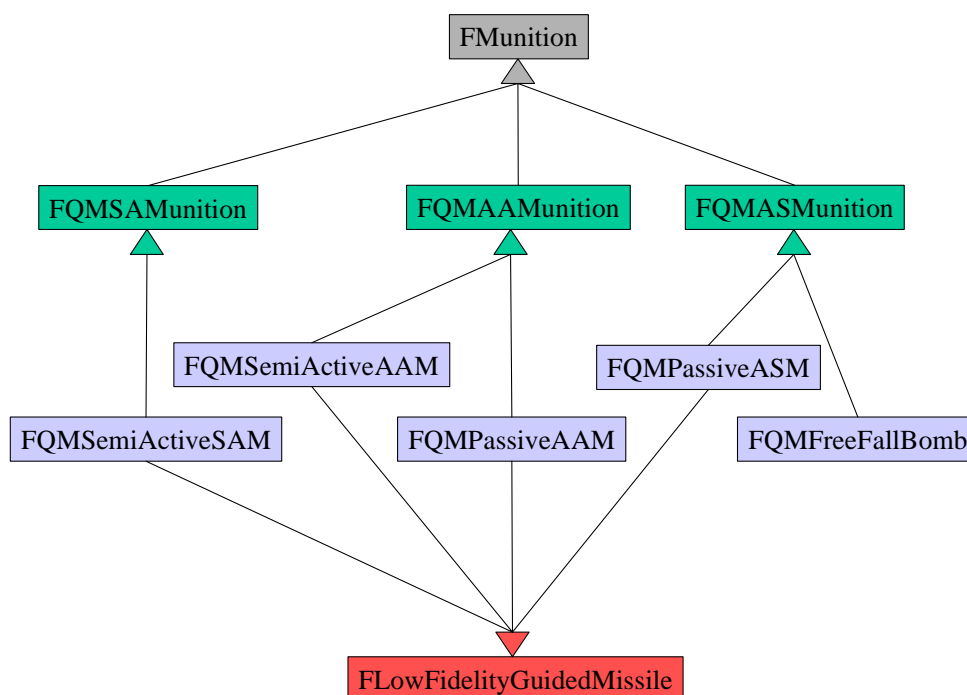
I det föreliggande scenariot simuleras all kommunikation med hjälp av FLAMES™ exempelmodell för radiokommunikation och motsvarar då en laserlänk under goda siktförhållanden.

För alla spaningssensorer som ingår i simuleringen används FLAMES™ exempelmodell för en radarmålsökare vilken, på samma sätt som för kommunikationsmodellen, gäller för goda siktförhållanden.

### 4.2.3 Robotmodeller/subrobotar

Då robotsystemet är ett precisionsvapen, kan det finnas behov av att förfinas den kinematiska modell som ligger till grund för exempelmodellerna. Exempelrobotmodellerna är uppbyggda enligt klasshierarkin i figur 4.4.

För att kunna återanvända en robotmodell med högre detaljeringsnivå vad det gäller kinematiska och logiska egenskaper, är det lämpligt att utgå från en FLAMES™ exempelmodell av klassen *FLowFidelityGuidedMissile*, och skapa en ny, *FOIHighFidelityGuidedMissile*, som då kan införas med smärre ändringar i befintliga modeller. En preliminär specifikation för *FOIHighFidelityGuidedMissile* är gjord, och kan komma att implementeras under 2002.



Figur 4.4 Den partiella klasshierarkin för exempelrobotmodellerna. De är uppbyggda genom att ärva dynamiska egenskaper från en basklass *FLowFidelityGuidedMissile*, och ärver egenskaper för klassen *FMunition* via klasserna *FQMSAMunition*, *FQMAAMunition* och *FQMASMunition*.

De specificerade variablerna är valda utifrån erfarenheter från ett antal kinematiska robotmodeller som tidigare tagits fram på FOI. En kinematisk robotmodell behöver ett dataunderlag bestående av ett dragkraftsunderlag och ett så kallat trimmat aerodynamiskt underlag. Detta tillsammans med ett antal logiska variabler utgör en tämligen god representation av en robot.

### Drivkraft och aerodynamisk kraft

En första parameter är:

- Robotens tomvikt, det vill säga, robotens vikt utan vikten av det som förbränns eller kastas under skjutförloppet.

Roboten drivs av en krutraketmotor i ett eller flera steg, antalet steg ges som inparameter. För varje steg ges de aerodynamiska koefficienterna som funktion av Machtal som tabell med valfritt antal tabellvärden. Dessa koefficienter är:

- Lyftkraftskoefficientens derivata med avseende på anfallsvinkeln  $C_{L_\alpha}(Mach)$ .
- Lyftkraftskoefficientens maximala värde  $C_{L_{Max}}(Mach)$ .
- Nollmotståndskoefficienten  $C_{D_0}(Mach)$ .
- Koefficienten  $k(Mach)$ .

Motståndet beräknas sedan enligt:

$$C_D = C_{D_0} + k \cdot C_{L_\alpha}^2 \cdot \alpha^2$$

Dessutom ges för varje motorsteg:

- Referenslängd.
- Krutmassa.
- Krutets specifika impuls.
- Stegets brinntid.
- Eventuell extra massa som hör till steget men inte förbränns.

### Logik

Övriga parametrar som ges har att göra med grundläggande simuleringslogik samt robotens målsökar- och zonrörslogik:

- Maximala simuleringstiden.
- Maximalt avfyrningsavstånd.
- Minsta tillåtna flyghastighet.
- Navigeringskonstant, roboten styrs enligt syftbäringsprincipen.
- Målsökarens öppningstid.
- Målsökarens maximala utvridningsvinkel.
- Största tillåtna närmandehastighet.
- Zonrörets aktiveringsavstånd.

För att kunna ta kommandon från den kognitiva modellen, samt klara av att följa terräng har arbetet med att bygga ut den befintliga FLAMES™ exempelmodellen *FQMPassiveASM* med denna funktionalitet till *FOICollabMissile* påbörjats.

#### 4.2.4 Vapensystemmodell

För interaktion med en ammunitionsmodell i FLAMES™ gäller att den vanligen sker via ett vapensystem. Även om den kognitiva modellen i detta fall hanterar Robotmodellen, krävs ett vapensystem för att kunna skapa robotarna dynamiskt under simuleringen. Modellen av vapensystemet kräver inget utöver de befintliga exempelmodellerna, en anpassning till att acceptera den nya klassen måste dock göras. Vapensystemet finns implementerat under namnet *FOIWSCollabMissile*, som är en modifierad variant av exempelmodellen *FQWASMunition*.

### 4.3 Fientliga aktörer

#### 4.3.1 Fordonsmodell

För modellering av det förhållandevis stora antalet fientliga markförband kommer en fordonsmodell utvecklad i Anabasis-projektet [] att användas, *STRSimpleGroundVehicle*. Denna är en modifierad variant av *FQPGroundVehicle*, med tillägget att *STRSimpleGroundVehicle* kan tolka en luftkorridor som en väg, och följa denna. i dagsläget är luftkorridorer det enda sättet att modellera vägar i FLAMES™.





## 5 Kopplingar till andra projekt

### 5.1 Terränghantering i FLAMES™

FLAMES™ är i första hand avsett för luftstridssimuleringar och har därmed inte särskilt avancerad terränghantering. I standardutförande hanteras endast höjddata (som baseras på Digital Terrain Elevation Data, DTED, från NIMA), dvs det går att ta fram höjden i en given koordinat och det finns en algoritm som räknar ut om det råder fri sikt mellan två punkter i terrängen. FLAMES™ terränghantering består av en speciell service (FTerrain) som tillhandahåller denna terränginformation till modellerna och till de grafiska användargränssnitten.

För att kunna köra avancerade simuleringar på marknivå finns önskemål, från flera projekt som utnyttjar FLAMES™, att gifta ihop ramverket med ett mer avancerat geografiskt informationssystem (GIS-system). Intressanta funktioner i ett sådant integrerat system, utöver funktioner för att skapa och presentera en kartbild över ett visst geografiskt område, är att ta fram höjd- och terrängklass (tät barrskog, öppen mark etc.) för en viss koordinat, beräkna en optimal stig mellan två koordinater, räkna ut om det råder fri sikt mellan två punkter i terrängen, räkna ut lutning på terrängen med mera.

På uppdrag av FOI-projektet "Informationsfusion i det nya försvarets ledningssystem" utfördes därför under våren 2000 en förstudie för att se vilka möjligheter som finns för att integrera FLAMES™ med ett existerande GIS-program. I år har man fortsatt på samma spår och tillsammans med Ternion utvärderar man för närvarande några av världens mest lovande GIS-system. [7]

Ett lämpligt GIS-system som uppfyller FOIs krav ska väljas ut och integrationsarbetet med FLAMES™ förbereds för närvarande. En implementation av det nya GIS-systemet i FLAMES™ beräknas vara klart under 2002, vilket då kommer till nytta även i "Samverkande robotar"-projektet.

### 5.2 FLAMES-kurser

Ternion har två standardkurser, en analytiker- och en utvecklarkurs, på en vecka vardera för FLAMES™ som anordnas efter önskemål. Dessa två kurser har givits en gång i Sverige under 97-98. Av praktiska skäl har det funnits önskemål om att försöka anordna en analytikerkurs (som även kallas för användarkurs) här i Sverige. Hösten 99 utarbetades en mer omfattande kurspärm på svenska som undervisades på en enveckakurs på FOA Avdelningen för Styrning, Simulering och Undervattensteknik våren 2000.

På uppdrag av "Samverkande robotar"-projektet har i år kurspärmen omarbetats och anpassats till en senare version av FLAMES™. Då det fanns tillräckligt många intresserade i november 2001 gavs kursen för andra gången i Sverige (9 elever deltog i denna kurs).



## 6 Fortsatt arbete

### 6.1 Inledning

Som tidigare nämnts är de exempelmodeller som FLAMES™ tillhandahåller mycket rudimentära. Det föreligger därför ett kontinuerligt arbete för att förfinas och vidareutveckla exempelmodellerna. Varje projekt identifierar därför vilken eller vilka funktioner eller modeller som måste inkluderas i FLAMES™ för att simuleringarna ska kunna ge relevanta svar på just de frågor som projektet är tillsatt att besvara.

### 6.2 Robotmodell

I det tidigare arbetet med att nyutveckla modeller och funktioner för robotar har en flygplansmodell använts som plattform. Det har medfört stora fördelar då nya intelligenta funktioner kan kopplas till en redan befintlig pilotmodell samt att kommunikation redan finns att tillgå. En flygplansmodell kan även ges robotlika flygegenskaper.

Problem uppstår då en flygplansmodell varken kan bäras av en vapenbärare eller avfyras. Den kan inte heller, utan en hel del okonventionellt programmerande, slå ut ett eventuellt mål då förmågan att simulera självmordspiloter av förklarliga orsaker inte finns i FLAMES™. Därför har ett arbete inletts med att bygga en plattform som är ett vapen men som också har förmåga att styras av en yttre logik vare sig det är en medbringad algoritm, en målsökare eller kommandon utifrån. Dessa kommandon kommer att vara av olika slag:

- Flyga utifrån en given fartvektor.
- Flyga mot en målkoordinat.
- Följa ett annat objekt.
- Flyga längs en så kallad luftkorridor i FLAMES™.
- Följa en struktur på marken. Till exempel en väg.
- Flyga på konstant höjd över terräng.

Arbetet är tänkt att ske i etapper. Första etappen är att konvergera en kinematisk luftvärnsmodell skriven i C till att fungera i FLAMES™. Modellen är ursprungligen framtagen för att beräkna täckningsområden men själva robotdelen av modellen är mycket väl lämpad att transformera till en FLAMES™-modell.

Därefter ska modellen utökas med funktioner för att kunna fungera som ett attackvapen med ovanstående funktioner samt den i kapitel 4 specificerade parametersättningen.

Ett annat spår som undersöks är att skapa en stomme för en robotmodell som kan ges önskade egenskaper med hjälp av att läsa in data från en textfil utanför FLAMES™ miljön.

En sådan stomme är inte lika enkel att parametersätta som en modell som är uppbyggd på samma sätt som FLAMES™ exempelmodeller men skulle kunna vara ett sätt att med relativt små modifieringar kunna använda modeller framtagna med andra verktyg än FLAMES™ egna, det vill säga som inte direkt är programmerade i C/C++ för FLAMES™.

### 6.3 Kommunikationsmodell

Vi vill inte bara kunna simulera kommunikation utan även kunna simulera hur signaler störs, blir fördröjda eller kan bli förvanskade genom att information både kan läggas till eller tas ifrån. Ett system med perfekt kommunikation är inte, i matematisk mening, ett samverkande system utan snarare ett distribuerat system. Även andra projekt skulle ha stor glädje av en sådan kommunikationsmodell.

### 6.4 Kognitiv modell

Den kognitiva modell som styr en robot bör utökas med ett flertal nya processmetoder.

Exempel på sådana metoder är:

- Reagera på en radarvarnare.
- Aktiveras från en annan enhet.
- Avaktiveras från en annan enhet.
- Avbryta ett pågående förlopp då förutsättningarna för uppträdandet inte längre är uppfyllda.
- Låta två eller flera enheter slå samtidigt mot ett och samma mål oberoende av var enheterna befinner sig i förhållande till målet då anfallet inleds.
- Låta två eller flera enheter slå mot samma mål men från olika riktningar oberoende av var enheterna befinner sig i förhållande till målet då anfallet inleds.

De två sista punkterna skulle underlätta studier av hur sårbart ett luftförsvarssystem är mot så kallad mättnig.

I en annan del projektet har ett antal algoritmer för sökning tagits fram. Dessa algoritmer bör resultera i en processmetod kopplad till den kognitiva modellen.

### 6.5 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. Att modellera ett scenario innehållande markaktörer skulle underlättas betydligt av ett nytt objekt som beskriver ett markfordon med egenskaper att:

- Köra i terräng men undvika större vattensamlingar.
- Följa en väg.
- Ha en signatur som kan förändras om fordonet står stilla och är väl kamouflerat, eller om det förflyttar sig.
- Ändra sitt uppträdande om det blir pålyst av en målsökare eller av en annan sensor.

### 6.6 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.

Denna målsökare 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.

## **6.7 Andra modeller**

Andra modeller som på sikt är intressanta för projektet är:

- Skenmål, både elektroniska skenmål samt IR-facklor och remsor.
- En radarvarnare som på samma sätt som målsökarmodellen kan påverkas av en besvärlig elektromagnetisk miljö.
- En mer realistisk modell för verkansdelar tillsammans med algoritmer för att hantera sårbarhet.



## 7 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 Alvå P., Andersson F., Wallström D., *Studie av samverkande robotsystem – Insats mot landstigen mekaniserad bataljon*, FOA-R--00-01799-314--SE, december 2000.
- 5 Sandén E., *An Investigation and Preliminary Implementation of a Cognitive Model for Autonomous Missile Behaviour in FLAMES*, FOI-D--0013--SE, Maj 2001.
- 6 Ulriksson J., *An Investigation and Prototype Development of a Simulation Model of an Autonomous Co-operating Missile System*, FOI-D--0017—SE, Maj 2001.
- 7 Svensson, P., *Request for an offer FOI 562/01, Simulation Framework*.