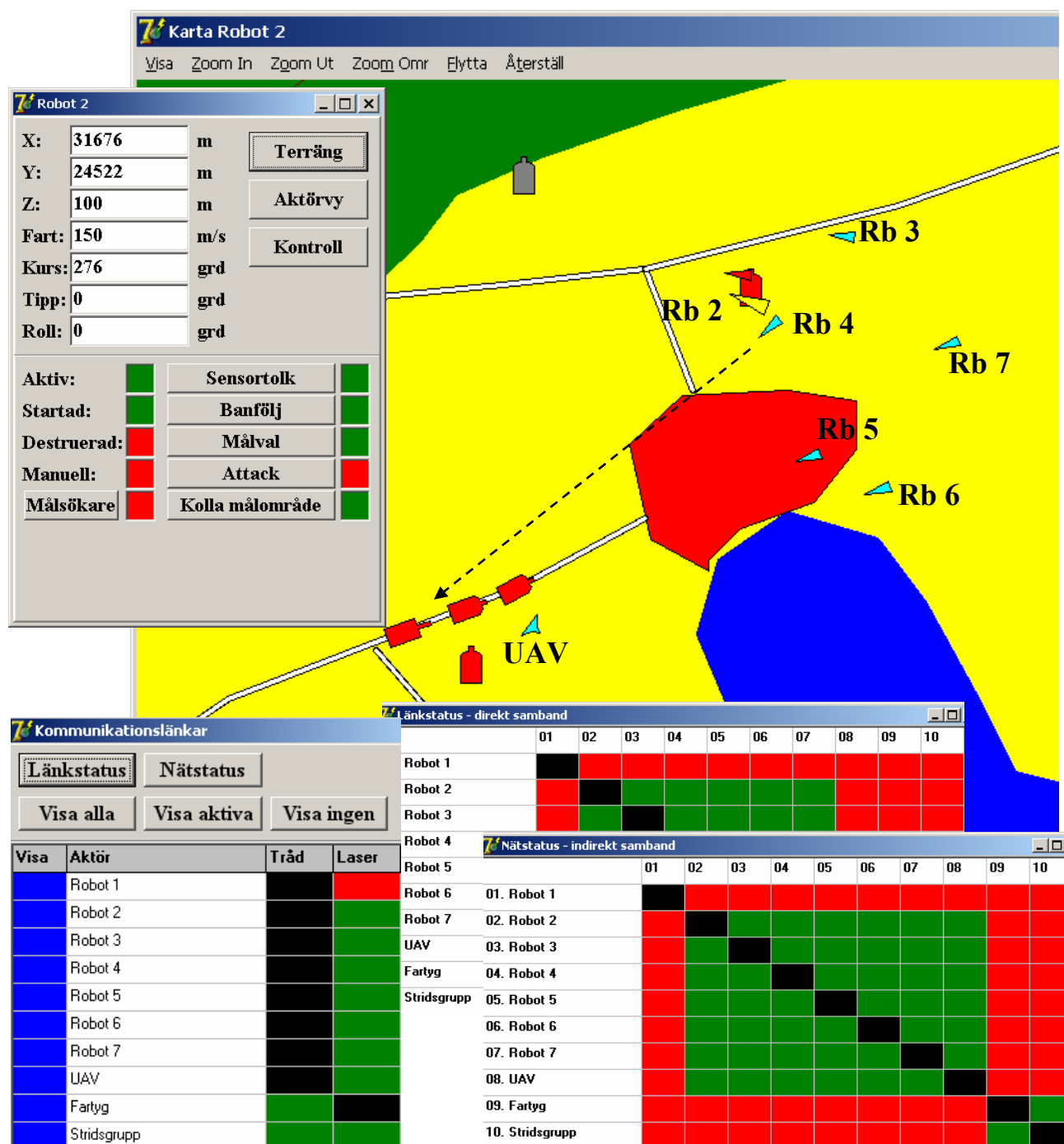


# Samverkande Robotar i Nätverk

## Presentation av simuleringsverktyget ISIS

Peter Alvå, Bengt Boberg,  
Lars Forssell, Jan Ove Johansson,  
Johan Pelo, Dag Wallström,  
Petter Ögren



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



FOI  
Totalförsvarets forskningsinstitut  
Systemteknik  
164 90 Stockholm

Tel: 08-555 030 00  
Fax: 08-555 031 00

[www.foi.se](http://www.foi.se)

# Samverkande Robotar i Nätverk

## Presentation av simuleringsverktyget ISIS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                   |                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Utgivare</b><br>FOI - Totalförsvarets Forskningsinstitut<br>Systemteknik<br>164 90 Stockholm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Rapportnummer, ISRN</b><br>FOI-R--1674--SE                     | <b>Klassificering</b><br>Underlagsrapport |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Forskningsområde</b><br>5. Bekämpning och skydd                |                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Månad, år</b><br>Juni 2005                                     | <b>Projektnummer</b><br>E6003             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Delområde</b><br>51 VVS med styrda vapen                       |                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Delområde 2</b>                                                |                                           |
| <b>Författare/redaktör</b><br>Peter Alvå                      Petter Ögren<br>Bengt Boberg<br>Lars Forssell<br>Jan Ove Johansson<br>Johan Pelo<br>Dag Wallström                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Projektledare</b><br>Peter Alvå                                |                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Godkänd av</b><br>Monica Dahlén                                |                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b><br>Försvarsmakten            |                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b><br>Maria Sjöblom |                                           |
| <b>Rapportens titel</b><br>Samverkande Robotar i Nätverk, Presentation av simuleringsverktyget ISIS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                   |                                           |
| <b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b><br><p>Ett system av samverkande flygande robotar med en kombinerad spanings- och attackfunktion och möjlighet till informationsutbyte öppnar nya möjligheter för att underlätta målidentifiering och målval. Systemets förmåga ökar ytterligare om det dessutom kan kommunicera med ett yttre ledningsnätverk, till exempel ett dubbelriktat samband till en operatör. Vapenverkan kan ske helt autonomt, då ROE (Rules of engagement) medger detta, men normalt torde dock vapeninsatsen ske semiautonomt via en nätverksuppkopplad operatör med vetorätt.</p> <p>Ett autonomt samverkande system är av komplex natur, och dess uppträdande i relevanta typsituationer kan vara svårt att analysera. Därför har ett simuleringsverktyg med tillhörande modeller för att analysera såväl taktiskt/stridstekniska som tekniska aspekter av samverkande agenter i ett nätverk tagits fram. Rapporten beskriver vilka funktioner simuleringsverktyget innehåller, vilken typ av simuleringar som det används till idag, samt hur det skulle kunna anpassas för att komma till nytta i nya tillämpningar.</p> |                                                                   |                                           |
| <b>Nyckelord</b><br>Samverkande robotar, Simulering, Simuleringsverktyg, Styrda vapen, Borland Delphi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                   |                                           |
| <b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Språk</b> Svenska                                              |                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                   |                                           |
| <b>ISSN</b> 1650-1942                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Antal sidor:</b> 64 s.                                         |                                           |
| <b>Distribution enligt missiv</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Pris:</b> Enligt prislista                                     |                                           |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                    |                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Issuing organization</b><br>FOI – Swedish Defence Research Agency<br>Systems Technology<br>SE-164 90 Stockholm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Report number, ISRN</b><br>FOI-R--1674--SE                      | <b>Report type</b><br>Base data report |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Programme Areas</b><br>5. Strike and protection                 |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Month year</b><br>June 2005                                     | <b>Project no.</b><br>E6003            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Subcategories</b><br>51 Weapons and Protection                  |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Subcategories 2</b>                                             |                                        |
| <b>Author/s (editor/s)</b><br>Peter Alvå                      Petter Ögren<br>Bengt Boberg<br>Lars Forssell<br>Jan Ove Johansson<br>Johan Pelo<br>Dag Wallström                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Project manager</b><br>Peter Alvå                               |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Approved by</b><br>Monica Dahlén                                |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Sponsoring agency</b><br>Swedish Armed Forces                   |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Scientifically and technically responsible</b><br>Maria Sjöblom |                                        |
| <b>Report title (In translation)</b><br>Collaborating Missiles, Presentation of the simulation tool ISIS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                    |                                        |
| <b>Abstract (not more than 200 words)</b><br><p>A system of a several missiles with the ability to exchange information with each other will create new possibilities. For instance, the missiles can perform co-operative target identification and target selection. Communication with an external command and control network will further increase the systems total effectiveness.</p> <p>A simulation tool useful for tactical and technical studies of collaborating agents in network scenarios has been developed. This report describes its functionality, present simulation models and for what type of applications it is used, and how it can be adapted for different applications in the future.</p> |                                                                    |                                        |
| <b>Keywords</b><br>Missile systems, Collaborating missiles, Simulation tool, Guided weapons, Borland Delphi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                    |                                        |
| <b>Further bibliographic information</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Language</b> Swedish                                            |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                    |                                        |
| <b>ISSN</b> 1650-1942                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Pages</b> 64 p.                                                 |                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Price acc. to pricelist</b>                                     |                                        |



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|          |                                                               |           |
|----------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INLEDNING.....</b>                                         | <b>7</b>  |
| 1.1      | ÖVERSIKT AV PROJEKTETS VERKSAMHET .....                       | 7         |
| 1.2      | SIMULERINGSVERKSAMHET I PROJEKTET .....                       | 8         |
| 1.3      | RAPPORTENS INNEHÅLL OCH DISPOSITION .....                     | 9         |
| <b>2</b> | <b>NYTTAN MED SIMULERINGAR I ISIS.....</b>                    | <b>10</b> |
| 2.1      | UTVECKLING AV ISIS.....                                       | 10        |
| 2.2      | TAKTISKA/STRIDSTEKNISKA RESPEKTIVE TEKNISKA SIMULERINGAR..... | 10        |
| 2.3      | UTNYTTJA ISIS-MODELLER I ANDRA SIMULERINGSMILJÖER .....       | 11        |
| 2.4      | UTNYTTJA ISIS FÖR ANDRA SIMULERINGSPROBLEM .....              | 11        |
| <b>3</b> | <b>SIMULERING AV EN INSATS MED SAMVERKANDE ROBOTAR.....</b>   | <b>12</b> |
| 3.1      | TYPSTUATION .....                                             | 12        |
| 3.2      | HÄNDELSEFÖRLOPP.....                                          | 12        |
| 3.2.1    | <i>UAV-spaning och planering av robotinsats</i> .....         | 13        |
| 3.2.2    | <i>Samordnad målsökning - taktikanpassning</i> .....          | 13        |
| 3.2.3    | <i>Kommunikation med UAV</i> .....                            | 16        |
| 3.2.4    | <i>Målval och målfördelning</i> .....                         | 17        |
| <b>4</b> | <b>ISIS PROGRAMSTRUKTUR I STORT .....</b>                     | <b>20</b> |
| 4.1      | AKTÖRER I ISIS.....                                           | 20        |
| 4.2      | SIMULERING AV ETT SCENARIO .....                              | 22        |
| 4.3      | UPPSPELNING AV ETT SCENARIO.....                              | 23        |
| 4.4      | DATABASHANTERING .....                                        | 24        |
| 4.5      | GRAFISK PRESENTATION .....                                    | 24        |
| 4.6      | GENERERING AV LOGGFILER .....                                 | 26        |
| 4.7      | SCENARIODEFINITION.....                                       | 26        |
| <b>5</b> | <b>SIMULERINGSMODELLER I ISIS.....</b>                        | <b>27</b> |
| 5.1      | TERRÄNG .....                                                 | 27        |
| 5.1.1    | <i>Hur genereras terrängen</i> .....                          | 28        |
| 5.1.2    | <i>Generering av terrängmatris</i> .....                      | 28        |
| 5.2      | MÅLSÖKARE .....                                               | 28        |
| 5.2.1    | <i>Målsökarens egenskaper</i> .....                           | 29        |
| 5.2.2    | <i>Beräkning av upptäcktssannolikhet</i> .....                | 30        |
| 5.2.3    | <i>Utdata från målsökaren</i> .....                           | 32        |
| 5.2.4    | <i>Målsökarmodellens utnyttjande i ISIS idag</i> .....        | 33        |
| 5.2.5    | <i>Vidareutveckling av målsökarmodellen</i> .....             | 33        |
| 5.3      | MÅLSIMULERING.....                                            | 34        |
| 5.4      | TRÄFFSIMULERING .....                                         | 36        |
| 5.5      | KOMMUNIKATIONSLÄNKAR .....                                    | 36        |
| 5.5.1    | <i>Ideala nätverkslänkar</i> .....                            | 37        |
| 5.5.2    | <i>Laserkommunikationslänkar</i> .....                        | 37        |
| 5.5.3    | <i>Radiokommunikationslänkar</i> .....                        | 37        |
| 5.5.4    | <i>Tidsfördröjning i kommunikationslänkar</i> .....           | 38        |
| 5.5.5    | <i>Störning av kommunikationslänkar</i> .....                 | 38        |
| 5.5.6    | <i>Manuell störning</i> .....                                 | 38        |

|          |                                                                                       |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.6      | ROBOTDYNAMIK .....                                                                    | 39        |
| 5.6.1    | <i>Matematisk beskrivning av en 3-DOF modell.....</i>                                 | 39        |
| 5.6.2    | <i>Information till Styrsystemet .....</i>                                            | 41        |
| 5.6.3    | <i>Lågnivåstyrning.....</i>                                                           | 41        |
| 5.7      | MODELLER FÖR HÖGNIVÅSTYRNING AV ROBOTAR OCH ANDRA AKTÖRER.....                        | 42        |
| 5.7.1    | <i>Banföljning.....</i>                                                               | 42        |
| 5.7.2    | <i>Informationsfusion .....</i>                                                       | 43        |
| 5.7.3    | <i>Målvalsalgoritm .....</i>                                                          | 43        |
| 5.7.4    | <i>Attack.....</i>                                                                    | 45        |
| 5.7.5    | <i>Formationsflygning.....</i>                                                        | 47        |
| 5.7.6    | <i>Interaktion mellan styrmodeller.....</i>                                           | 47        |
| <b>6</b> | <b>UTVECKLA NYA MODULER I ISIS.....</b>                                               | <b>49</b> |
| 6.1      | PROGRAMMERING AV NYA MODULER.....                                                     | 49        |
| 6.1.1    | <i>Olika typer av moduler.....</i>                                                    | 49        |
| 6.1.2    | <i>Utveckla moduler för grafisk presentation.....</i>                                 | 50        |
| 6.1.3    | <i>Utveckla genereringsmoduler .....</i>                                              | 51        |
| 6.2      | EXPERTSYSTEMSTÖD I ISIS .....                                                         | 51        |
| 6.2.1    | <i>Vad är expertsystem .....</i>                                                      | 51        |
| 6.2.2    | <i>Expertsystem för taktikval .....</i>                                               | 54        |
| <b>7</b> | <b>NÄRTIDA TILLÄMPNINGAR AV ISIS .....</b>                                            | <b>55</b> |
| 7.1      | TAKTISKA SIMULERINGAR AV SAMVERKANDE ROBOTSYSYSTEM .....                              | 55        |
| 7.1.1    | <i>Systemkoncept .....</i>                                                            | 55        |
| 7.1.2    | <i>Typsituationer.....</i>                                                            | 56        |
| 7.1.3    | <i>Fråga som skall besvaras av simuleringarna: Vilken förmåga har systemet? .....</i> | 56        |
| 7.2      | SIMULERINGAR AV NÄTVERKSSTRID .....                                                   | 57        |
| 7.3      | SIMULERING AV NAVIGERINGSPRINCIPER .....                                              | 61        |
| <b>8</b> | <b>SAMMANFATTNING AV ISIS EGENSKAPER .....</b>                                        | <b>63</b> |
| <b>9</b> | <b>REFERENSER.....</b>                                                                | <b>64</b> |



# 1 INLEDNING

Ett system av samverkande flygande robotar med en kombinerad spanings- och attackfunktion och möjlighet till informationsutbyte öppnar nya möjligheter för att underlätta målidentifiering och målval. Systemets förmåga ökar ytterligare om det dessutom kan kommunicera med ett yttre ledningsnätverk, till exempel ett dubbelriktat samband till en operatör. Vapenverkan kan ske helt autonomt, då ROE (Rules of engagement) medger detta, men normalt torde dock vapeninsatsen ske semiautonomt via en nätverksuppkopplad operatör med vetorätt.

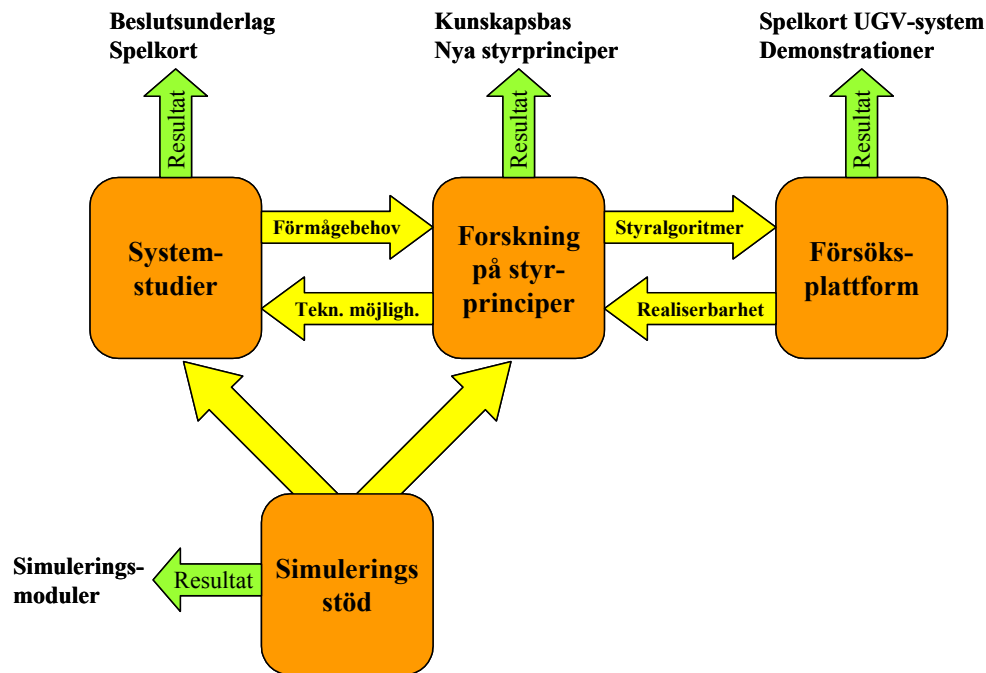
I projektet *Samverkande Robotar i Nätverk* ligger fokus på autonoma styrprinciper för system av kommunicerande och samverkande plattformar, med möjlighet till interaktion med andra aktörer via ett nätverk. Projektet studerar också såväl vilka taktiska möjligheter som samverkande robotsystem erbjuder,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

## 1.1 Översikt av projektets verksamhet

Här följer en kortfattad presentation av projektets verksamhet. För en utförligare beskrivning, se t.ex. [1, 2]. Arbetet i projektet har bedrivits på fyra fronter:

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

Verksamheterna kompletterar varandra. Systemstudierna belyser vilka forskningsområden som är kritiska för en realisering av samverkande robotsystem. Forskningen på styrprinciper, å andra sidan, ger ett underlag för att beskriva de tekniska aspekterna av systemstudien. Simuleringsstöd utnyttjas både vid utvecklingen av nya styrprinciper och vid systemstudier. Försöksplattformen ger en möjlighet att testa robustheten hos styrprinciper när ”verkligheten behagar hålla examen”.



Figur 1.1 Projektets verksamheter

Resultatet av systemstudierna riktar sig direkt mot Försvarmaktens behov genom att ge beslutsunderlag för fortsatt forskning om samverkande system – robotsystem, UAV-system, UGV-system, m.fl. – samt för planering av framtida vapensystem och analys av framtida hotbild. De spelkort som produceras kan utnyttjas i andra verksamheter, t.ex. har projektet haft ett samarbete med FoRMA-studien i detta avseende.

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

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

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

## 1.2 Simuleringsverksamhet i projektet

Projektets fokus ligger på utveckling och utvärdering av autonoma funktioner för samverkande system. I denna forskning är simuleringar ett viktigt hjälpmedel för att under utvecklingsfasen kunna studera algoritmernas interaktion med robotsystemet och styrsystemets övriga komponenter, samt hur olika parameterintervall påverkar "systemeffekten" av den nya funktionen. Algoritmens stabilitet vid olika omvärldsförutsättningar är också viktigt att studera.

Ett viktigt forskningsområde är också fördjupade analyser av taktiskt uppträdande hos samverkande robotsystem. Det gäller att hitta metoder för att kunna mäta effekten av olika taktikval i olika situationer, för att på så sätt kunna studera vilka nya förmågor ett samver-

kande robotsystem kan tillföra Försvarsmakten. På samma sätt bör man kunna analysera olika taktikval för att möta ett hot från samverkande robotsystem. Liknande metoder kan användas för att mäta effekten av olika typer av autonoma algoritmer, speciellt för att studera vilka nya taktiska möjligheter dessa algoritmer kan medföra. Forskning kring taktiskt uppträdande kräver antagligen ett bra simuleringsverktyg som gör det möjligt att variera ett stort antal parametrar i olika situationer för att på så sätt identifiera de kritiska faktorerna för olika alternativ.

Simuleringsstöd är därför en viktig komponent för att projektets arbete skall kunna bedrivas effektivt och de önskade resultaten uppnås. Simuleringar utnyttjas både vid utvecklingen av nya styrprinciper och vid systemstudier, där taktiska aspekter av samverkande robotsystem studeras. För detta ändamål har projektet utvecklat ISIS (Intelligent System I Samverkan), ett simuleringsverktyg anpassat för både taktiska och tekniska simuleringar av samverkande aktörer i ett nätverk.

ISIS är utvecklat med hjälp av Borland Delphi och Object Pascal och är anpassat för Windows-plattformar.

### 1.3 Rapportens innehåll och disposition

Denna rapport är en presentation av simuleringsverktyget ISIS. Den skall ge en bild av vilka funktioner ISIS innehåller, vilken typ av simuleringar som verktyget används till idag, samt hur det skulle kunna anpassas för att komma till nytta i andra tillämpningar. Rapporten är dock ingen detaljerad dokumentation av programvaran ISIS, utan presentationen hålls på en översiktlig och principiell nivå. En programdokumentation, som skall kunna tjäna som stöd för nya ISIS-utvecklare, är under utveckling och kommer att publiceras under hösten 2005.

Rapporten inleds i kapitel 2 med en redogörelse för motivet till simuleringar i projektet, bakgrunden till utvecklingen av ISIS, samt hur resultatet av modelleringsarbetet kan utnyttjas i ett vidare perspektiv.

I kapitel 3 visas ett exempel på en simulering med ISIS, som skall ge en översiktlig bild av hur verktyget används idag och vilken typ av resultat man kan få ut av simuleringarna. Det ger också en överblick av programmets nuvarande möjligheter och begränsningar när det gäller grafisk presentation av ett simulerat förlopp.

I kapitel 4 och 5 redogörs för ISIS programstruktur och de moduler som ingår idag. I kapitel 6 beskrivs principen för hur nya funktioner implementeras i ISIS.

Kapitel 7 avslutar sedan rapporten med en redogörelse för några idéer till fortsatt simuleringsarbete med ISIS som bas. Dessa idéer kommer förutom från projektet *Samverkande Robotar i Nätverk* också från projekten *Precisionsbekämpning i NBF (KANAPE)* och *Robust Navigering*.

## 2 NYTTAN MED SIMULERINGAR I ISIS

Ett samverkande robotsystem eller andra system där olika aktörer skall samverka för att uppnå ett gemensamt mål är i princip omöjligt att utvärdera bara genom att undersöka varje enskild aktörs kapacitet då systemets totala kapacitet uppstår i själva samverkan.

Analogin med djurvärden är intressant. Det är svårt att se en enskild myra som speciellt intelligent eller kapabel att överkomma och överleva komplexa situationer. Däremot är en myrstack ett mycket avancerat system, kapabelt att överleva från år till år trots hot från rovdjur och mycket skiftande vädersituationer.

För att kunna utvärdera ett samverkande system är det därför nödvändigt att på något sätt prova det i olika scenarier. Utan extremt stora resurser ifråga om personal och tid, är den enda realistiska möjligheten att undersöka och utvärdera ett samverkande koncept att simulera det.

### 2.1 Utveckling av ISIS

Tidigare i projektet har olika simuleringsmiljöer utvärderats [3] och beslut togs att använda ett program som utvecklats på FOA under perioden 1996-1998, nämligen ROSA (RObotSAMverkan). ROSA utvecklades först för att simulera ett system av fiberoptiskt styrda robotar, men anpassades senare för att också simulera samverkande robotsystem med trådlös kommunikation. Se [4, 5] för dokumentation.

ROSA utvecklades för att vara ett simuleringsstöd vid forskningen på autonoma system. Principen vid utvecklingen har varit att ”utveckla det som behövs för det aktuella problemet, inte mer”. Det vill säga att modeller som är nödvändiga för simuleringen har tagits fram med den noggrannhet som problemet kräver. Likaså har enkla grafiska gränssnitt utvecklats i syfte att kunna övervaka och analysera simuleringen, inte primärt för ”säljande demonstrationer”.

I och med att ROSA tagits upp igen och även vidareutvecklats för att inte bara hantera robotar har ett namnbyte föreslagits. Det nya programpaketet går under arbetsnamnet ISIS (Intelligent System I Samverkan) och följer samma filosofi som gamla ROSA, dvs. att bara utveckla de moduler och funktioner som för tillfället behövs för att studera den aktuella frågeställningen, en princip som har gjort det möjligt att lägga merparten av projektets resurser på verksamhetens fokus, forskning på styrprinciper.

ISIS är, precis som ROSA, utvecklat med hjälp av Borland Delphi och Object Pascal och är anpassat för Windows-plattformar. Målsättningen har dock varit att de modeller som har utvecklats beskrivs på ett generellt sätt, vilket underlättar möjligheten att lyfta in dem också i andra simuleringsmiljöer.

För att enkelt kunna förse aktörerna med ett intelligent uppträdande har ett annat programpaket inkluderats i ISIS, nämligen REX (RealtidsEXpertsystem). REX utvecklades även det på FOA för att på ett smidigt sätt införa autonomt uppträdande hos en undervattensfarkost inom projektet ”Framtida torpeder o AU-vapen”. REX är skrivet i Pascal och integrationen med ISIS har visat sig tämligen odramatisk. REX finns dokumenterat i [6, 7].

### 2.2 Taktiska/stridstekniska respektive tekniska simuleringar

En ambition i projektet är att kunna utföra taktiska simuleringar med en lägre upplösning, för att stödja en taktisk värdering som till största delen genomförs som ett analytiskt spel. Sådana simuleringar behöver inte ställa lika höga krav på alla ingående modeller. Till exempel kan

robotsystemets förmåga till sensortäckning över tiden simuleras utan att terräng och målobjekt har modellerats i detalj. Det har visat sig att utveckling av modeller på taktisk nivå för ett samverkande robotsystem innebär en liknande metodik som vid forskning på styralgoritmer. En iterativ utvecklingsprocess behövs, där nya idéer till modeller behöver utprovas i förenklade typfall, ibland fristående och ibland tillsammans med andra delar av robotsystemet. ISIS har visat sig vara ett simuleringspaket som mycket väl möter projektets behov av både taktiska och tekniska simuleringar.

Då olika modeller eller delmodeller skall kunna modelleras på olika teknisk nivå är det ett krav på simuleringsverktyget att vara konstruerat med detta i åtanke. I denna typ av evolutionär modellutveckling är det också svårt att förutse vilken typ av interaktion en modell kommer att kräva med andra modeller och med verktyget i stort innan modelleringsarbetet påbörjas. Allt detta innebär att utvecklade delkomponenter ständigt behöver modifieras, och verktyget behöver anpassas för att hantera de nya kraven. ISIS har även här visat sig väl lämpat att uppfylla kraven.

## 2.3 Utnyttja ISIS-modeller i andra simuleringsmiljöer

En målsättning med modelleringsverksamheten i projektet ”Samverkande robotar i Nätverk” är att ta fram en i ett visst avseende ”fullständig” modell, eller familj av modeller, för ett samverkande robotsystem. Modellen skall kunna användas för att utföra taktiska värderingar av robotsystemets förmåga, och andra samverkande system som UAV- eller UGV-system, i ett nätverksförsvar.

Det är önskvärt att även kunna använda ISIS för jämförande simuleringar med alternativa system. Dessa system måste dock vara på en noggrann algoritmnivå för att relativt enkelt kunna implementeras i ISIS.

De modeller som växer fram i ISIS blir på grund av verktygets natur modulära, vilket underlättar en noggrann dokumentation vad gäller modellens gränssnitt mot omvärlden, informationsflöde och funktionsalgoritm. Denna detaljerade beskrivning gör att ISIS modeller, på algoritmnivå, kan implementeras i andra, fristående programramverk – programramverk som är mer lämpade för att genomföra större, mer komplexa simuleringar med ett stort antal olika aktörer. Ett exempel på ett sådant ramverktyg är FLAMES™ som tidigare har använts i projektet [8]. En annan möjlighet kan vara att implementera ett ISIS-framtaget samverkande robotsystem i Merlin. Det öppnar för möjligheten att använda det i t.ex. FLSC (Flygvapnets LuftstridsSimuleringsCenter).

## 2.4 Utnyttja ISIS för andra simuleringsproblem

Den evolutionära filosofi som har format ISIS som ett lämpligt verktyg för att studera samverkande robotar gör det även lämpligt till att studera och utforska andra teknologier som också är svåra att utvärdera genom beräkningar eller via resonemang.

De teknologier som varit uppe för diskussion har varit:

- navigering med hjälp av fusion av olika typer av navigeringssensorer i en störd miljö
- långräckviddig precisionsbekämpning stödd av information från ett nätverk.

Grunden i ISIS är simulering av kommunikationslänkar och informationsutbyte mellan ett godtyckligt antal aktörer, som kan vara av samma eller av olika typ. Nya typer av aktörer kan modelleras genom att antingen kombinera befintliga delmodeller eller skapa nya modeller för ingående delsystem.

### 3 SIMULERING AV EN INSATS MED SAMVERKANDE ROBOTAR

I detta kapitel visas ett exempel på en simulering med ISIS, där en insats sker med ett samverkande robotsystem. Exemplet är valt som ett demonstrationsscenario, med syfte att ge en bild av hur verktyget används idag och vilken typ av resultat man kan få ut av simuleringarna. Det skall också ge en överblick av programmets möjligheter och begränsningar när det gäller grafisk presentation av ett simulerat förlopp.

#### 3.1 Typsituation

Den typsituation som används har hämtats från ett scenario som har utnyttjats av PerP-studien tillsammans med FOI-projektet FoRMA under hösten 2004. Situationsbeskrivningen har dock modifierats för att bättre passa in i det resonemang som förs här.

En svensk snabbinsatsstyrka har satts in i en konfliktsituation på den afrikanska kontinenten. Delar av förbandet har luftlandsatts tillsammans med lättare materiel för att säkra området kring en hamnstad, där resterande del av insatsstyrkan och tyngre materiel skall landsättas.

Fientliga styrkor uppträder emellertid i områdena kring hamnstaden, med syfte att störa eller förhindra den svenska landstigningsoperationen. De har tillgång till tunga vapensystem, som utgör ett svårt hot mot den svenska luftlandsatta styrkan.

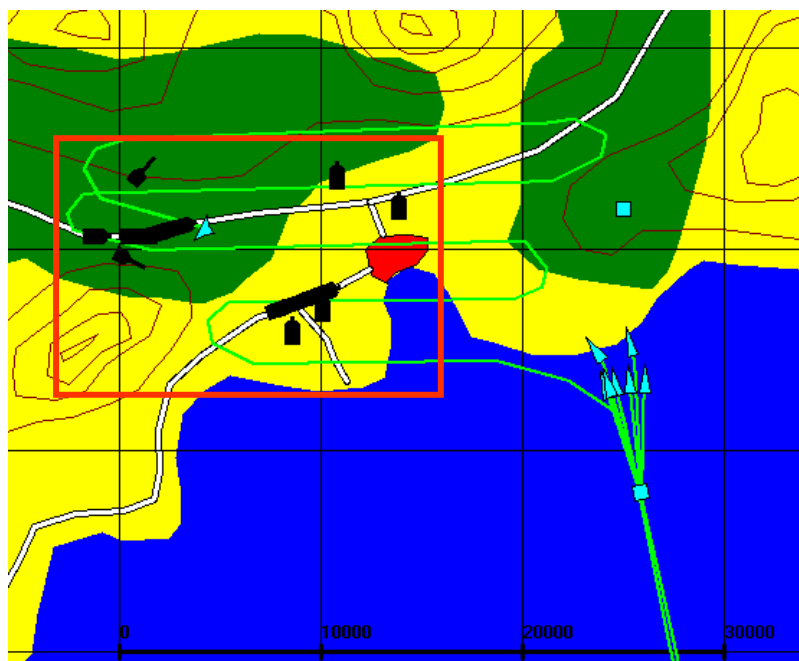
För att möta detta hot görs en insats med ett långgräckviddigt robotsystem från landstigningsfartyget för att stötta de landsatta styrkornas operation att säkra hamnen.

#### 3.2 Händelseförlopp

Figur 3.1 nedan visar en översikt över det område där landstigningen av den svenska insatsstyrkan sker. Här visas också aktörerna i simuleringen. Dessa är:

- Fientliga mål (svarta):
  - Stridsfordon: 10 st.
  - Stridsvagnar: 4 st.
  - Artillerifordon: 2 st.
- Egna enheter (ljusblå):
  - Landstigningsfartyg - På väg mot hamnstaden
  - Spanings-UAV - Tillryggagad sträcka visas i figuren
  - Robotar: 7 st.

Vidare visas robotarnas insatsområde i figuren (markerat med röd ram). Området mäter c:a 12x18 km. Vi ser att robotarna nyligen har avfyrats. Vi betraktar nu scenariot i mer detalj, i kronologiskt ordning, och visar då samtidigt olika exempel på presentationsmöjligheter i ISIS.



*Figur 3.1 Översikt av aktörer i simuleringen vid tidpunkten 0:24:30. Notera att målikonerna överlappar varandra i de två fordonskolonnerna längs vägarna.*

### 3.2.1 UAV-spaning och planering av robotinsats

Vid tiden 0:00:00 (starttid för simuleringen) startar en UAV från landstigningsbåten med uppdrag att spana efter fiendtlig verksamhet i området kring hamnstaden. Sensorbearbetning sker ombord på UAVn (On-board processing) och relevant målinformation rapporteras till operatörsenheten/ledningscentralen på fartyget via radiolänk.

Radiolänken mellan UAV och landstigningsfartyg blir emellertid utstörd i ett tidigt skede av underrättelseinhämtningen. UAVn övergår till fullständig autonom mod och fortsätter sitt spaningsuppdrag. Den söker under tiden efter alternativa kommunikationsvägar.

Vid tiden 0:18:20 får UAVn kontakt via laserkommunikationslänk med en spaningsgrupp ur den svenska insatsstyrkan, och kan då överföra den samlade målinformationen fram till denna tidpunkt. Spaningsgruppen utnyttjar en ostörd länk för att föra informationen vidare till fartygets ledningscentral.

Underrättelseinformationen från UAVn visar ett flertal stridsfordon, några stridsvagnar och två artillerivagnar som rör sig mot hamnstaden. Med informationen som grund beslutas om en robotinsats mot främst fiendens stridsvagnar och artilleri. Ett målområde anges för robotinsatsen och ett lämpligt taktiskt uppträdande för systemet beräknas. Robotarna förses med uppdrags- och målinformation och sju robotar avfyras därefter.

### 3.2.2 Samordnad målsökning - taktikanpassning

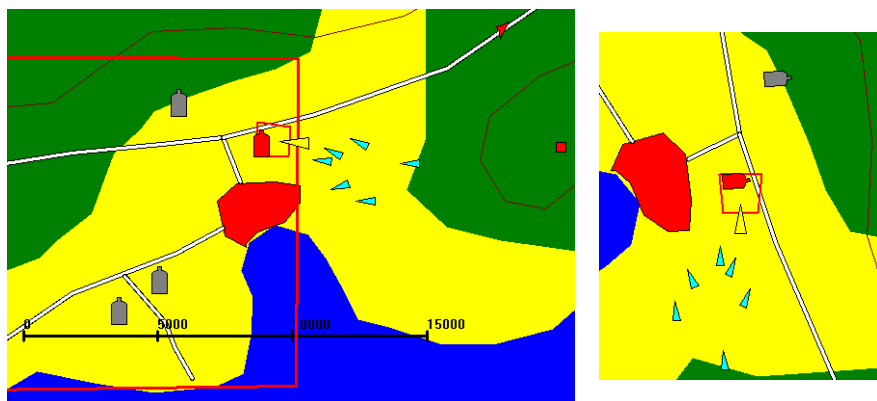
När robotarna når fram till målområdet formerar de sig i två grupper. Fyra robotar avsöker målområdets norra del, framför allt längs den norra vägen, där UAVn tidigare identifierat en fordonskolonn med flera prioriterade mål. Tre robotar bildar en grupp som spanar längs den södra vägen.

För att möta hotet från fiendligt luftvärn väljs en spaningstaktik där en av robotarna i respektive grupp lägger sig på en högre höjd (1000 m) för att med sin LADAR täcka ett så brett

område som möjligt. Målinformation kommuniceras fortlöpande till de efterföljande robotarna som flyger på så låg höjd som möjligt och vid sidan av vägen, utnyttjande endast passiva sensorer. På så vis är det endast en robot i respektive grupp som utsätter sig för ett signifikant luftvärnshot.

Målläget kommuniceras också mellan de två robotgrupperna, varför den södra gruppen kan, om den inte upptäcker några egna högprioriterade mål, slå mot mål som den norra gruppen identifierar.

I Figur 3.2 ser vi aktuellt läge för Robot 1 (gulmarkerad), som är spaningsrobot i norra gruppen, vid målspaningens inledning (0:25:30). Figuren visar vilken målinformation som roboten besitter. Gråmarkerade mål indikerar att informationen är föråldrad och därmed osäker beträffande position. Informationen är den som förmedlades av UAVn innan robotarna avfyrares, och som nu är omkring 15 minuter gammal. I den högra bilden visas också vilket område robotens målsökare täcker. Här ser vi också att roboten precis har identifierat ett grupperat stridsfordon (rött), information som den omedelbart kommunicerar till övriga robotar.



*Figur 3.2 Robot 1:s lägesuppfattning 0:25:30 - egen robot gulmarkerad. Att övriga robotar är blåmarkerade indikerar att robot 1 har kontakt med dessa. Rödmarkerad UAV uppe till höger i vänstra bilden indikerar senast kända position hos UAVn, som roboten nu inte har kontakt med.*

Figuren ovan är ett exempel på statusfönster för en enskild aktör, i detta fall en robot. Det finns ett flertal olika menyer, där aktörernas status kan följas under simuleringens gång. De olika aktörsmenyerna når man från en översiktsmeny, som också visar aktörens grundläggande statusvärden – position, hastighet, vilka styrmoder som är aktiva, målsökarstatus, m.m. Figur 3.3 visar översiktsmenyn med aktuell status för robot 1 vid samma tidpunkt som i Figur 3.2 ovan.



**Robot 1**

X: 32191 m  
Y: 25058 m  
Z: 2000 m  
Fart: 150 m/s  
Kurs: 274 grd  
Tipp: 0 grd  
Roll: 0 grd

Terräng  
Aktörvy  
Kontroll

Aktiv: ☒ Sensortolk: ☒  
 Startad: ☒ Banfölj: ☒  
 Destruerad: ☒ Målval: ☒  
 Manuell: ☒ Attack: ☒  
 Målsökare: ☒ Kolla målområde: ☒

Figur 3.3 Statusmeny för Robot 1 vid tidpunkten 0:25:30. Från denna meny kan man sedan öppna kartfönster och andra statusmenyer.

Det finns två menyer för att detaljstudera robotens informationsläge, Målsökarfönstret och Sensortolkfönstret. I den förstnämnda kan man studera hur robotens målsökare arbetar över tiden, från det att ett mål kommer innanför sensorns täckningsområde tills dess att målsökaralgoritmen anser att det är identifierat, och studera vilka faktorer som påverkar identifieringen. I sensortolkfönstret ser man hur tolkningsalgoritmen fusionerar information från samtliga aktörer i scenariot. Målsökaralgoritmen presenteras utförligt i 5.2, och i 5.7.2 beskrivs informationsfusionsalgoritmen.

**Målsökarmeny Robot 1**

| ID | Typ  | Avst | Obs | Sr | Tr | Terräng | Obsrikt | Akt slh | Max slh | Slump |
|----|------|------|-----|----|----|---------|---------|---------|---------|-------|
| 15 | Strf | 1415 | X   | 1  | 0  | 0       | 0       | 1.000   | 0.000   | 0.000 |

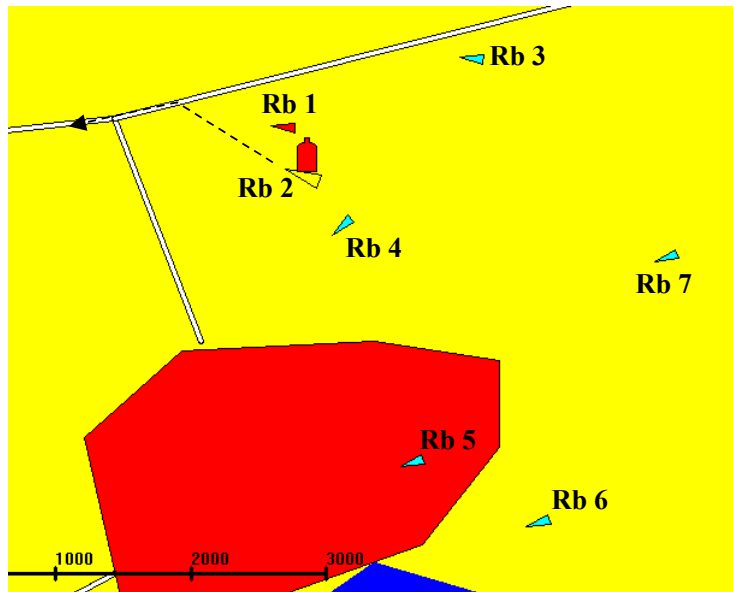
**Sensortolk Robot 1**

11 Stridsfordon Tid: 1530.0 Obs: 2  
 10 Stridsfordon Tid: 983.0 Obs: 1  
 9 Artilleri Tid: 840.0 Obs: 1  
 8 Artilleri Tid: 840.0 Obs: 1  
 7 Stridsvagn Tid: 847.0 Obs: 1  
 6 Stridsvagn Tid: 842.0 Obs: 1  
 5 Stridsvagn Tid: 839.0 Obs: 1  
 4 Stridsfordon Tid: 832.0 Obs: 1  
 3 Stridsfordon Tid: 826.0 Obs: 1  
 2 Stridsfordon Tid: 473.0 Obs: 1  
 1 Stridsfordon Tid: 439.0 Obs: 2

Figur 3.4 Detaljer om målsökaren till vänster och informationsfusionen till höger – för robot 1 vid tidpunkten 0:25:30. Målsökaren ser endast ett mål, men informationsdatabasen innehåller 10 olika mål. För varje mål anges antal observationer som fusionen bygger på.

Vi kommer längre fram i presentationen (avsnitt 3.2.4) visa hur statusmenyn för målsökaralgoritmen ser ut. Det finns också statusmenyer för att övervaka kommunikationen mellan de ingående aktörerna. Dessa presenteras i 3.2.3 nedan.

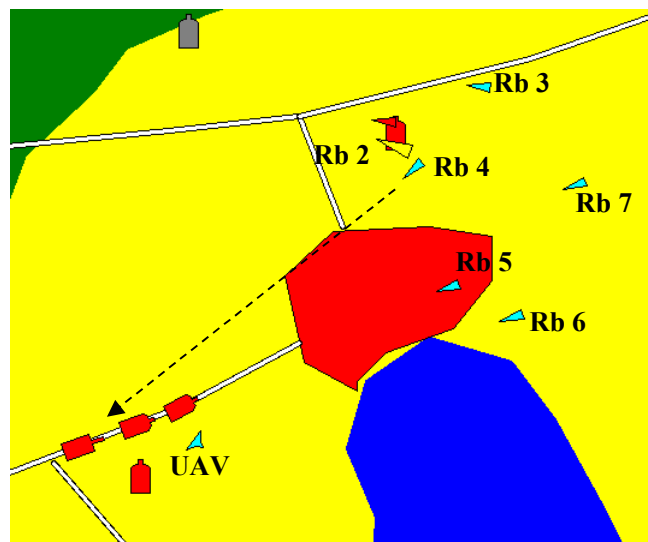
Vid tiden 0:25:40 blir Robot 1 nedskjuten av fiendens luftvärnssystem, vilket av övriga robotar detekteras på grund av kommunikationsbortfall. Av kvarvarande robotar är Robot 2 bäst lämpad att överta spaningsrollen. Denna robot planerar därför om sin flygbana, går upp på spaningshöjd och öppnar sin målsökare. Se Figur 3.5.



*Figur 3.5 Robot 2:s lägesuppfattning 0:25:45 - Kontakten med robot 1 förlorad (indikeras av rödmarkerad robot). Robot 2 (gul) övertar spaningsrollen.*

Här kan man fråga sig vad som händer ifall robotsystemet felaktigt tolkar kommunikationsbortfall som förlust av robot, och gruppen sedan åter får kontakt med den ”förlorade roboten”. Ett robust styrsystem skall kunna hantera detta, en egenskap som är lämpligt att studera med simuleringsverktyget.

### 3.2.3 Kommunikation med UAV

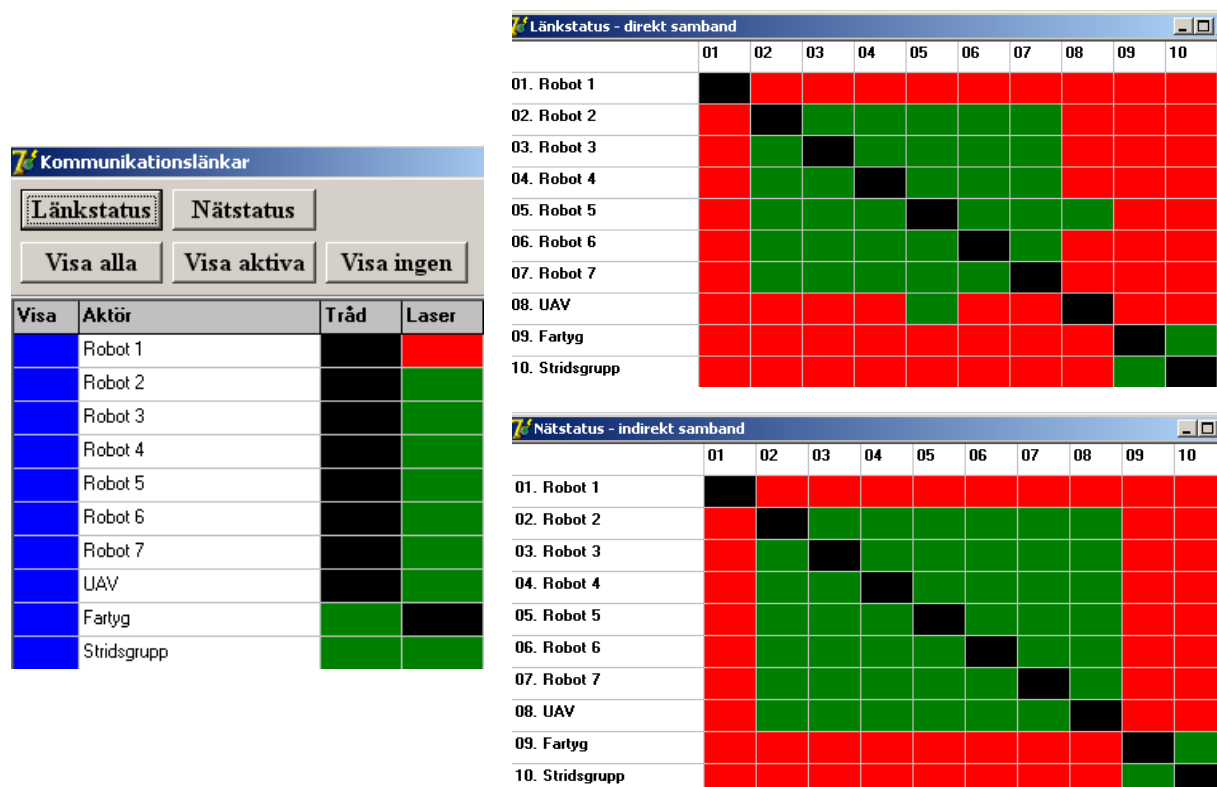


*Figur 3.6 UAVn har fått kontakt med Robot 5, som i sin tur länkar aktuella observationer till övriga robotar. Figuren visar Robot 2:s uppdaterade lägesuppfattning. UAVn har nyligen mätt in en stridsvagn (nere till vänster) och baserat på denna information anfaller nu robot 4.*

Robotinsatsen har planerats så att robotarna möter den spanande UAVn (som klarat sig ifrån fiendens luftvärn) när den är på väg hem från sitt uppdrag. Vid tiden 0:25:42 får UAVn kontakt med robotsystemet via laserkommunikationslänk och överför nu den information som

den samlat på sig efter det att den hade möjlighet att kommunicera med ledningscentralen på fartyget.

UAVn får först endast kontakt med Robot 5, men denna robot kan i sin tur länka UAVns målläge till övriga robotar i systemet, varför samtliga robotar omedelbart får samma omvärldsuppfattning. Det är alltså inte nödvändigt för aktörerna i kommunikationsnätverket att stå i direkt kontakt med varandra för att ett fullständigt kommunikationsutbyte skall kunna ske. Detta är ett rimligt antagande när kommunikationslänkarna har hög bandbredd och informationsmängden är begränsad. I detta scenario utnyttjas ju en laserlänk med mycket hög bandbredd och endast bearbetad målinformation, inte ”råsensordata”, kommuniceras.



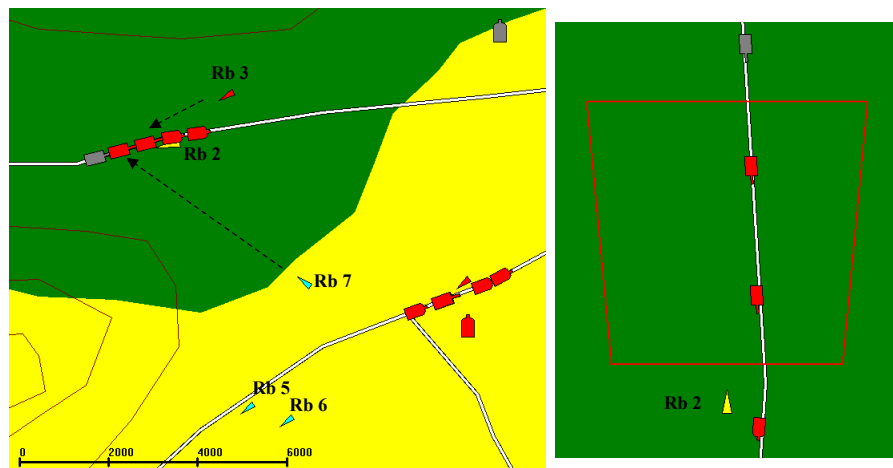
Figur 3.7 Kommunikationsstatus i scenariot vid tiden 0:25:42. Vänstra diagrammet visar status hos aktörernas kommunikationslänkar (grön = aktiv). Diagrammet ovan till höger visar vilka aktörer som har direkt länkförbindelse med varandra. Diagrammet nedan till höger visar mellan vilka aktörer informationsutbyte kan ske, dvs. även indirekt eller reläad information.

### 3.2.4 Målval och målfördelning

När spaning påbörjats aktiveras också en autonom målvals- och målfördelningsalgoritm. Principen är följande: robotsystemets samlade målläge ligger till grund för målval och målfördelning. Den valda taktiken i scenariot är i korthet att när ett prioriterat mål identifieras (stridsvagn, artilleri eller luftvärn) attackeras detta omedelbart av den robot som ligger bäst till för att slå mot målet (högst P-kill). Om målet är ett stridsfordon däremot, så fortsätter sökningen. I första hand utnyttjas efterföljande robotar för attack så att spaningsrobotarna kan fortsätta att söka efter fler mål. När hela målområdet är genomsökt fördelas kvarvarande robotar på mål av lägre prioritet. Nedan beskrivs hur målvalsalgoritmen löser sin uppgift i detta scenario. En teoretisk genomgång av algoritmen görs i kapitel 5.7.3.

När UAVn får kontakt med robotsystemet förmedlar den sitt aktuella målläge (se Figur 3.6 ovan), bland annat en stridsvagn som framrycker längs den södra vägen. När denna information når robotarna styr Robot 4 direkt mot detta mål, eftersom denna enligt målvalsalgoritmen ligger bäst till. Identifierade stridsfordon medför ingen omedelbar attack, men målläget bevaras ifall inget bättre mål identifieras senare. UAVn rapporterar också tre stridsvagnar och två artillerivagnar som ingår i fordonskolonn längs norra vägen. Dessa medför dock inte heller någon omedelbar attack, eftersom informationen är gammal (gråmarkerad). Robotarna måste söka upp dessa mål på nytt för att få ett aktuellt målläge.

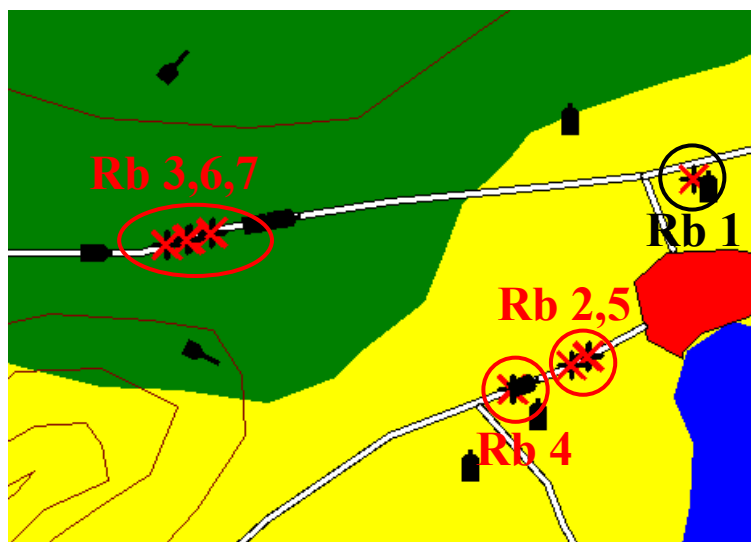
Vid tiden 0:26:50 når den norra sökroboten, Robot 2, fram till den fientliga kolonnen längs vägen och kan nu verifiera och uppdatera den målinformation som UAVn lämnat tidigare. Först identifieras de två främre stridsfordonen, som inte attackeras. Därefter identifieras en stridsvagn, och omedelbart fördelas Robot 3 för att slå mot denna. När andra stridsvagnen identifieras finns inga robotar kvar bakom Robot 2. Då tilldelas målet i stället Robot 7 som följer efter Robot 5 - spaningsroboten längs södra vägen. Den tredje identifierade stridsvagnen i fordonskolonnen tilldelas slutligen Robot 6.



*Figur 3.8 Aktuellt läge för Robot 2 vid tiden 0:26:56. Robot 2 har identifierat och mätt in två stridsvagnar i fordonskolonnen, som har engagerats av Robot 3 och Robot 7. Den tredje stridsvagnen är just på väg in i robotens målsökare, och kommer då att engageras av Robot 6.*

När Robot 2 och Robot 5, som nu är ensamma kvar, når slutet av sökområdet utan att hitta fler högprioriterade mål, väljs två av de tidigare identifierade målen med lägre prioritet ut av målvalsalgoritmen, och robotarna slår mot dessa.

I Figur 3.9 ser vi slutresultatet av robotinsatsen. Av de totalt 15 målen i scenariot har de sju robotarna slagit ut fyra stridsvagnar och två lättare stridsfordon. Två högprioriterade mål (artilleri) undgick upptäckt och bekämpning. En av de sju robotarna (Robot 1) förlorades innan den hann verka.



Figur 3.9 0:27:30 - Resultatet av robotinsatsen.

Målvalsalgorithmens exekvering kan under simuleringen följas i en egen statusmeny. Innehållet i menyn förklaras i kapitel 5.7.3.

| Målval rb 4    |              | 0.03 | 0.22 | 0.14 | 0.22 | 0.14 | 0.22 | = | 1 |
|----------------|--------------|------|------|------|------|------|------|---|---|
| Nr of columns  | 6            | 0.01 | 0.21 | 0.07 | 0.21 | 0.06 | 0.21 | = | 1 |
| Nr of rows     | 6            | 0.02 | 0.22 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | = | 1 |
| Direction      | LPX_MAX      | 0.03 | 0.21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | = | 1 |
| Total cost     | 0.9719697237 | 0.02 | 0.21 | 0.13 | 0.21 | 0.13 | 0.21 | = | 1 |
| CPU time (ms)  | 1.00         | 0.03 | 0.20 | 0.17 | 0.20 | 0.16 | 0.20 | = | 1 |
| Problem status | LPX_OPT      |      |      |      |      |      |      |   |   |
| Exit code      | LPX_E_OK     |      |      |      |      |      |      |   |   |
|                |              | <    | <    | <    | <    | <    | <    |   |   |
|                |              | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |   |   |

Figur 3.10 Presentationsgränssnitt för målvalet.

## 4 ISIS PROGRAMSTRUKTUR I STORT

ISIS har primärt utvecklats för projektet Samverkande Robotar i Nätverk, där målsättningen är att studera ett samordnat autonomt beteende hos ett antal flygande plattformar, som har möjlighet till informationsutbyte under sitt uppdrag. Centralt i simuleringsmiljön är därför informationsutbyte mellan ett antal simulerade robotar, samt modeller för hur dessa hanterar informationen för sin uppdragsstyrning.

Flexibilitet har emellertid varit ledstjärnan vid utvecklingen av simuleringsverktyget. Andra typer av aktörer skall kunna implementeras utifrån generella programkomponenter genom arv av önskade egenskaper, och nya egenskaper skall kunna tillföras på ett strukturerat sätt.

En viktig princip vid utvecklingen av simuleringsverktyget har också varit att endast implementera de modeller som behövs för de aktuella simuleringsproblemen, och på den komplexitetsnivå som problemställningen kräver. Grafisk presentation av simuleringen är heller inget självändamål. På så sätt har endast en mindre del av projektets resurser för simuleringsverksamheten behövts för programutveckling. Den större delen av resurserna har kunnat utnyttjas för algoritmutveckling, som med relativt enkla medel kan anpassas även till andra simuleringsverktyg.

I detta och nästa kapitel redogörs för ISIS programstruktur och de moduler som ingår idag. I kapitel 6 beskrivs principen för hur nya moduler implementeras i ISIS. Presentationen hålls på en översiktlig och principiell nivå. En fördjupning av programmeringstekniska detaljer görs i en kommande rapport.

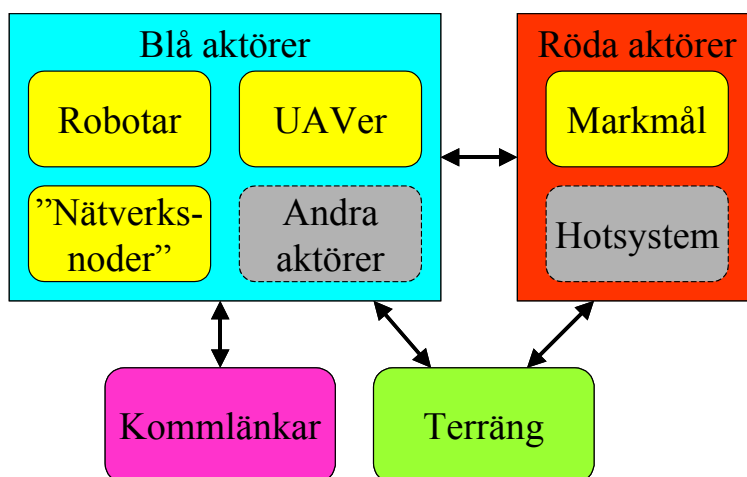
### 4.1 Aktörer i ISIS

Nedanstående figur skall illustrera huvudprincipen för en ISIS-simulering. Ett antal ”blå” aktörer, som har möjlighet att kommunicera med varandra i ett nätverk via olika typer av länkar, agerar i en simulerad omgivning. De interagerar med en terrängmodell, markmål, som kan vara såväl spanings- som verkansmål, och, ännu ej implementerat, hotsystem.

Modellerna för de blå aktörerna innehåller ett flertal olika delmodeller som beskriver aktörernas beteende. De innehåller också ett antal olika styralgoritmer, både för fullständigt autonoma funktioner och för interaktion med en eller flera operatörer.

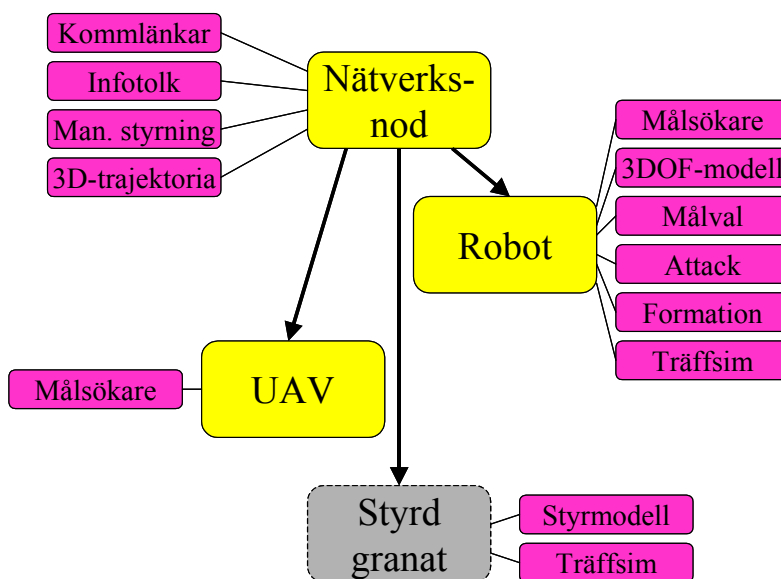
Markmålen beskrivs med betydligt enklare modeller. De är i princip punktobjekt som rör sig i den simulerade terrängen.

Hotsystem, som är under utveckling, kommer i ett första skede att utgöras av luftvärnshot, men kommer sedan att också omfatta telekrigshot.



Figur 4.1 Aktörer i ISIS - gråmarkerade objekt är ännu inte implementerade.

Med "blå aktörer" menas här agenterna i det system som är fokus för simuleringen, samt andra aktörer som dessa kan utbyta information med under sitt uppdrag. Den gemensamma egenskapen hos dessa aktörer är alltså modeller för informationsutbyte och informationstolkning.



Figur 4.2 Nätverksnod och underklasserna UAV, Robot och Styrd granat (ej implementerad). Egenskaperna hos Nätverksnod ärvt av de andra tre underklasserna.

"Nätverksnoder" är benämningen på en generell klass av aktörer. Det är denna klass som har tilldelats egenskapen "kommunikationslänkar", en egenskap som sedan ärvt av andra klasser av aktörer, som utvecklats från den generella klassen. Dessa speciella klasser utgörs idag av "robotar" och "UAVer", men fler typer av aktörer kan relativt enkelt definieras när simuleringarna så kräver. Inom ramen för projektet *Precisionsbekämpning i NBF* planeras en modell för en styrd granat att implementeras under hösten 2005.

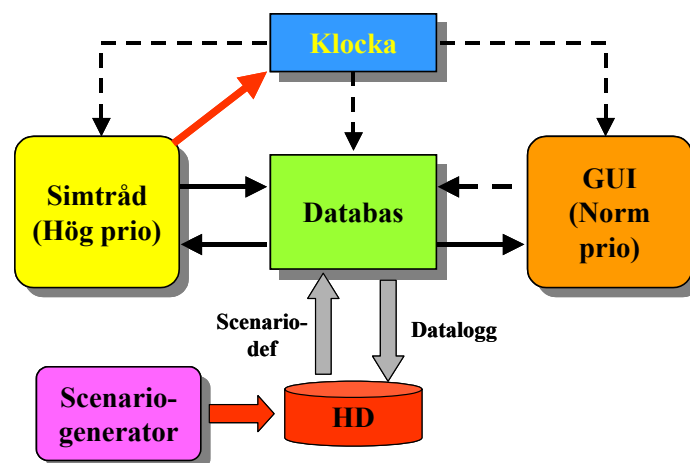
Programstrukturen hos ISIS tillåter också att befintliga klasser av nätverksaktörer utvecklas med fler egenskaper, eller att flera alternativa delmodeller, t.ex. för målsökare, tas fram. På så sätt kan man erhålla aktörer med precis de egenskaper som det aktuella simuleringsproblemet

kräver genom att återanvända moduler från tidigare utveckling när dessa är lämpliga, och nyutveckla endast de delar som behövs.

## 4.2 Simulering av ett scenario

En simulering i ISIS kan genomföras enligt två olika principer – ”batchsimulering” eller ”interaktiv simulering”. I en batchsimulering körs ett scenario igenom så fort som möjligt, och resultatet av simuleringen kan sedan studeras i efterhand. I en interaktiv simulering körs scenariot i realtid, och förloppet kan följas i ett grafiskt interface. Vid interaktiv simulering är det också möjligt att manuellt påverka simuleringen, t.ex. genom att med joystick styra fientliga mål eller ge ”operatörskommandon” till ett robotsystem. Resultatet från en interaktiv simulering kan, precis som för en batchsimulering, studeras i efterhand.

Nedanstående figur illustrerar hur en simulering i ISIS går till. Ett scenario, som beskrivs av ett antal textfiler, skapas i en scenariogenerator. Vid simuleringsstart läses dessa definitioner in från datorns hårddisk och en databas initieras, där samtliga aktörers tillstånd över tiden lagras. En ”simuleringsmotor” skapas i form av en egen tråd<sup>1</sup> i programmet som exekverar med högre prioritet. Simuleringstråden driver också ”klockan”, som utnyttjas av databasen och grafikrutinerna för att hålla reda på aktuell scenariotid.



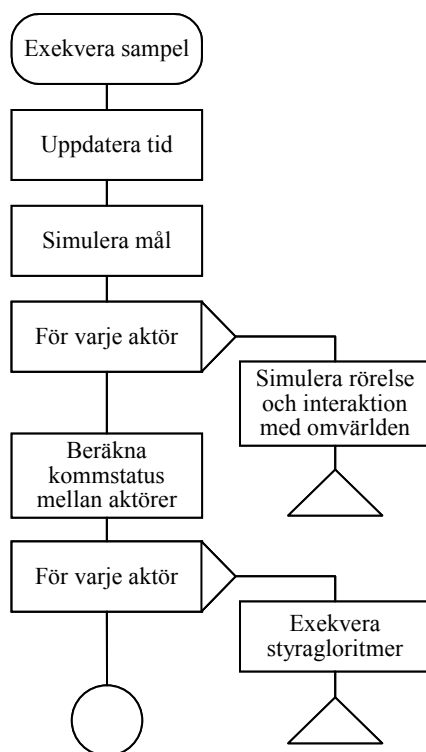
Figur 4.3 Översiktlig programstruktur - simulering

Efter slutförd simulering av ett scenario sparas databasen på hårddisken. Därmed finns alla data tillgängliga för att i efterhand spela upp scenariot igen.

Simuleringstråden exekverar med högre prioritet än grafikrutinerna. Detta innebär att simuleringen inte hejdas i onödan av t.ex. uppdatering av en kartbild i den grafiska presentationen. Simuleringstråden aktiveras varje sampel, och ser då till att tillstånden för egna och fientliga aktörer uppdateras. Samplingsfrekvensen kan anpassas till aktuellt scenario och kan också väljas olika för mål, aktörer och kommunikationslänkar.

<sup>1</sup> På en Windows-plattform kan flera program exekvera samtidigt, och varje sådant program kallas för en ”process”. En process kan i sin tur bestå av flera delar, som körs parallellt på datorn, med olika prioritet. Varje sådan del kallas för en ”tråd”. Det är operativsystemet som ser till att processer och trådar får tillgång till processorn i enlighet med deras prioritet.

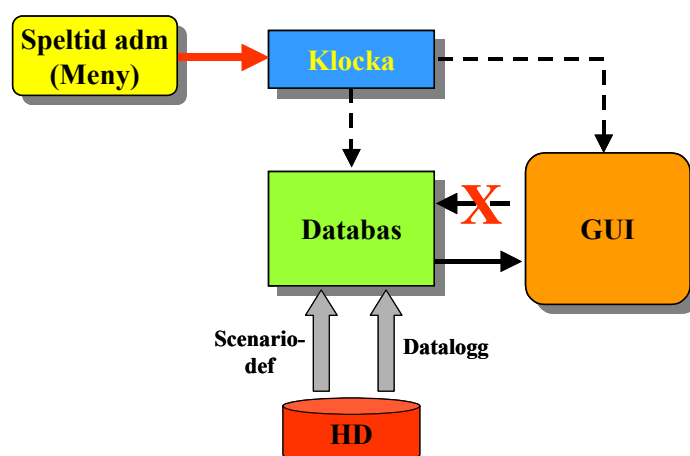




Figur 4.4 Simuleringstråden - exekvering av ett sampel

### 4.3 Uppspelning av ett scenario

Figuren nedan illustrerar uppspelningsfunktionen i ISIS. Databasen som representerar en simulering läses in från hårddisken tillsammans med definitionsfilerna för det aktuella scenariot. ISIS har därmed tillgång till samtliga aktörers tillstånd vid varje tidpunkt under det simulerade förloppet.



Figur 4.5 Översiktlig programstruktur – uppspelning

Uppspelning av ett scenario sker med hjälp av samma grafiska rutiner som utnyttjas vid interaktiv simulering, med den skillnad att det naturligtvis inte längre är möjligt att påverka

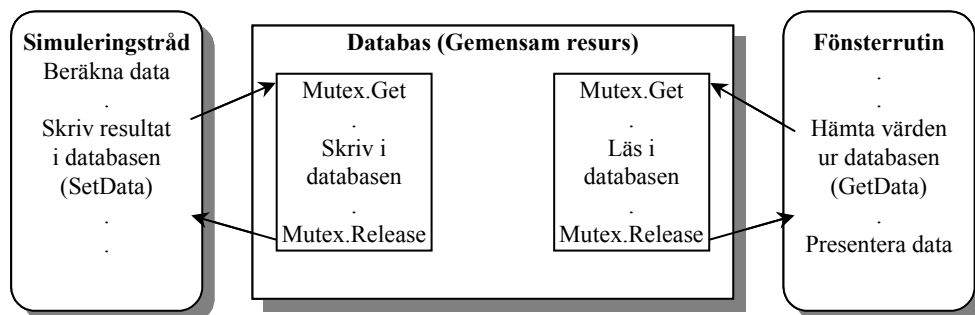
händelseförloppet. Däremot kan man via en speciell uppspelningsmeny fritt hoppa fram och tillbaka i tiden för att studera resultatet i simuleringen.

Att det grafiska gränssnittet är identiskt vid simulering och uppspelning underlättar programutvecklingen väsentligt. Det innebär att endast en modul behöver utvecklas och underhållas. Även om programkoden vore ”nästan” identisk, skulle två moduler innebära att en ändring eller ”buggfix” måste utföras på två ställen, med betydligt större risk för misstag.

## 4.4 Databashantering

Databashantering i ISIS bygger på att samtliga aktörers tillstånd över tiden sparas, vilket gör det möjligt för simuleringsrutinerna att hämta data från en godtycklig tidpunkt mellan starttiden för simuleringen och den aktuella tidpunkten. Datorns primärminne utnyttjas för att erhålla snabb access till historiska data. Minnesanvändningen optimeras genom att endast förändringar hos ett databasvärde sparas, dvs. när ett tillstånd ändras sparas det nya värdet och tidpunkten för förändringen.

Databasen innehåller också ett skydd mot samtidig access från olika trådar, som förhindrar konstiga resultat som annars skulle kunna uppstå ifall simulerings- och grafiktråden samtidigt försökte skriva samma data. En tråd som vill använda en gemensam resurs i databasen måste då först reservera denna. Om resursen är ledig fortsätter exekveringen omedelbart och tråden har nu reserverat resursen. Om resursen redan har reserverats stannar exekveringen temporärt och tråden får vänta tills resursen blir ledig. När tråden är klar med resursen lämnas den tillbaka. Figur 4.6 illustrerar detta.



Figur 4.6 En skyddad area i databasen delas av två parallella programtrådar.

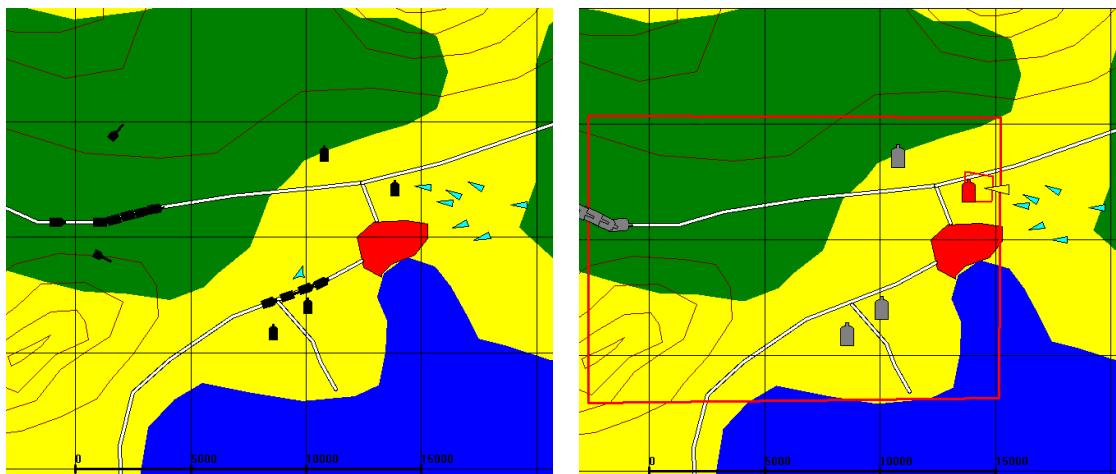
Resursskyddet används lokalt för olika delar av databasen. En tråd som använder databasen behöver alltså inte reservera hela denna, utan endast den del som för tillfället skall läsas eller skrivas. Därmed låser man inte i onödan databasen för andra delar av programmet.

Primärt implementerades databasstrukturen för att de ingående styrmodulerna på ett effektivt sätt skall få tillgång till aktörernas tillstånd över tiden, utan att rutiner för varje modul behöver skrivas för att spara dessa. Men databasstrukturen gör det också enkelt att i efterhand spela upp ett simulerat scenario. Genom att åter ladda in hela databasen från förloppet i primärminnet, kan ett godtyckligt avsnitt av simuleringen studeras.

## 4.5 Grafisk presentation

Naturligtvis är det viktigt att resultatet av en simulering kan presenteras på ett överskådligt sätt så att man kan dra rätt slutsatser av arbetet. Grafisk presentation av ett scenario har också ett pedagogiskt värde, att med ”rörliga bilder” beskriva ett händelseförlopp.

Den mest grundläggande GUI-funktionen är att presentera aktörernas beteende i en tvådimensionell kartvy, som kan zoomas in till önskad upplösning. Det finns ett flertal olika kartfönster. En ”simuleringsvy” presenterar samtliga blå och röda aktörers aktuella position. Denna ”facitvy” kan sedan jämföras med en liknande kartvy för respektive blå aktör, som visar hur just denna uppfattar ”verkligheten”. I aktörens kartfönster presenteras den information som aktören känner till, eller tror sig känna till.



Figur 4.7 Verklig position hos robotar, UAV och mål till vänster och Robot 1:s (gulmarkerad) uppfattning om läget vid samma tidpunkt.

Det finns ett statusfönster för varje aktör, som visar aktuella värden för de viktigaste tillståndsvariablerna. Fönstret visar också vilka styrmoder som är aktiva för aktören. Det är också möjligt att vid interaktiva simuleringar manuellt styra en aktör via detta och underliggande fönster.

| Robot 1                                                   |                                     |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| X:                                                        | 32191 m                             |
| Y:                                                        | 25058 m                             |
| Z:                                                        | 2000 m                              |
| Fart:                                                     | 150 m/s                             |
| Kurs:                                                     | 274 grd                             |
| Tipp:                                                     | 0 grd                               |
| Roll:                                                     | 0 grd                               |
| <div>Terräng</div> <div>Aktörvy</div> <div>Kontroll</div> |                                     |
| Aktiv:                                                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Startad:                                                  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Destruerad:                                               | <input type="checkbox"/>            |
| Manuell:                                                  | <input type="checkbox"/>            |
| Målsökare:                                                | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Sensortolk:                                               | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Banfölj:                                                  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Målval:                                                   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Attack:                                                   | <input type="checkbox"/>            |
| Kolla målområde:                                          | <input checked="" type="checkbox"/> |

Figur 4.8 Statusfönster för Robot 1 vid samma tidpunkt som kartvyerna i Figur 4.7.

Till de flesta styralgoritmer hör också ett grafikfönster som visar hur just denna algoritm arbetar. Dessa fönster anpassas fortlöpande för att hela tiden visa relevant information för det aktuella simuleringsproblemet.

Kommunikation mellan aktörer är av central betydelse i ISIS, och följaktligen finns en grafisk presentation av aktuell länkstatus för aktörerna. Detta beskrivs vidare i kapitel 5.5.

De fientliga målens position presenteras i kartvyerna, men det finns också ett speciellt målfönster där varje måls tillstånd kan detaljstuderas, och där man manuellt kan styra målets agerande vid interaktiva simuleringar.

Den grafiska presentationen i ISIS bygger på att samtliga presenterade värden hämtas ur databasen. Detta gör att samma grafikrutiner kan användas både för att studera en simulering i realtid och för att i efterhand spela upp ett förlopp.

## 4.6 Generering av loggfiler

Den grafiska presentationen av simulerade förlopp har anpassats efter nuvarande behov, men med tanke på att så långt som möjligt vara generell för flera tillämpningar. Ibland är det dock önskvärt att kunna extrahera relevanta data från en simulering och behandla dessa i andra program, t.ex. Excel eller Matlab. Extraherade data kan också användas för att presentera simuleringen i ett avancerat grafiskt verktyg, som t.ex. tillåter 3D-presentation. Ett sådant verktyg har utvecklats inom FOI.

I ISIS exporteras data genom att programkod för detta läggs in på ”rätt” plats. Detta kräver naturligtvis programmeringskompetens och god kännedom om ISIS programstruktur, men det är en enkel, generell och robust metod, som tillåter att data loggas antingen direkt vid simulering eller i efterhand vid uppspelning av ett scenario.

## 4.7 Scenariodefinition

Ett scenario i ISIS definieras av ett flertal textfiler, där huvudfilen (scenariofilen) innehåller länkar (filnamn) till blå aktörer, markmål, terrängmodell, parametrar för kommunikationsmodell, osv. Här finns också specificerat samplingsperioder för simuleringen och andra inställningsparametrar.

Scenariofilen länkar sedan till andra textfiler, som beskriver varje enskild aktör, eller grupp av aktörer. För t.ex. en robot anges vilka kommunikationslänkar den har, vilken rörelsemodell som skall användas, målsökarmodell och länk till parameterfil, vilka styralgoritmer som skall utnyttjas, m.m.

Terrängmodellen beskrivs också av en textfil som innehåller information om storlek på det simulerade området, eventuell bakgrundsbild m.m. Textfilen kompletteras med en genererad binärfil, som innehåller själva terrängdatabasen, med höjdinformation och terrängtyp i varje terrängpunkt med vald upplösning.

Till ISIS hör också ett grafiskt genereringsgränssnitt, där innehållet i textfilerna kan specificeras med hjälp av olika menyer. I de flesta fall definieras ett scenario enklast och mest överskådligt med detta gränssnitt, men ibland går det snabbare att direkt skriva definitionerna i respektive textfil. Båda metoderna kan också kombineras för maximal flexibilitet.

I denna rapport går vi inte in på hur scenariodefinitionerna ser ut i detalj. För detta hänvisas till kommande programdokumentation.

## 5 SIMULERINGSMODELLER I ISIS

Föregående kapitel beskrev översiktligt programstrukturen i ISIS och hur en simulering är uppbyggd och hur den exekverar. I detta kapitel skall vi gå igenom modellerna för de olika delarna i ISIS. De mest utförliga modellbeskrivningarna återfinns hos robotmodellens delkomponenter, eftersom denna har varit fokus för projektet Samverkande robotar i Nätverk. ISIS programstruktur medger dock att övriga aktörer kompletteras med nya, detaljerade modeller, ifall fler verksamheter deltar i utnyttjandet och utvecklingen av simuleringsprogrammet.

Nedan beskrivs principerna för de idag befintliga modellerna. I en del fall behandlas också planerad vidareutveckling av modellerna, eller utveckling av nya modeller.

### 5.1 Terräng

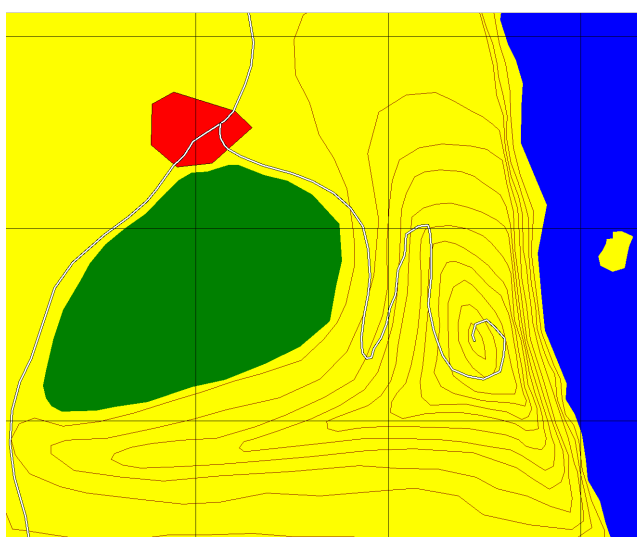
Behovet av en terrängmodell är ofrånkomligt. Terrängfaktorer är viktiga när robotarnas interaktion med markmålen simuleras. För de frågeställningar som är aktuella behövs emellertid inte någon modell av ett verkligt terrängavsnitt med hög upplösning. I princip räcker det med en fiktiv omvärld, där endast de faktorer som har någon betydelse för simuleringen behöver modelleras. Samtidigt är det önskvärt att terrängen utan alltför stor ansträngning skall kunna varieras, så att olika terrängtypers inverkan på resultatet kan studeras.

I ISIS genereringsmod definieras de olika objekt som bygger upp terrängen. Dessa objekt är:

- höjdinformation
- areaobjekt, information om terrängtyp – skog, vatten, öppen terräng, tätort m.m.
- linjeobjekt så som vägar m.m.

Detta upplägg bygger på samma princip som formaten i GIS-databaser. Därför finns möjligheten att lägga till funktionalitet för att direkt importera terrängdata från dessa.

Figur 5.1 visar ett exempel på en fiktiv terräng uppbyggd i ISIS.



*Figur 5.1 En enkel terräng bestående av ett skogsområde (grönt), en tätort (rött) och vatten (blått) samt ett berg och några vägar.*

Det är möjligt att utnyttja en kartbild som mall vid genereringen, en bild som också kan utnyttjas i simuleringspaketets menyer. Dock kan inte programmet extrahera någon terränginformation ur kartbilden, den tjänar enbart som ett stöd när man manuellt definierar de olika terrängformationerna.

### 5.1.1 Hur genereras terrängen

Då en ny terräng skall genereras skapas först det område vilket skall kläs med en terräng. I terränggenereringsmodens dialogruta anges bland annat områdets

- sydvästra koordinat,
- utsträckning i nordsydlig riktning och i östvästlig riktning,
- upplösning i höjd,
- upplösning i terrängplanet, samt
- antalet pixlar som området skall ta upp på bildskärmen.

Terrängens olika objekt genereras genom att man markerar ett antal punkter i kartbilden. Om det är ett linjeobjekt bildas en linje av sammanhängande punkter, och om det är ett areaobjekt eller en höjdkurva sammanbinds även den första och den sista punkten automatiskt så att en sluten slinga bildas. Olika areaobjekt kan läggas på varandra för att bygga upp en mer komplex terräng. T.ex. kan man lägga en sjö inuti ett skogsområde eller en ö i ett vattenområde.

Alla objekt lagras i form av vektorgrafik för att sedan användas vid terrängmatrisgenerering och vid generering av olika typer av kartpresentationer vid simulering och uppspelning av ett scenario.

### 5.1.2 Generering av terrängmatris

Terrängmatrisen genereras utifrån alla ingående objekt, så att till varje terrängpunkt knyts en höjd samt information om terrängtyp. Höjdinformationen används av målsökarmodulen och kommunikationsmodulen för att beräkna frisiktsförhållanden, medan terränginformationen används av målen för att kunna vidarebefordra den informationen till målsökarmodellen.

Linjeobjekt används inte för närvarande, mer än för visualisering av terrängen, men i framtiden är vägar tänkta att kunna användas av både mål och markgående ”nätverksnoder”.

## 5.2 Målsökare

En viktig del i en simuleringsmiljö för samverkande robotsystem är en användbar modell för robotens målsökare. Detta gäller simuleringar på såväl taktisk som teknisk nivå. För projektets verksamhet, som fokuserar på styralgoritmer för autonom samverkan, har det hittills inte funnits behov av en modell som nära återspeglar beteendet hos en verklig sensor. Den behöver endast kunna ge indata till styralgoritmerna som i viss mån motsvarar de variationer som en riktig sensor ger. I detta avsnitt presenteras principerna för denna förenklade målsökarmodell.

I samverkan med projektet *Precisionsbekämpning i NBF* har det under föregående år genomförts ett examensarbete vid Institutionen för Flyg och Autonoma System, [9], där det övergripande syftet har varit att undersöka och utveckla en metodik för att möjliggöra en bättre modellering av komplexa målsökare. Modelleringen har skett på en konceptuell nivå, baserat på fysikaliska principer, och har resulterat i en detaljeringsgrad som vida överträffar de rent probabilistiska modeller som traditionellt har används vid systemteknisk modellering.

En vidareutveckling av dessa principer och implementering i ISIS har planerats inom ramen för projektet *Precisionsbekämpning i NBF*. Några tankar kring denna vidareutveckling presenteras i 5.2.5 nedan.

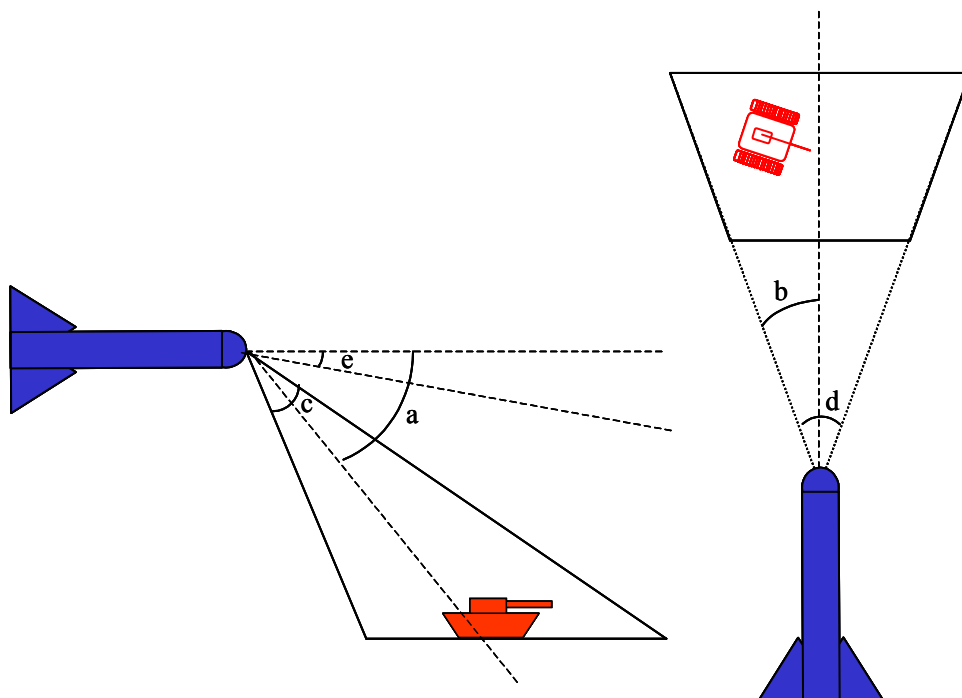
### 5.2.1 Målsökarens egenskaper

Målsökaren antas vara gimbalupphängd på en flygande plattform, vilket gör det möjligt att styra dess position relativt plattformens position. Programmässigt sker denna styrning genom att börvärden för *elevationsvinkel* (a) och *azimutvinkel* (b) anges relativt markplanet, dvs. algoritmer för styrning av målsökarens täckningsområde behöver inte kompensera för plattformens rörelser. (Beteckningarna för vinklarna används i Figur 5.2 nedan.)

De parametrar som beskriver målsökarmodellens grundläggande egenskaper är:

- Bildfält vertikalt (c)
- Bildfält horisontellt (d)
- Min betraktningssvinkel relativt horisont (e)
- Tid som målindikation behålls

Bildfältsvinklarna bestämmer ett rektangulärt synfält för sensorn, och tillsammans med elevations- och azimutvinkel beräknar målsökarmodellen vid varje sampeltillfälle vilket område på marken som sensorn betraktar. För de mål som befinner sig inom detta område görs en beräkning av eventuell upptäckt baserad på en sannolikhetsfördelning. Mål som befinner sig i terrängmask utesluts från beräkningen, likaså mål som i simuleringen befinner sig i tillståndet *Osynligt*.



Figur 5.2 Målsökarens täckningsområde på marken.

Vid beräkningen av täckningsområde används parametern *Min betraktningssvinkel relativt horisont* för att begränsa synfältet. Modellen antar, att vid mycket flacka betraktningssvinklar,

påverkar även små terrängvariationer som inte har tagits med i terrängmodellen, detektionsmöjligheten.

Målsökarmodellen levererar ”integrerade” sensordata, dvs. informationen har integrerats över ett antal samplingstillfällen. Den sista parametern, *Tid som målandikation behålls*, bestämmer hur länge en observation behålls efter det att målsökaren inte längre ser den. Därefter, om målsökaren på nytt fångar samma objekt, levererar den en ny indikation av objektet. Det är sedan informationsfusionsalgoritmens uppgift att bestämma om de två observationerna utgör samma objekt.

## 5.2.2 Beräkning av upptäcktssannolikhet

I målsökarsammanhang brukar man tala om *upptäckt*, *klassificering* och *identifiering*. I denna förenklade målsökarmodell skiljer vi emellertid inte på dessa tre faktorer, utan talar endast om *upptäcktssannolikhet*.

Målsökarens upptäcktssannolikhet för en specifik måltyp antas bero på dess avstånd till målet, terräng som målet uppträder i, betraktningssvinkel, målets uppträdande och hur länge målet har kunnat observeras. Parametrar som påverkar målsökarens uppträdande kan sättas individuellt för varje måltyp, se Figur 5.3.

|                           |                       |                          |             |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------|
| <b>Måltyp:</b> Stridsvagn |                       |                          |             |
| <b>Min antal obs:</b>     | 3                     | <b>Maxgräns (slh 0):</b> | 5000 m      |
| <b>Slhfakt minobs:</b>    | 0.80                  | <b>Närgräns (slh 1):</b> | 500 m       |
| <b>Antal obs maxslh:</b>  | 10                    | <b>Slhfakt grp:</b>      | 0.50        |
|                           |                       | <b>Slhfakt rök:</b>      | 0.20        |
| <b>Terrängfaktorer:</b>   |                       | <b>Ovan</b>              | <b>Sida</b> |
|                           | <b>Öppet</b>          | 0.70                     | 0.50        |
|                           | <b>Betäckt</b>        | 0.80                     | 0.08        |
|                           | <b>Väg gm betäckt</b> | 0.50                     | 0.05        |
|                           |                       | <b>Fr/Bak</b>            | 0.70        |
|                           |                       |                          | 0.10        |
|                           |                       |                          | 0.50        |

Figur 5.3 Parameterfönster för målsökarmodellens upptäcktssannolikheter

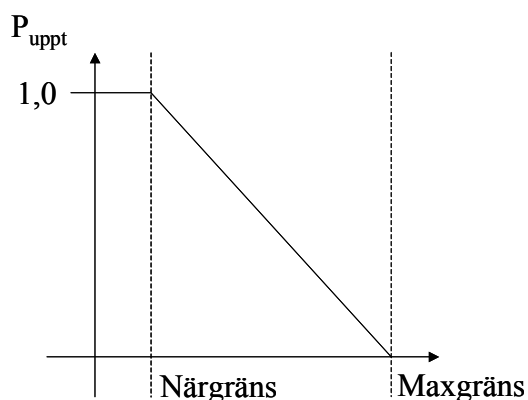
### Målavstånd

Målsökarmodellen antar att upptäcktssannolikheten för en specifik måltyp beror linjärt på avståndet till målet.

För varje måltyp anges en *Maxgräns*, bortom vilken upptäcktssannolikheten alltid är noll. Sensorns räckvidd kan alltså vara olika för olika måltyper. Parametern *Närgräns* anger var avståndet inte längre har någon betydelse för upptäcktssannolikheten, dvs. inom detta avstånd är avståndsfaktorn alltid 1.

Om man vill att målsökarens upptäcktssannolikhet skall vara oberoende av avståndet till målet sätter man *Närgräns* till samma värde som *Maxgräns*. Se Figur 5.4.



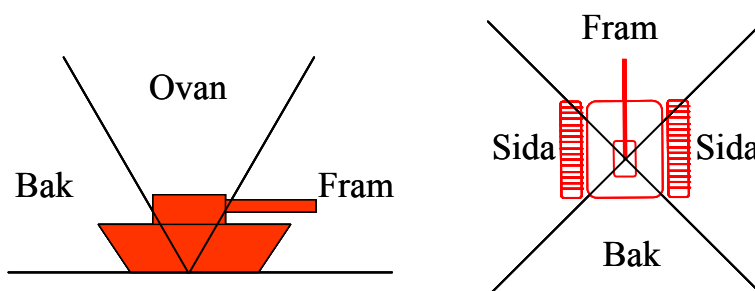


Figur 5.4 Avståndsberoende i målsökarmodellen. Parametrarna Maxgräns och Närgräns sätts individuellt för varje måltyp.

### Terrängfaktorer och betraktningssvinkel

Terrängen antas vara en viktig faktor för upptäcktssannolikheten. I nuläget skiljer målsökarmodellen på tre olika terrängtyper, *öppen terräng*, *betäckt terräng* och *väg genom betäckt terräng*.

Till terrängfaktorn kopplas också betraktningssvinkeln, som grovt indelas i *Från sidan*, *Fram- eller bakifrån* eller *Från ovan*.



Figur 5.5 Möjliga betraktningssvinklar för målsökaren, som påverkar upptäcktssannolikheten.

För varje måltyp anger man alltså 3x3 värden som beskriver terrängens inverkan på upptäcktssannolikheten. T.ex. för måltypen *Stridsvagn* används just nu parameteruppsättningen enligt Figur 5.3.

Upptäcktssannolikheten i betäckt terräng blir naturligt nog lägre än i öppen terräng. På väg genom betäckt terräng blir sannolikheten betydligt högre om målet betraktas fram- eller bakifrån eller från ovan än om det betraktas från sidan. Målet antas alltså vara orienterat i vägens riktning och skyddas därför från sidan av träd på ömse sidor om vägen.

Om betraktningssvinkeln är oväsentlig för en måltyp sätter man identiska värden på varje plats i raden. Vill man göra upptäcktssannolikheten helt oberoende av terrängtyp sätter man värdet "1" i varje matriselement.

### *Målets uppträdande*

Målens uppträdande antas också vara viktigt för målsökarens möjlighet att detektera och identifiera dem. I denna förenklade målsökarmodell tas hänsyn till om målet är grupperat (varvid vi antar att målet maskeras) och om man använder rökskydd. Modellen antar att dessa faktorer är oberoende av varandra, vilket de inte torde vara i verkligheten.

Vill man att upptäcktssannolikheten skall vara oberoende av om målet är rörligt eller stilla sätter man dessa parametrar till "1".

### *Observationstid*

Upptäcktssannolikheten antas växa med tiden som målsökaren har möjlighet att följa det aktuella målet. Tre parametrar används för att beskriva detta. *Min antal obs* talar om hur många gånger (sampler) som målet måste befinna sig inom sensorns område för att kunna upptäckas, och parametern *Slhfakt minobs* anger vilken sannolikhetsfaktor som då gäller. Den tredje parametern, *Antal obs maxslh*, anger efter hur många observationer som upptäcktssannolikheten nått sitt maximum, dvs. sannolikhetsfaktorn för observationstid blir "1". Däremellan antas att sannolikheten växer linjärt med tiden.

Vill man att en måltyp skall kunna upptäckas omedelbart (efter första observationen) sätts *Min antal obs* till 1. Sätter man *Min antal obs* och *Antal obs maxslh* till samma värde blir upptäcktssannolikheten oberoende av antalet observationer, efter den brytpunkt som anges av *Min antal obs*.

### *Total upptäcktssannolikhet*

Målsökarmodellen viktar samman ovanstående faktorer för att beräkna en total sannolikhet för målupptäckt. För enkelhetens skull antas oberoende sannolikheter, varvid den totala sannolikheten erhålls genom att multiplicera samman de enskilda faktorerna, dvs.

$$P_{\text{upptäckt}} = P_{\text{avstånd}} * P_{\text{terräng}} * P_{\text{uppträdande}} * P_{\text{obstid}}$$

Den sammanvägda upptäcktssannolikheten skall spegla sensorns möjlighet att *någon gång* upptäcka målet under den tid som det befinner sig i dess täckningsområde. Efter upptäckt förutsätts sensorn kunna följa målet tills det åter lämnar täckningsområdet. Sannolikheten för upptäckt ändras emellertid med tiden, t.ex. kan avståndet minska och därmed sannolikheten för upptäckt öka. En ny sannolikhetsberäkning behöver därför göras varje gång förutsättningarna ändras, tills målet är upptäckt eller tills målet har lämnat sensorns täckningsområde.

Varje beräkning måste dock ta hänsyn till föregående beräkning, annars skulle ett mål alltid upptäckas förr eller senare, bara observationstiden är tillräckligt lång. Sannolikheten för upptäckt under aktuellt sampel blir

$$P_{\text{delta}} = 1 - (1 - P_{\text{ny}})/(1 - P_{\text{tidigare}})$$

där  $P_{\text{tidigare}}$  är den största upptäcktssannolikheten under tidigare sampel och  $P_{\text{ny}}$  är upptäcktssannolikheten detta sampel.

## **5.2.3 Utdata från målsökaren**

Målsökaren levererar varje sampel information om vilka mål den för närvarande ser. För varje mål anges:

- Måltyp - Stridsvagn, Stridsfordon, LV, Artilleri, ...

- Måltillstånd - Marsch, Grupperat, ...
- Position och hastighet

Det finns alltså ingen ”gradskillnad” i informationen från denna förenklade målsökarmodell, dvs. antingen ser den inte målet eller är målet väl identifierat. En vidareutveckling skulle kunna vara att utdata också skiljer på upptäckt, klassificering och identifiering. Graden av tillförlitligheten i en observation skulle också kunna anges.

#### 5.2.4 Målsökarmodellens utnyttjande i ISIS idag

I de simuleringar som hittills har genomförts har utdata från målsökarmodellen utnyttjats av modellen för informationsfusion för att ge varje aktör i nätverket en samlad bild av fiendens enheter. Denna modell beskrivs i 5.7.2.

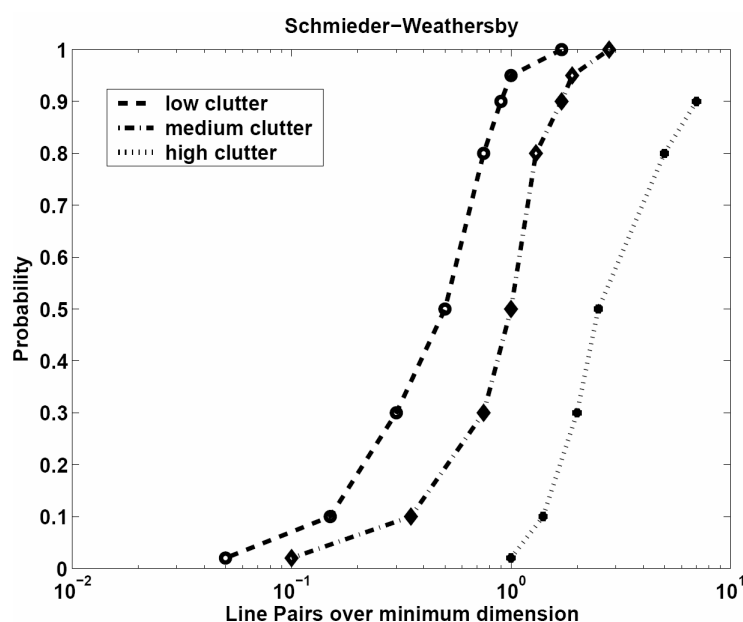
Målsökaren utnyttjas också direkt av robotmodellen då roboten har låst mot ett mål och attackerar detta.

Samma målsökarmodell, med identiska parameteruppsättning, har använts för såväl robotar som UAVer. Genom att ändra parameteruppsättningen är det emellertid enkelt att ge olika prestanda.

#### 5.2.5 Vidareutveckling av målsökarmodellen

Vid en vidareutveckling av en konceptuell målsökarmodell är det ett antal olika aspekter som behöver förbättras. Dessa aspekter är generella och gäller, i princip, för alla våglängdsområden (IR, Laser och RR). De kan delas upp i tre olika grupper beroende på ursprung:

- Fysikaliska aspekter på målsökarens konstruktion
- Algoritmer implementerade
- Motmedel som används av en motståndare



Figur 5.6 Upptäcktssannolikheten för olika klotternivåer som funktion av antalet linjer i målsökaren som täcker målet.

Den första aspekten kan tyckas självklar men kräver hög grad av insikt i den bakomliggande fysiken för att kunna förenkla modellen av målsökaren på ett sådant sätt att kvalitativa egenskaper inte går förlorade. Ett exempel på en enkel förbättring som kan genomföras är att ändra upptäcktssannolikheten så att den inte beror linjärt på avståndet till målet utan av en exponentialfunktion, se Figur 5.6.

Dessa förenklingar som kan göras för att få en bra konceptuell målsökare för IR-fallet finns beskrivna i [10]. Denna beskrivning tar dock inte hänsyn till utvecklingen mot framtida mera bildalstrande sensorer. Detta leder till den andra punkten, d.v.s. hur modelleringen beror på de algoritmer som är implementerade. I moderna bildalstrande/stirrande sensorer kommer valet av signal- och bildbehandlingsalgoritmer att kraftigt påverka upptäcktssannolikheten. Som ett exempel på detta kan nämnas det arbete som utförs vid Institutionen för IR-system, och som syftar till att öka sensorprestanda genom att undersöka en yta från olika vinklar. Detta medför att upptäcktssannolikheten kommer att bero på antalet samples som kan tas av ett mål, [11].

En avslutande och om möjligt den svåraste delen är effekten av aktiva och passiva motmedel på sensorprestanda. Passiva motmedel i form av rök och maskering är möjliga att ta med i en konceptuell beskrivning i form av en reducerad sannolikhet för upptäckt, medan aktiva i princip är omöjliga. Aktiva motmedel kommer inte att behandlas vidare här.

En målsättning under hösten 2005 är att, i fortsatt samarbete med projektet *Precisionsbekämpning i NBF*, implementera dessa idéer till en konceptuell målsökarmodell i ISIS. Idag utnyttjas en enklare målsökarmodell, som i och för sig bygger på en konceptuell modell, men vars parametrar ännu inte har trimmats in. Så länge de aktuella frågeställningarna som man avser att simulera, inte är beroende av precision i målsökarmodellen kan den dock anses som tillräcklig. Fokuseringen kommer dock i inledningen att vara mot att förbättra de fysikaliska egenskaperna och endast till viss del ta hänsyn till algoritmerna. Detta baseras sig på antagandet av att målsökarna i missiler kommer att vara av enklare typ än de som sitter i en UAV. Det är dock viktigt att grundläggande fysikaliska effekter som är gränssättande modelleras korrekt.

### 5.3 Målsimulering

Målen utgör kanske den viktigaste omvärldsfaktorn vid simulering av samverkande robotsystem. Såväl tekniska simuleringar på algoritm nivå som taktiska simuleringar av robottaktik kräver någon form av realistiskt måluppträdande att interagera emot. Ett antal måltyper är redan implementerade i ISIS.

- Stridsvagn
- Stridsfordon
- Artilleri
- Luftvärn

Inga av måltyperna kan i dagsläget skjuta, utan är bara att betrakta som mål. För att få till en duellsituation måste nya, mer avancerade måltyper inkluderas. Inom projektet har det emellertid ännu inte funnits något behov av att skapa dynamiska modeller av de enskilda måltyperna utan enkla ”punktmodeller” har visat sig tillräckligt för att beskriva målens rörelse. ISIS arkitektur medför dock inga begränsningar på hur avancerat ett mål kan modelleras.

### Målbananor

Till varje mål skapas en fördefinierad bana av ett godtyckligt antal nodpunkter, som den följer under simuleringen. Till varje nodpunkt knyts ett måluppträdande dvs. hur målet uppträder fram till den kommande nodpunkten. De måluppträdanden som är implementerade är:

- inaktiv – målet är inte aktiverat
- under marsch
- grupperat, maskerat
- lagt rökskydd
- utslaget
- osynligt

Här förekommer en viss brist på logik, ett mål som är grupperat föresätts stå still samt ett utslaget mål rör sig inte fram till nästa nodpunkt utan om ett mål har ”uppträdandet” utslagen står det still.

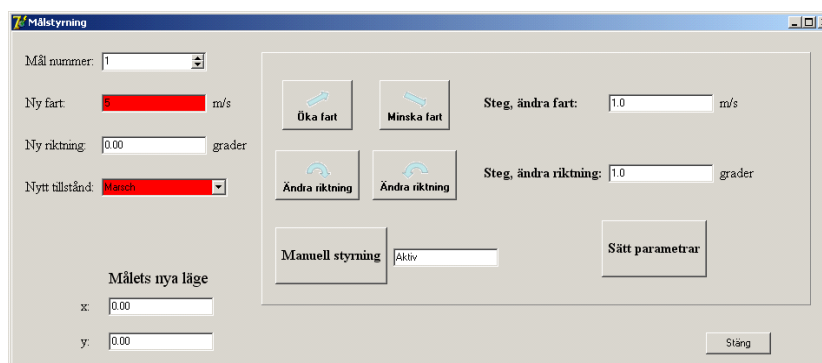
Det är i framtiden tänkt att, till varje mål, kunna knyta en väg istället för att behöva skapa en nodpunktbana.

### Målens interaktion med terrängmodellen

Ett mål kan antingen fråga terrängen vilken terrängtyp som omger målet eller också kan en nodpunkt i målens bana knytas till en mer specifik terrängbeskrivning. Detta kan utnyttjas som ett komplement till terrängmodellen för att göra en mer detaljerad modellering av hur målen interagerar med robotarnas målsökare. Det är då möjligt att på ett enkelt sätt beskriva terrängfaktorer som ”fronten skymd av björksly”, ”grupperad bakom stor sten”, ”på grusväg med tät skog på ömse sidor” osv., utan att därmed kräva en ytterst detaljerad terrängmodell. Det är sedan upp till målsökaren att hantera denna information.

### Manuell styrning av målen

Det går också att styra målen manuellt under simuleringen, vilket kanske är det enklaste sättet att ge målen ett ”intelligent” uppträdande, för att därmed kunna testa robotsystemets robusthet mot mål som anpassar sitt beteende efter händelser i omgivningen. Figur 5.7 visar det användargränssnitt som används för att manuellt ändra ett måls tillstånd, fart eller riktning.



Figur 5.7 Användargränssnitt för manuell målstyrning

Att manuellt styra de enskilda målen kräver dock en hel del arbete ifall den aktuella frågeställningen kräver Monte Carlo-simuleringar. Dessutom vill man då ofta återskapa ett "exakt" beteende hos målen, för att lättare hålla koll på vilka faktorer som påverkar resultatet. Det är därför önskvärt att kunna simulera ett intelligent beteende hos målen. Det expertsystem som implementerats är också tänkt att kunna användas för att styra målen. Kopplingen mellan mål och expertsystem är dock ännu inte implementerad.

### *Interaktion Terräng-Målsimulering-Målsökare*

Målen interaktion med målsökaren är kraftigt kopplad till terrängen. Målsökaren frågar målen i vilken omgivning de står och om målet genom aktuell nodpunkt är knutet till en specifik omgivning returneras det till målsökaren annars frågar målet i sin tur terrängen i vilken omgivning det står och returnerar detta till målsökaren. De nodanknutna terrängtyper som är implementerade är:

- öppen terräng
- skog
- väg genom skog, detta innebär att målsökaren möjlighet att upptäcka målet är större i vägens längdriktning, eg. målets kursriktning, än tvärs den samma, men det är upp till målsökaren att hantera.

## **5.4 Träffsimulering**

Den algoritm träffutvärdering som idag finns i ISIS är mycket rudimentär, den tar bara hänsyn till avståndet mellan robot och mål då roboten fås att briserad.

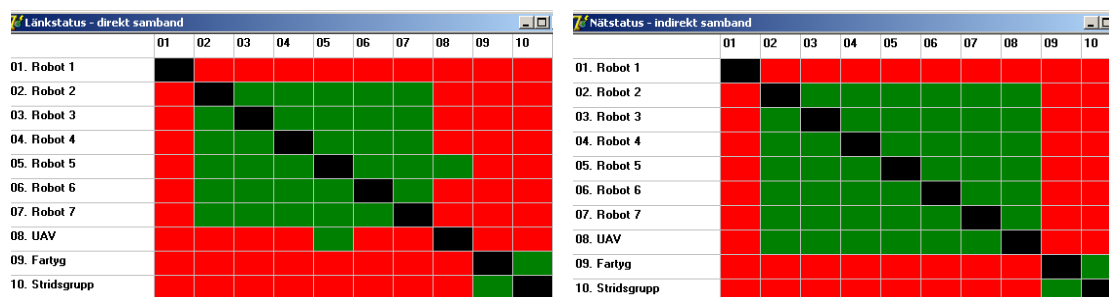
Ett mer komplext förfarande bör införas. Ett sådant bör ta hänsyn till hela skjutgeometrin mellan robot och mål samt även i vilken terrängtyp brisaden sker. Dessa parametra bör sparas för att eventuellt senare användas som inparametrar till en fristående verkansmodell.

All information om skjutgeometri och terrängtyp finns redan tillgängligt och att införa en mer komplicerad modell torde, från ISIS sida inte medföra några komplikationer.

## **5.5 Kommunikationslänkar**

I ett samverkande robotsystem är kommunikationslänkarna mellan de enskilda robotarna av central betydelse. För de frågeställningar som är intressanta för projektet antas att dessa länkar inte är "ideala", dvs. man måste ta hänsyn till att kommunikationsbortfall kan ske. Kommunikationsmodellen i simuleringspaketet måste därför kunna hantera störningar och begränsningar i kommunikation, av såväl tillgänglighet som bandbredd, för att dessa aspekter skall kunna simuleras.

Kommunikationsmodellen i ISIS tar också hänsyn till att information kan länkas mellan flera aktörer för att på så sätt spridas i nätverket. Den beräknar därför vid varje sampel dels vilka aktörer som har direkt samband med varandra och dels vilka som, direkt eller indirekt, har möjlighet till informationsutbyte.



Figur 5.8 Direkt respektive indirekt informationsutbyte.

Principen för kommunikationsmodellen är att den inte ”skyfflar” data mellan aktörerna. Den beräknar endast tidpunkten när aktörerna hade kontakt med varandra, och vilken bandbredd de då hade möjlighet att kommunicera med. En modul som sedan behöver utnyttja data från en annan aktör läser sedan i kommunikationsdatabasen när den senast hade kontakt, och om bandbredden är tillräcklig hämtar den sedan data ur den aktuella aktörens databas. På så sätt behöver inte kommunikationsmodellen känna till exakt vilka dataflöden som behövs vid simuleringen, något som med säkerhet ändrar sig mellan olika simuleringar och dessutom kan variera under en och samma simulering.

### 5.5.1 Ideala nätverkslänkar

ISIS innehåller idag två fullt implementerade länktyper, som snarare skall betraktas som ”konceptuella länkprinciper” än modeller av fysiska länkar. Den första benämner vi ”ideal nätverkslänk”, som har den egenskapen att samtliga aktörer med aktiv och fungerande länk har möjlighet till informationsutbyte med varandra utan tidsfördröjning och med ”oändlig” bandbredd. Länktypen kan i viss mening jämföras med ”fiberoptisk tråd”, och betecknas därför som ”Tråd” där den förekommer i ISIS-menyer.

Den ideala nätverkslänken används för att simulera access till ett utbyggt nätverksförsvar (NBF), när eventuella fördröjningar är utan betydelse för den aktuella problemställningen.

### 5.5.2 Laserkommunikationslänkar

I de simuleringar som hittills genomförts har ”laserkommunikationslänkar” utnyttjats för informationsutbyte mellan enskilda robotar och mellan robotar och UAVer. Denna länktyp ger också informationsutbyte utan tidsfördröjning med ”godtycklig” bandbredd, men däremot är räckvidden begränsad, och modellen kräver också ”fri sikt”, dvs. eventuella terränghinder bryter länken även om aktörerna är inom den modellerade räckvidden.

I nuläget begränsas räckvidden av ett fast avstånd, en parameter som kan sättas individuellt för varje aktör. Inom denna gräns råder ”perfekt” kommunikation (förutsatt fri sikt) och bortom gränsen är kommunikationen bruten. En vidareutveckling där sannolikheten för kommunikation varierar mellan två gränsvärden är enkel att göra och kommer att implementeras inom kort.

### 5.5.3 Radiokommunikationslänkar

En tredje länkprincip, som vi benämner ”radiokommunikationslänk” kommer också att implementeras under detta år. De två andra länkprinciperna medför alltid duplex-kommunikation när kontakt mellan två aktörer har etablerats. En radiolänk kan emellertid också medföra simplexkommunikation, dvs. en aktör kan ta emot data från en sändande aktör,

men har kanske inte möjlighet att i sin tur sända data tillbaka. Dessutom kommer radiolänken att innehålla en modell för bandbreddsbegränsning.

Bandbreddsbegränsningar kan simuleras genom att man vid varje samplingstillfälle anger i kommunikationsdatabasen hur mycket data (antal byte) som kan överföras från en aktör till en annan. En aktör som sedan vill utnyttja länken kontrollerar först om (och när) tillräcklig bandbredd finns tillgänglig. När sedan data hämtas räknas tillgänglig bandbredd ned i kommunikationsdatabasen.

Modellen för radiokommunikationslänkar bör naturligtvis också innehålla räckviddsbegränsningar, med sannolikhetsfunktioner som antagligen påverkas av ett antal olika faktorer, och som ger en variabel bandbredd beroende på avstånd, terräng, väder m.m.

### 5.5.4 Tidsfördröjning i kommunikationslänkar

Länkmodellerna innehåller idag ingen tidsfördröjning, men en sådan vidareutveckling är relativt lätt att implementera. Man måste dock tänka på att addera tidsfördröjningar när information behöver reläas mellan flera aktörer. Den resulterande tidsfördröjningen subtraheras sedan från kommunikationstidpunkten när en aktör skall läsa data från en annan aktör.

### 5.5.5 Störning av kommunikationslänkar

Idag finns ingen modell för aktiv störning av kommunikationslänkarna. Detta är dock av intresse när robustheten hos ett samverkande system skall simuleras, dvs. hur väl det hanterar olika former av kommunikationsbortfall. Störningsmodeller är antagligen mest intressant för radiokommunikationslänkar, men även störning av laserlänkar och ideala länkar kan komma ifråga.

Väderfaktorerers inverkan på kommunikationslänkar kan också vara av intresse att modellera. Implementeringsmässigt torde sådana modeller vara mycket snarlika modeller för aktiv störning.

### 5.5.6 Manuell störning



| Visa | Aktör       | Tråd | Laser | RF |
|------|-------------|------|-------|----|
|      | Robot 1     |      |       |    |
|      | Robot 2     |      |       |    |
|      | Robot 3     |      |       |    |
|      | Robot 4     |      |       |    |
|      | Robot 5     |      |       |    |
|      | Robot 6     |      |       |    |
|      | Robot 7     |      |       |    |
|      | UAV         |      |       |    |
|      | Fartyg      |      |       |    |
|      | Stridsgrupp |      |       |    |

Figur 5.9 Kommunikationslänkmeny från vilken störning av sambandet kan simuleras.



Det finns idag en möjlighet att simulera länkstörningar vid interaktiva simuleringar. I en länkkontrollmeny kan man manuellt påverka vilka aktörer som vid varje tillfälle har möjlighet till informationsutbyte.

Genom att blockera länken för en operatör kan man alltså simulera ett kommunikationsbortfall och därmed studera hur de autonoma algoritmerna för aktörerna påverkas av detta.

## 5.6 Robotdynamik

Robotens rörelsemodell är en 3-DOF-modell (degrees of freedom), ibland även kallad kinematisk modell. En 3-DOF modell beskriver inte en flygfarkosts inre dynamik, utan ett kommenderat accelerationsbörvärde fås momentant om det fysiskt går att uppfylla. Ett annat sätt att se på saken är att flygfarkosten har en ”perfekt” styrautomat. Den stora fördelen med att använda en 3-DOF modell är att den är betydligt enklare matematiskt och därför går att exekvera betydligt snabbare än en 6-DOF modell. Man behöver inte heller lägga tid på att ta fram en styrautomat då denna redan är ”perfekt”, ett arbete som annars kan vara betydande.

I detta projekt är det även en stor fördel med att kommenderad acceleration och verklig acceleration sammanfaller. Det medför att dess flygbana är betydligt enklare att prediktera. Det går därför snabbt att prediktera ett stort antal banor för flera olika robotar för att sedan kunna beräkna vilken bana en enskilda robotarna ska ta för att det sammanslagna resultatet av en insats skall bli optimalt.

Modellens egenskaper bestäms av en parameterfil. I denna fil anges för närvarande robotens:

- Tomvikt
- Max och min hastighet
- Största tillåtna stig- och dykvinkel
- Max normalacceleration, ett mått på svängprestanda
- Bränslemängd
- Motordata
- Aerodynamiska egenskaper

Avsikten har varit att det på ett enkelt sätt ska vara möjligt att beskriva olika farkoster med trovärdiga egenskaper.

### 5.6.1 Matematisk beskrivning av en 3-DOF modell

En 3-DOF-modell innehåller tre oberoende kraftekvationer. För en flygfarkost underlättas dock beskrivningen med att man inför ett antal hjälpekvationer.

Flygfarkostens tillståndsekvationer är:

$$\dot{V}_w = \frac{F_{Thrust} \cdot \cos(\alpha_{Tot}) - D}{m}$$

$$\dot{q}_w = \frac{a_z}{V_w}$$

$$\dot{r}_w = -\frac{a_y}{V_w}$$

Insignalerna är drivkraft,  $F_{Thrust}$ , kommenderad acceleration i sidled  $a_y$  och kommenderad acceleration i lodled,  $a_z$ . I övrigt är:

|       |                                                                  |
|-------|------------------------------------------------------------------|
| $V_W$ | Hastighet i vindrefererat koordinatsystem                        |
| $q_W$ | Rotation kring y-axelns riktning i vindrefererat koordinatsystem |
| $r_W$ | Rotation kring z-axelns riktning i vindrefererat koordinatsystem |
| $D$   | Momentan motståndskraft i vindrefererat koordinatsystem          |

Den totala anfallsvinkeln,  $\alpha_{Tot}$ , som ingår i den första tillståndsekvationen fås ur:

$$\alpha_{Tot} = \frac{m}{q_{dyn} \cdot S_{ref} \cdot CL_\alpha} \sqrt{(a_z + g)^2 + a_y^2}$$

Där:

|                                                   |                                                                      |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| $CL_\alpha = \frac{\partial CL}{\partial \alpha}$ | Lyftkraftkoefficient deriverat med anfallsvinkel. Beräknas ur tabell |
| $q_{dyn}$                                         | Dynamiskt tryck                                                      |
| $S_{ref}$                                         | Referensyta, för robotar ofta robotkroppens tvärsnittsytta.          |
| $m$                                               | Momentan massa                                                       |
| $g$                                               | Gravitation                                                          |

Tillståndsekvationerna är givna i vindrefererat koordinatsystem, dessa transformeras till jordfastkoordinatsystem enligt:

$$\begin{aligned}\dot{\gamma} &= q_W \\ \dot{\chi} &= q_W + \frac{1}{\cos(\gamma)} \cdot r_W \\ \dot{u}_E &= \cos(\gamma) \cdot \cos(\chi) \cdot V_W \\ \dot{v}_E &= \cos(\gamma) \cdot \sin(\chi) \cdot V_W \\ \dot{w}_E &= -\sin(\gamma) \cdot V_W\end{aligned}$$

Där:

|          |                                                                    |
|----------|--------------------------------------------------------------------|
| $u_E$    | Hastighetskomponent i x-axelns riktning i jordfast koordinatsystem |
| $v_E$    | Hastighetskomponent i y-axelns riktning i jordfast koordinatsystem |
| $w_E$    | Hastighetskomponent i z-axelns riktning i jordfast koordinatsystem |
| $\gamma$ | Stigvinkel (banvinkel)                                             |
| $\chi$   | Kursvinkel                                                         |

Därefter återstår bara en sista integration till jordfast koordinatsystem enligt:

$$\begin{aligned}\dot{x}_E &= u_E \\ \dot{y}_E &= v_E \\ \dot{z}_E &= w_E\end{aligned}$$

Där:

|       |                                         |
|-------|-----------------------------------------|
| $x_E$ | x- koordinat i jordfast koordinatsystem |
| $y_E$ | y- koordinat i jordfast koordinatsystem |
| $z_E$ | z- koordinat i jordfast koordinatsystem |

Vid beräkning av farkostens lyftkraft,  $L$ , går man lite bakfram tillväga. Först beräknas kommenderad acceleration från den styrlag som för tillfället är aktiv. Därefter beräknas vilken

lyftkraft som behövs för att generera denna önskade normalaccelerationen. Den beräknade lyftkraften jämförs med maximal tillåten lyftkraft,  $q_{dyn} \cdot S_{ref} \cdot CL_{Max}$ , och om lyftkraften är mindre än den maximala är allt gott och väl annars reduceras lyftkraften ner till det maximala värdet.

Den anfallsvinkel,  $\alpha_{Tot}$ , som krävs för att generera önskad lyftkraft fås enligt ovan och används sedan för att beräkna farkostens luftmotstånd,  $D$ , enligt:

$$D = q_{dyn} \cdot S_{ref} (CD_0 + CL_{\alpha} \cdot \alpha_{Tot}^2)$$

$$q_{dyn} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_W^2$$

Där:

- $CD_0$  Nollmotståndskoefficient. Beräknas ur tabell som funktion av machtal. Tabellvärdena ges som indata.
- $CL_{Max}$  Lyftkraftkoefficientens maximala värde. Beräknas ur tabell som funktion av machtal. Tabellvärdena ges som indata.

Till den aerodynamiska modellen används ICAO-standardatmosfär. Den är implementerad som hårdkodade tabeller.

De variabler som fås ur dessa tabeller är:

- $a$  Ljudhastighet som funktion av höjd
- $\rho$  Luftens densitet som funktion av höjd

Framdrivning sker med hjälp av en idealiserad turbofläktmotor. Motorn fungerar så att dragkraften är satt att balansera motståndet inom robotens tillåtna hastighetsområde dock filtrerat för att efterlikna en verklig motors eftersläpning i dragkraftuppgagnad.

Utifrån nivån på dragkraften beräknas bränsleförbrukningen.

Om så önskas kan roboten, via parameterfilen, förses med en krutraketbooster för att ge roboten en önskad initialhastighet.

## 5.6.2 Information till Styrsystemet

För att styrsystemet skall kunna beräkna vilken robot som är mest lämpad att slå ett visst mål måste det kunna fråga en robot hur lång flygsträcka och flygtid den behöver för att nå fram till en given punkt, en sträcka som väsentligt kan skilja sig från avståndet mellan roboten och punkten. Roboten är därför utrustad med en funktion för att returnera sträcka och tid till en angiven punkt. Roboten kan även kommenderas att följa en sådan ”kortaste vägen” bana.

För formationsflygning och anfall mot en punkt ifrån en bestämd riktning är det även möjligt att fråga en robot hur lång flygsträcka och flygtid den behöver för att nå en sådan given punkt samt att kommendera roboten att flyga längs en sådan s.k. Dubin<sup>2</sup> bana.

## 5.6.3 Lågnivåstyrning

Robotmodulen tillhandahåller ett antal funktioner för lågnivåstyrning för att öka abstraktionsgraden hos styrsystemet. De lågnivåstyrmoder som för närvarande är implementerade är:

---

<sup>2</sup> Efter ”Dubins problem”

- *Höjd- och kursvinkelstyrning.* I denna styrmod anges en kurs och en höjd. Roboten ändrar då kurs och höjd så snabbt som möjligt, utan att överskrida maximala prestanda, till de angivna värdena.
- *Dyk- och kursvinkelstyrning.* Samma som ovan förutom att i stället för att inta en given höjd svänger roboten in till en given stig/sjunkvinkel.
- *X och Y punktstyrning.* Även denna styrmod påminner om styrRiktnHojd men istället för att ange en kurs ges en punkt i horisontalplanet som roboten styr mot. Om roboten passerar punkten fortsätter den kurs som den hade när den nådde punkten.
- *X, Y och Z punktstyrning.* Samma som ovan men istället för att hålla en given höjd så styr roboten mot en punkt i rymden. Då punkten uppnåtts fortsätter roboten med konstant kurs och stig/sjunkvinkel.
- *Attack styrning.* Denna styrmod används när målsökaren har låst på ett mål. Roboten styr då mot målet med hjälp av syftbäringsstyrning.
- *Kortaste väg styrning.* Roboten styr efter en ”kortaste vägen” bana enligt ovan.
- *Dubin styrning.* Roboten styr efter en Dubin bana enligt ovan.

## 5.7 Modeller för högnivåstyrning av robotar och andra aktörer

De för projektet centrala delarna av simuleringspaketet utgörs av modeller för robotarnas styrsystem. Här kommer också den största delen av vidareutvecklingen att ske under nästa år. Det finns idag några grundläggande delar som är implementerade, med syfte att komplettera den modell för optimalt målval, som för närvarande är fokus för simuleringarna.

### 5.7.1 Banföljning

Banföljningsstyrning ger en möjlighet att låta aktörerna förflytta sig i terrängen på ett okomplicerat sätt.

En bana är uppbyggd av ett godtyckligt antal nodpunkter. En nodpunkt är en punkt i kartans plan mot vilken aktören rör sig.

Till varje nodpunkt kopplas en aktion. Denna aktion anger hur roboten skall uppträda på vägen fram till denna nodpunkt. För närvarande är följande moment implementerade:

- En höjd med vilken aktören skall flyga mot nodpunkten med, förutsatt att aktören kan flyga annars ignoreras detta värde. Aktören flyger så att den tar sig till angiven höjd så snabbt som möjligt, utan att för den skull överskrida eventuella gränsvärden för stig- och dykvinkel, därefter håller den höjden på den fortsatta vägen fram till nodpunkten.
- Tolerans före nod, som anger när aktören skall anses vara framme vid nodpunkten och övergå till att röra sig mot nästa punkt.
- En hastighet med vilken aktören skall hålla på vägen fram till nodpunkten. Om hastigheten är satt till noll kommer aktören inte att föra sig mot nästa nodpunkt, denna nodpunkts koordinater är alltså irrelevanta. I stället anges då en tid under vilken aktören väntar, därefter påbörjas förflyttning mot nästföljande nodpunkt.
- Om målsökaren, som default, skall vara påslagen eller inte.

Banföljningsstyrning är det mest grundläggande sättet att få aktörer att röra sig i terrängen och byggd för att vara mycket flexibel och utbyggbar.

### 5.7.2 Informationsfusion

Algoritmen för informationsfusion kan utnyttjas för samtliga aktörer i ISIS. Den utnyttjar kommunikationsmodellen för att erhålla sensorinformation från de aktörer i nätverket som kan nås och fusionerar informationen till en sammanslagen lägesbild, som sedan kan utnyttjas för återkoppling till andra styralgoritmer. I nuläget är det endast information från målsökarmodellen, se 5.2, som utnyttjas, men en vidareutveckling skulle kunna hantera flera olika typer av informationskällor. En svårighet vid informationsfusionen är att matcha två eller flera observationer vid olika tidpunkter och eventuellt från olika aktörer för att avgöra om det är samma eller olika mål som har observerats.

Hittills har projektet inte lagt ned några resurser för att ta fram en sofistikerad algoritm för informationsfusion, utan en ”trivial” matchning av målobservationer görs. Algoritmen tar dock hänsyn till målets predikterade rörelse mellan två observationstillfällen för att avgöra sannolikheten att det rör sig om samma mål.

### 5.7.3 Målvalsalgoritm

Målval för robotar, eller i detta sammanhang bättre uttryckt som *Optimerad fördelning av attack- och spaningsuppdrag mellan samverkande robotar* är en komplex frågeställning, då det dels finns många olika parametrar som påverkar resultatet, men även för att det finns en rad olika sätt att värdera effekterna av robotgruppens agerande. Också valet av tidpunkt för att inleda inflygningen mot ett mål har betydelse, då en robot i många sammanhang fungerar som en spaningsresurs, medan det i vissa lägen kan vara viktigare att slå direkt mot ett nyupptäckt mål.

Syftet med detta arbete har inte varit att ta hänsyn till alla tänkbara faktorer, utan snarare att finna en enkel men robust metodik för fördelningen; Utan mekanismer för att distribuera uppgifter mellan robotindividerna går det inte att med simulering studera nyttan med ett samverkande robotsystem.

För att kunna jämföra två handlingsalternativ med varandra, och i förlängningen tala om en optimal fördelning av uppgifter, måste varje handlingsalternativ tillskrivas ett numeriskt värde, ett mått på nyttan. Vi introducerar därför följande begrepp:

- Nyttan av att robotindividen fortsätter spana

Den förväntade nyttan med att låta robotindividen fortsätta sitt spaningsuppdrag. Detta värde påverkas av missilens återstående flygtid, hur stor andel av målområdet som fortfarande inte är genomsocht av gruppen, samt hur många mål som redan hittats i förhållande till de som förväntas finnas där, relaterat till möjligheten att bekämpa dem. I detalj låter vi

$$c_{ij} = p_m \cdot g(\min(A_s, A_i)),$$

där  $c_{ij}$  är nyttan av att låta robotindividen  $i$  lösa uppgift  $j$ , i detta fall spaning.  $p_m$  är den ideala målpoängen, den snittpoäng som skulle ges av att alla återstående robotar slår ut lika många av de högst prioriterade målen.  $A_s$  är den spaningsarea som återstår att täcka och  $A_i$  är den area som återstående bränslemängd, för robot  $i$ , medger täckning av.  $g$  är slutligen en växande funktion som fångar det faktum att ju mindre spaningsyta man har kvar, desto mindre troligt är det att man uppnår den ideala målpoängen.

- Nyttan av att robotindividen slår mot ett visst mål

Låter oss beskriva nyttan med att en robotindivid slår mot ett specifikt mål. Detta värde påverkas av vad det är för slags mål, och hur troligt det är att målet finns kvar på den plats där det senast observerades. I detalj låter vi

$$c_{ij} = p_j \cdot f(T_o + T_{ij}),$$

där  $c_{ij}$  är nyttan av att låta robotindivid  $i$  lösa uppgift  $j$ , i detta fall slå mot mål  $j$ .  $p_j$  är poängen för mål  $j$ .  $T_o$  är tiden sedan målet senast observerades och  $T_{ij}$  är beräknad flygtid från robot  $i$  till målet  $j$ .  $f$  är en avtagande funktion som fångar hur snabbt målet kan förväntas röra sig bort från platsen. För ett lätttrörligt lättadolt mål avtar den förväntade nyttan av ett anfall snabbt med tiden från upptäckt till bekämpning.

Då vi vill optimera beteendet för robotarna som grupp, räcker det inte att låta varje robotindivid fatta beslut baserade på vad den själv kan åstadkomma; Vi vill maximera den sammanvägda nyttan av de olika individernas agerande. Denna optimering är inte statisk, då robotarna förflyttar sig med hög hastighet tillkommer ny information hela tiden, och planen behöver uppdateras ofta. Problemet är av sådan art att det lämpar sig väl att lösas med linjärprogrammering (LP), som också medger att optimeringen kan uppdateras fortlöpande även för större grupper av robotar.

I detalj ser optimeringsproblemet ut så här:

$$\begin{aligned} \min \sum_{ij} c_{ij} x_{ij} \\ \text{då} \sum_{ij} x_{ij} &\leq 1 \\ \text{och} \sum_i x_{ij} &= 1 \\ x_{ij} &\in \{0,1\} \end{aligned}$$

där  $x_{ij}$  är 1 om uppgift  $j$  utförs av robot  $i$  och 0 annars. Rad två och tre visar att en uppgift max kan tilldelas en utförare och att en robot bara kan ha en uppgift. Se även Figur 5.10 nedan.

Beslutsfattande för en grupp av individer kan göras på en rad olika sätt:

- Centralt, en av individerna fattar beslut och vidarebefordrar detta till resten av gruppen. Modellmässigt är detta mycket enkelt att implementera, men kräver att det finns ett robust sätt för gruppen att avgöra vilken av individerna som ska fatta beslutet. Dessutom behövs mekanismer för att utse en ny beslutsfattare, då ledarroboten kan förbrukas.
- Distribuerat, gruppen fattar beslut genom att kommunicera med varandra, exempelvis genom röstning eller med transaktioner.
- Visserligen finns färdiga algoritmer för detta ändamål, men beroende på vilka krav på kausalitet som ställs kan de lätt bli kommunikationsintensiva, och även komplexa.
- Individuellt, varje individ fattar beslut baserade på den information som finns tillgänglig.

Eftersom robotindividerna är identiska kopior av varandra kan vi implementera den sista varianten, och i idealfallet få samma prestanda som en centraliserad algoritm. Vi

låter varje robot planera för hela gruppen och sedan utföra sin del. I idealfallet har alla samma information och kommer till samma resultat. I fallet där olika delgrupper är avskurna från varandra kommer lokalt optimala beslut tas och prestanda bli något lägre.

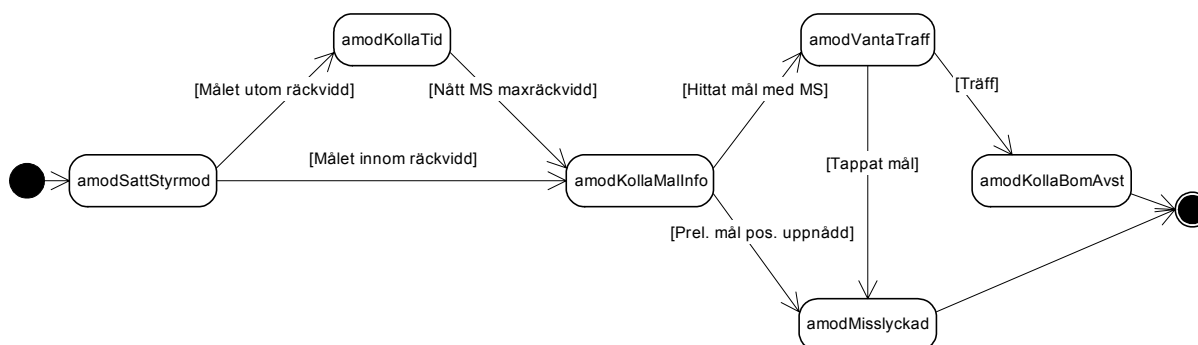
|                |              |      |      |      |      |      |      |   |   |
|----------------|--------------|------|------|------|------|------|------|---|---|
| Målval rb 4    |              | 0.03 | 0.22 | 0.14 | 0.22 | 0.14 | 0.22 | = | 1 |
| Nr of columns  | 6            | 0.01 | 0.21 | 0.07 | 0.21 | 0.06 | 0.21 | = | 1 |
| Nr of rows     | 6            | 0.02 | 0.22 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | = | 1 |
| Direction      | LPX_MAX      | 0.03 | 0.21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | = | 1 |
| Total cost     | 0.9719697237 | 0.02 | 0.21 | 0.13 | 0.21 | 0.13 | 0.21 | = | 1 |
| CPU time (ms)  | 1.00         | 0.03 | 0.20 | 0.17 | 0.20 | 0.16 | 0.20 | = | 1 |
| Problem status | LPX_OPT      |      |      |      |      |      |      |   |   |
| Exit code      | LPX_E_OK     |      |      |      |      |      |      |   |   |

Figur 5.10 Presentationsgränssnitt för målvalet. Raderna i matrisen representerar robotar (resurser), jämna kolumner (0,2,4,...) representerar sensorobservationer, och udda kolumner (1,3,5,...) representerar spaningsuppdrag. Den med grönt markerade rutan i översta raden indikerar således att den roboten blivit tilldelad uppgiften att fortsätta spana, och den med rött markerade rutan på näst nedersta raden visar att den roboten blivit tilldelad mål nr 3. Den fristående raden och kolumnen med ettor anger bivillkoren för LP-lösaren, att varje robot ska tilldelas precis ett uppdrag, samt att till varje uppdrag skall som mest en robot allokeras.

#### 5.7.4 Attack

Attackmodellen tar över styrningen av roboten när den beordras att anfalla ett mål. Den ansvarar för att prediktera målposition, hantering av målsökaren, val av anflygningsbana och sökförfarande fram till träff eller tills det anfallet har misslyckats. Denna modell triggas av målvalsalgoritmen efter det att ett mål pekats ut.

Attackmodellen är modellerad som ett objekt och är uppbyggd som en tillståndsmaskin, se Figur 5.11. Objektet har en startmetod som försätter det i stand by-läge.



Figur 5.11 Tillståndsmaskinen Attack

De olika tillståndens namn börjar med `amod`, en förkortning av `attackmod`. De olika tillstånden är:

- `amodSattStyrmod`
- `amodKollaTid`
- `amodKollaMalinf`
- `amodVantaTraff`
- `amodKollaBomAvst`
- `amodMisslyckad`

Målvalsalgoritmen triggar attackmodellen genom att anropa dess körmetod. Attackmodellen hamnar då i tillståndet `amodSattStyrmod`. I detta tillstånd predikteras ett målläge utifrån uppgifter om hur lång tid det gått sedan målet sist detekterades och hur lång tid det beräknas ta för roboten att nå denna position. Attackmodellen kommenderar roboten att anflyga mot denna punkt på en höjd som är beroende på osäkerheten i målläget. Därefter beräknas de gränsvärden som sedan ligger tillgrund för fortsatta tillståndsövergångar.

Om avståndet till mål är tillräckligt litet för att målsökaren skall öppna, övergår attackmodellen över till tillståndet `amodKollaMalinf` annars går den över till tillståndet `amodKollaTid`.

I tillståndet `amodKollaTid` väntar attackmodellen på att roboten skall komma tillräckligt nära det predikterade målläget för att målet skall kunna detekteras med den egna målsökaren. Därefter övergår den till tillståndet `amodKollaMalinf`.

I tillståndet `amodKollaMalinf` startas målsökaren och alla måldetektioner jämförs med det utpekade målet. Då målet hittats övergår attackmodellen till tillståndet `amodVantaTraff`.

Om roboten kommer fram till det predikterade målläget utan att målet detekterats med den egna målsökaren övergår attackmodellen till tillståndet `amodMisslyckad`.

I tillståndet `amodVantaTraff` övergår roboten att anflyga mot målet med syftbäringsstyrning tills målpassage inträffar, då övergår attackmodellen till tillståndet `amodKollaBomAvst`.

Om målsökaren tappar målet under en fördefinierad tid övergår attackmodellen till tillståndet `amodMisslyckad`.

I tillståndet `amodKollaBomAvst` beräknas tidpunkten för minsta passageavstånd mellan robot och mål, en tidpunkt som kan ligga mellan två sampel. Det är nödvändigt då avståndet mellan robot och mål vid jämna tidssampel kan ge felaktig information till träffutvärderingen. Efter detta tillstånd avslutas attackmodellen.

I tillståndet `amodMisslyckad` rapporterar attackmodellen tillbaka till målvalsalgoritmen att den inte kunde slå mot målet och sätter roboten till att återgå till det tidigare uppdraget eller ett default-uppträdande. Därefter försätts attackmodellen åter i stand by-läge.

Denna modell triggas av målvalsalgoritmen och låter roboten genomföra en attack mot utvalt mål. Modellalgoritmen beräknar en lämplig anflygningsbana mot målet, bestämmer var roboten skall öppna sin målsökare för att mäta in målet för slutfasstyrning och val av träffpunkt, och utnyttjar sedan banföljningsmodellen för att genomföra anflygningen.



När det utpekade målet har observerats och identifierats sätts robotens styrmod till attackmod, och roboten utnyttjar syftbärningsstyrning för att slå mot målet.

Om målet inte observeras inom angivet målområde rapporteras ”attack misslyckad”, och målvalsalgoritmen kan ta kommandot över robotstyrningen igen.

### 5.7.5 Formationsflygning

En styrmodell som ännu är under utveckling hanterar robotens beteende gentemot övriga robotar under anflygnings- och målsökarfasen. I nuläget är denna rutin tämligen trivial, den tilldelar roboten en förprogrammerad bana och kontrollerar sedan när roboten anländer målområdet, då den aktiverar målvalsmodulen.

Formationsflygningen kommer dock att vidareutvecklas så att robotarna kan anta olika formationer under anflygning och målsökning. Olika formationsstrategier kan då jämföras med varandra under simuleringen, för att se hur dessa påverkar uppdraget.

Algoritmen skall också underlätta scenariodefinitionen, dvs. en operatör skall inte behöva peka ut exakta banor för varje enskild robot, utan med en grov skiss av anflygningsväg och målområde för hela robotsystemet, skall de individuella robotbanorna kunna beräknas.

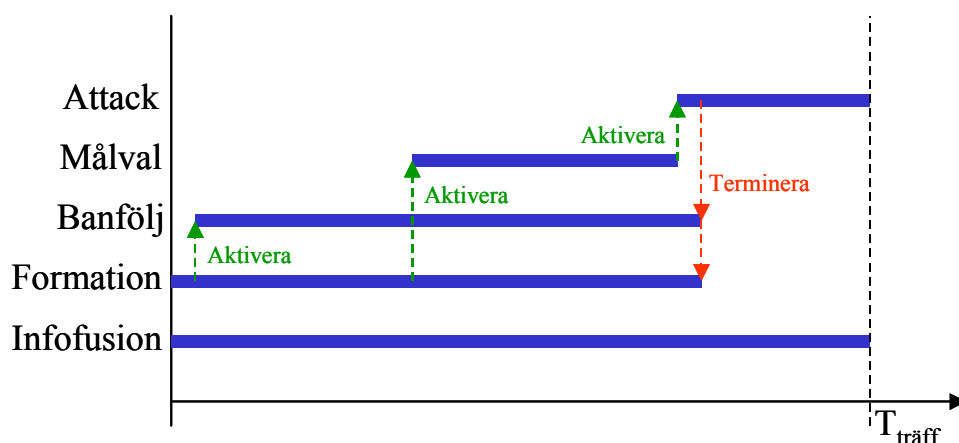
### 5.7.6 Interaktion mellan styrmodeller

En styrmodell för högnivåstyrning av aktörer kan operera som en självständig modul, som på egen hand sköter om robotens beteende under sin aktiva fas, utan att kontrollera status hos övriga styrmoder, eller utnyttja data som beräknas av dessa. Banföljningsalgoritmen fungerar t.ex. på detta sätt.

Det kan också vara så att en styrmodell är beroende av resultatet från andra modeller för att kunna beräkna sina styrkommandon. Ett exempel på detta är attackmodulen, som från målvalsalgoritmen får ett utpekad mål och sedan med hjälp av informationsfusionsmodulen letar upp detsamma så att robotens egen målsökare kan låsa på det.

En ”självständig” modul kan emellertid aktiveras eller blockeras av andra styrmoduler. Till exempel inleder attackmodulen sitt uppdrag med att blockera banföljningsmodulen och sedan själv sköta om anflygningen och slutfasstyrningen mot målet.

I de simuleringar som för närvarande har genomförts i projektet ser kopplingen mellan styrmodellerna ut på följande sätt:



Figur 5.12 Interaktion mellan styrmoduler hos en robot, från avfyrning till målträff.

Formationsflygnings- och informationsfusionsmodulen initieras när roboten avfyras. Den förstnämnda ser i sin tur till att banföljningen aktiveras med en förprogrammerad bana. När roboten anländer till målområdet aktiverar formationsflygningsmodulen målvalsmodulen, som i samverkan med övriga robotar väljer ut och fördelar mål på de enskilda robotarna.

Målvalsmodulen avgör när det är dags att attackera ett utvalt mål, och aktiverar då attackmodulen. Denna ser till att blockera banföljning och formationsflygning, och attackerar sedan det utvalda målet.

I nuläget hanterar inte attackmodulen ett misslyckat försök (t.ex. det utvalda målet kan inte lokaliseras), men i en vidareutveckling skulle modulen kunna återge kommandot till målvals- och formationsflygningsmodulerna för att i ett senare läge kunna få ett nytt mål tilldelat.

## 6 UTVECKLA NYA MODULER I ISIS

Kapitel 4 och 5 har försökt ge en bild av ISIS programstruktur och de funktioner som är implementerade idag. En viktig egenskap hos ISIS är emellertid att det skall vara ”enkelt” att utveckla nya funktioner efterhand som behoven uppstår. Detta kapitel ger en kort översikt om vilka möjligheter till nyutveckling som finns.

För att utveckla nya funktioner i ISIS krävs programmeringskompetens och god kännedom om programstrukturen. En dokumentation av programpaketet ISIS, med syfte att stödja framtida modellutveckling, håller på att tas fram och kommer att publiceras under hösten 2005.

### 6.1 Programmering av nya moduler

ISIS har utvecklats med hjälp av Delphi, ett fönsterbaserat utvecklingsverktyg som utnyttjar programmeringsspråket Object Pascal. Det är därför naturligt att nya moduler också utvecklas i denna miljö för att underlätta integreringen till övriga programdelar. Delphi tillåter dock att moduler utvecklade i t.ex. C eller C++ länkas in i koden, men man måste ändå lösa vissa gränssnittsproblem.

#### 6.1.1 Olika typer av moduler

Det finns några olika typer av moduler som kan bli föremål för utveckling i ISIS. De listas nedan med några kommentarer om vad som är viktigt att tänka på vid implementering.

##### *Egen nätverksaktör*

”Nätverksaktör” är beteckningen på blåa aktörer i simuleringen. Gemensamt för dessa är deras möjligheter att kommunicera med varandra, ett stöd som är generellt implementerat i ISIS. Den innehåller också definitioner för hur aktören hanteras av simuleringsmotorn, dvs. hur olika delar av de ingående modellerna skall exekveras.

När en ny aktör utvecklas, t.ex. en ny typ av UAV, ärvs ”nätverksaktörens” egenskaper. Man behöver därför endast utveckla de modeller som är speciella för den nya typen, t.ex. UAVns sensorer. Det är också möjligt att ”hänga på” modeller som utvecklats för andra aktörstyper, men som också är giltiga för den nya typen.

##### *Fientliga aktörer*

ISIS idag innehåller ett antal fientliga aktörer i form av markmål, som modelleras på enklast möjliga sätt som punktobjekt. Fler typer av markmål kan definieras genom att utöka en lista i programvaran. Men för att de skall användas fullt ut måste också parametrar för målens interaktion med målsökare och verkansdelar kompletteras.

Nya typer av mål som utnyttjar mer avancerade modeller för styrning kan implementeras. Gränssnitt mot övriga delar av ISIS ställer endast krav på att målets position och övriga tillstånd fortlöpande anges i databasen, varför en sådan modul kan utvecklas tämligen fristående från övriga delar av programmet.

Det är också möjligt att utnyttja det expertsystemstöd som beskrivs i avsnitt 6.2 nedan, för att implementera ett reaktivt beteende hos de fientliga aktörerna.

Andra typer av fientliga aktörer, t.ex. flygande mål eller hotsystem, kan också utvecklas och integreras i ISIS. Detta kräver emellertid att nya typer av gränssnitt definieras, vilket gör att också andra moduler behöver uppdateras för att kunna utnyttja dessa.

#### *Delsystem till egen aktör*

De egna aktörer förses med olika typer av komponenter, målsökare, stridsdel, styrautomat m.m. Om befintliga moduler inte räcker till för det aktuella behovet, behöver nya utvecklas. Enklast är att byta ut en befintlig modul, speciellt om gränssnittet mot aktören och övriga simuleringsmodeller är detsamma.

#### *Styrsystemsmodul*

Styrsystemmoduler för en aktör är av lite speciell karaktär i ISIS. Eftersom olika delar av styrsystemet behöver interagera med varandra på ett kontrollerat sätt har ett gränssnitt för detta utvecklats, som i princip utgörs av en tillståndsbaserad automat för de olika delarna. När nya moduler integreras i ISIS måste tillståndsbaserade automaterna uppdateras med kunskap om dessa. De nya modulerna måste också följa de "regler" som krävs vid kodningen.

Det finns emellertid ett färdigt skal för nya styrsystemmoduler, och genom att använda detta kan varje moduls egenskaper utvecklas relativt fristående och enkelt integreras med övriga delar. Det är också möjligt att implementera utbytbara modeller för en och samma styrfunktion, t.ex. kan olika "målvalsalgoritmer" utvecklas och jämföras med varandra.

En styrsystemmodul kan också ärvas av det expertsystemstöd som beskrivs i avsnitt 6.2 nedan.

#### *Kommunikationsmodul*

ISIS använder sig idag av tre olika länktyper för informationsutbyte, "trådsamband", "laserkommunikation" och "radiolänk", där den tredje typen ännu inte är implementerad. Programstrukturen tillåter att flera länktyper tillförs.

Programmodulen för en länktyp skall producera ett resultat som för varje aktör och varje sampel anger med vilka andra aktörer information kan utbytas, och med vilken bandbredd utbytet kan ske. En kommunikationsrutin behöver alltså inte ta hänsyn till vilken information som skall utbytas, det hanteras av de moduler som använder informationen.

### **6.1.2 Utveckla moduler för grafisk presentation**

En grafisk presentationsmodul ger användaren möjlighet att följa hur en simuleringsmodul fungerar, under simuleringens gång eller i efterhand vid uppspelning av ett scenario. Det är därför naturligt att till varje ny simuleringsmodul också utveckla en presentationsmodul.

En grafisk modul i ISIS är oberoende av simuleringsdelen. Den hämtar endast data ur den dynamiska databasen och presenterar dessa på skärmen. Menyer som tillåter interaktion med simuleringen påverkar först resultatet av simuleringen, men interaktionen sker alltid via databasen, vilket gör att sådana moduler inte "kodmässigt" synkroniseras med simuleringsmodulen.

För flera moduler är det önskvärt att presentera resultatet av simuleringen i ett kartfönster. Nya kartfönster med möjlighet att visa nya typer av data utvecklas enkelt genom att generella egenskaper för kartpresentation kan ärvas av en ny modul, och endast de nya funktionerna behöver implementeras.

### 6.1.3 Utveckla genereringsmoduler

Till en ny modul bör man i de flesta fall också koppla en genereringsmodul, som tillåter användaren att specificera relevanta parametrar för den aktuella simuleringen på ett överskådligt sätt.

En genereringsmodul skapar en textfil med parameterar och andra specifikationer för modulen, som sedan läses in när simuleringen eller uppspelningen initieras. Om en modul endast innehåller några få, enkla definitionsparametrar kan man alternativt låta användaren direkt editera textfilen.

Vid utvecklandet av genereringsmoduler kan man också utnyttja generella egenskaper hos ett genereiskt genereringsfönster, vilket gör det betydligt enklare att implementera användarvänliga menyer.

## 6.2 Expertsystemstöd i ISIS

ISIS erbjuder också en möjlighet att beskriva regelbaserad kunskap för att simulera komplexa beteenden hos aktörerna. Ett sådant expertsystem kan användas både för att implementera autonoma funktioner hos de "blå" aktörerna och för att ge de fientliga mål och hotsystem ett reaktivt uppträdande, dvs. att de anpassar sitt beteende efter de blå aktörernas agerande.

Expertsystemsstödet i ISIS är en anpassning av verktyget REX [6, 7], som utvecklades på FOA 1995-96 inom ramen för projektet Framtida torpeder o AU-vapen. Implementeringen i ISIS har just avslutats, varför verktyget ännu inte har använts.

Nedan ges en kort presentation av vad som menas med expertsystem. Därefter redogörs för hur verktyget kommer att användas vid simulering av samverkande robotsystem.

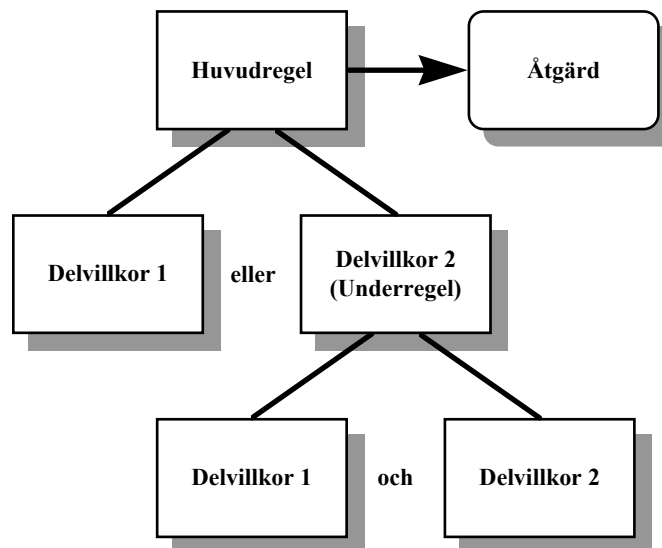
### 6.2.1 Vad är expertsystem

Ett expertsystem är ett datorprogram som innehåller strukturerad kunskap inom ett begränsat och väldefinierat område, och som drar slutsatser ur eller fattar beslut utifrån denna kunskap. Ett expertsystem skall också kunna tala om hur det kommit fram till en viss slutsats. Kunskapsbaserat system är ett annat namn för expertsystem.

#### *Kunskapsrepresentation*

Det finns olika sätt att representera kunskap. Här behandlas två former av kunskap, regelbaserad kunskap och procedurell kunskap.

En regel i en regelbas definieras av ett regelvillkor. Regelvillkoret är sammansatt av ett eller flera delvillkor, där ett eller flera av dessa delvillkor skall vara uppfyllda för att regeln skall bli uppfylld. Ett delvillkor kan i sin tur vara en regel, med ett eget regelvillkor som bestämmer när den är uppfylld. På detta vis kan ett antal regler definiera ett regelträd, där huvudregeln utgör roten till trädet.



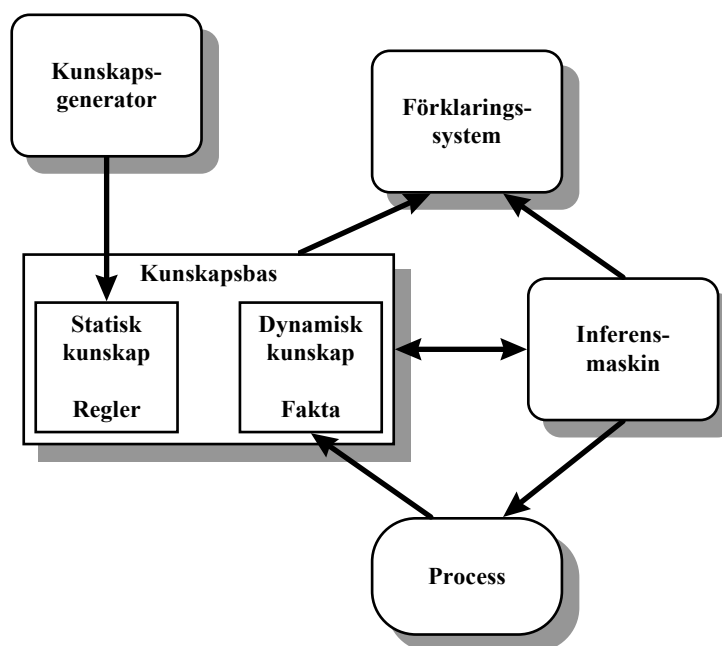
Figur 6.1 Regelträd

Till en regel kopplar man en åtgärd, som skall utföras när regelvillkoret uppfylls. Det är med åtgärden som expertsystemet levererar sina slutsatser eller beslut till omgivningen. Det kan vara ett meddelande till en operatör eller ett styrkommando till en process.

Procedurell kunskap beskrivs av en sekvens av instruktioner, som när de utförs leder till en slutsats eller ett beslut. Ett exempel på procedurell kunskap är en startsekvens, där ett antal moment skall utföras i rätt ordning.

#### Expertsystemets olika delar

Nedanstående bild beskriver hur ett expertsystem är uppbyggt.



Figur 6.2 Expertsystemets delar

Hjärtat i expertsystemet är inferensmaskinen. Det är den programmodul som utifrån kunskap i form av regler och fakta, kunskapsbasen, drar slutsatser och fattar beslut som leder till styrkommandon till processen.

Kunskapsbasen består av två delar, statisk och dynamisk kunskap. Den statiska kunskapen utgörs av en strukturerad regelbas, genererad av en kunskapsgenerator. Den dynamiska kunskapen är indata från systemet, värden som ändras under processens gång.

En viktig egenskap hos ett expertsystem är dess förmåga att förklara varför det kommit fram till ett visst beslut. Det behövs därför ett förklaringssystem, som kan åskådliggöra inferensmaskinens arbete för en användare.

### *Kunskapsgenerering*

Expertsystemets regelbas utvecklas av en ”kunskapsingenjör”, med hjälp av en ”expert” inom det aktuella området. Kunskapsingenjören och experten kan naturligtvis vara samma person. Vid utvecklingen används ett programverktyg som kallas kunskapsgenerator.

Kunskapsingenjören strukturerar expertens kunskap i form av regler, som expertsystemets inferensmaskin kan hantera. Det finns flera svårigheter med detta arbete.

Kunskap kan vara svår att formulera i regler. En expert har ofta en intuitiv känsla för vad som är rätt eller fel i en viss situation, en slutsats som bygger på lång erfarenhet. Precis vilka faktorer och vilka samband som leder honom till rätt beslut kan vara betydligt svårare att veta.

Komplexa samband kräver ett stort antal regler, vilket kan leda till att systemet blir svårt att överblicka. Här krävs det att man bygger upp reglerna med omsorg. Två eller flera regler kan vara motstridiga, vilket kan leda till svårtolkade fel.

Det ställs stora krav på det kunskapsgenererande systemet för att man skall kunna skriva ett välstrukturerat expertsystem. Komplexa samband måste kunna delas upp i flera mindre delar, samtidigt som sambandet mellan olika delar klart skall framgå. Olika delar av systemet måste kunna testas och verifieras individuellt.

### *Expertsystem i realtidstillämpningar*

I en realtidsmiljö har tidpunkten för ett systemvärde central betydelse. Ett beslut beror inte enbart på att en viss händelse inträffat, utan också på när den inträffade. Fakta har också en begränsad livslängd.

Expertsystemet skall kunna resonera i tiden. Det skall kunna svara på frågor av typen

**Om händelsen A inträffat någon gång under tidsperioden T så ...**

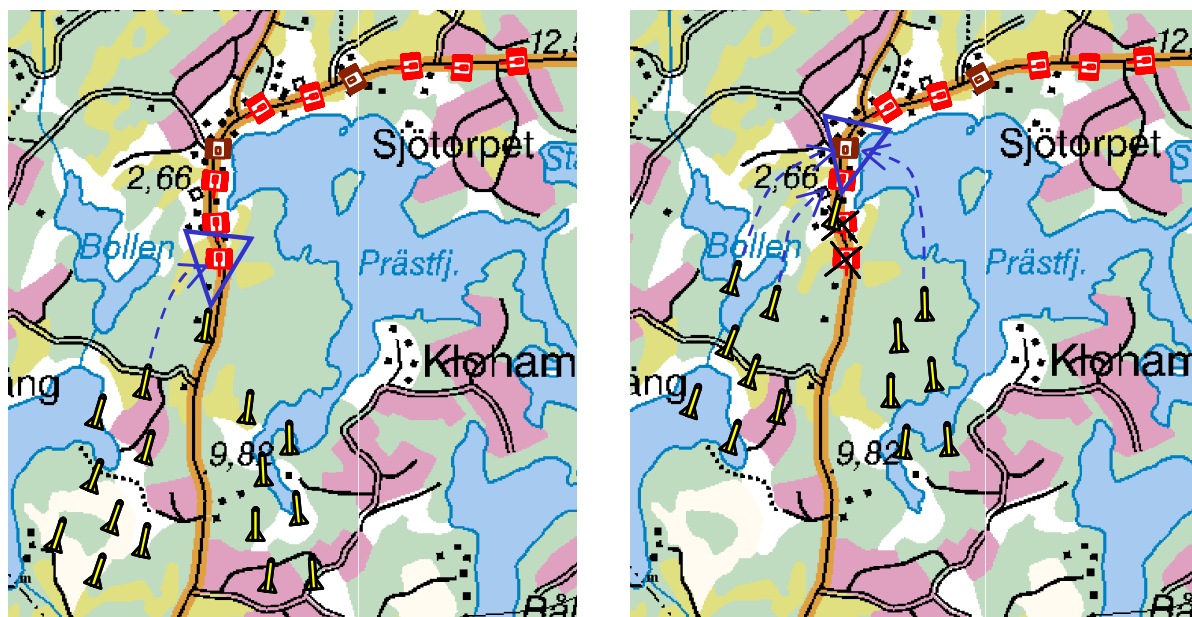
**Om villkoret B alltid varit uppfyllt under tidsperioden T så ...**

**Om C var sant vid tidpunkten T så ...**

Ett någorlunda komplext system kräver oftast att flera delpromblem behandlas parallellt. Expertsystemet måste då kunna hantera flera kunskapsbaser samtidigt, mer eller mindre oberoende av varandra. Man behöver då ett expertsystem som kan exekvera flera inferensmaskiner parallellt, som oberoende processer.

### 6.2.2 Expertsystem för taktikval

Ett exempel där expertsystem kan vara ett användbart hjälpmedel är hur de samverkande robotarna skall formera sig när de uppträder i målområdet och hur taktiken skall anpassas till olika situationer. I nedanstående illustration skall det samverkande robotsystemet slå mot ett antal stridsfordon som framrycker längs en väg. I ett tänkbart taktikalternativ uppträder robotarna på så sätt att en robot spanar längs med fiendens förflyttningsväg, medan övriga robotar följer efter bakom. De efterföljande robotarna uppträder dolt och utnyttjar om möjligt terrängmask vid sidan av vägen.



Figur 6.3 Taktikval vid robotinsats mot fordon längs väg.

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 målet har ett effektivt VMS-system kan två robotar tilldelas detta mål. De anfaller från två håll för att mätta fiendens försvarssystem. Vid en eventuell förlust av den spanande roboten tar en annan robot dess plats.

En ”taktikalgorithm” baserad på ett expertsystem kommer att utvecklas under hösten 2005 för att hantera några olika taktikfall under målsökningsfasen. Resultatet av detta arbete kommer att redovisa i projektets slutrapport i december 2005.



## 7 NÄRTIDA TILLÄMPNINGAR AV ISIS

I detta kapitel presenteras några intressanta problemställningar från tre olika projekt, där simuleringsstöd med hjälp av ISIS ses som en viktig möjlighet. Det första avsnittet beskriver några taktiska situationer som kommer att behandlas av *Samverkande Robotar i Nätverk* under hösten 2005. Det andra avsnittet redovisar projektets *Precisionsbekämpning i NBF* simuleringsverksamhet med ISIS. Det tredje avsnittet behandlar kollaborativ navigering som studerats i projektet *Robust Navigering*. Något beslut om simuleringar har inte fattats i detta projekt, men man ser ISIS som ett tänkbart verktyg för sådan verksamhet.

### 7.1 Taktiska simuleringar av samverkande robotsystem

En förmåga som ett system av samverkande robotar/UAVer kan ha är att verka mot tidskritiska mål. För att inte göra texten onödigt tung används här termen UAV för antingen en traditionell spanings UAV, eller en UAV med stridsdelar, eller en engångsrobot med lång uthållighet. Ett tidskritiskt mål är t.ex. ett artilleriförband som under kort tid lämnar en skyddad gruppering i tät skog, förflyttar sig ut på ett öppet fält, ger eld mot ett område och sedan åter försvinner i skogen. Om tiden från upptäckt till verkan kan göras mycket kort, inom ett givet område, kommer en sådan fiende inte att kunna verka. Att på så sätt kunna neka en fiende tillgång till ett område kallas "Area denial", och bedöms vara en mycket nyttig förmåga i framtida internationella insatser. Ett sätt att minska tiden till verkan är att låta UAV-operatören styra vapeninsatsen. Antingen direkt genom att UAVn är eller bär en stridsdel, eller indirekt genom att UAV-operatören kan styra indirekt eld mot upptäckta mål.

#### 7.1.1 Systemkoncept

En verksamhet i projektet är att under hösten kvantitativt jämföra ett antal alternativa system för att uppnå area denial. I en sådan verksamhet skulle man kunna analysera följande systemkoncept. Delsystemen beskrivs i mer detalj nedan.

- Scan Eagle UAV och Grk (granatkastare, standard).  
Uthållig och prisvärd spaning i kombination med befintligt verkansystem. Nackdel: lång tid mellan upptäckt och verkan.
- Scan Eagle och Grkpbv90120 (granatkastare på stridsfordon 90).  
Som ovan, fast splitterskyddat med kortare tid till verkan.
- Scan Eagle och Indirekt stridsvagnseld.  
Som ovan fast med längre räckvidd och ännu kortare tid till verkan. Indirekt stridsvagnseld dock oprövat och ej avpassat mot mjuka mål.
- LOCPAD.  
Dyrare engångsfarkoster som bär två stridsdelar, extremt kort tid till verkan.
- Ovannämnda system med stöd av marksensornät

Vi skall nu beskriva de föreslagna delsystemen i något mer detalj.

#### *Scan Eagle*

Scan Eagle är en obebäpnad lågkostnads-UAV utvecklad av Insitu group och Boeing. Den är 1.2m lång och 3m mellan vingspetsarna. Uppdragstiden är 15 timmar eller upp till 30 timmar för kommande version [12].

*Grkpbv 90120*

Ett 120 mm granatkastarsystem, Amos, monterat på Stridsfordon 90. Systemet är avsett för Försvarsmaktens internationella verksamhet och år 2008 kommer fyra förseriesystem att vara levererade [13].

*Indirekt eld från Stridsvagn 122*

Idén är att använda stridvagnens 12 cm kanon till indirekt eld. För varje målavstånd finns två elevationsvinklar som ger träff. Traditionellt använder artilleri och granatkastare den höga elevationsvinkeln för att skjuta över hinder och stridsvagnar den låga, för att kunna sikta. De låga banorna ger kortare flygtider för projektilen och är därför intressanta när det gäller tidskritiska mål.

*LOCPAD*

LOCPAD är en förkortning av Low Cost Persistent Area Dominance och ett koncept som beskrivs i [14]. Detta koncept har tagits fram på Air Force Research Lag (AFRL) avdelningen för "Armament Product Directorate" med det explicita syftet att skapa en möjlighet till Area denial och bekämpandet av tidskritiska mål.

*Versionerna ovan kompletterat av ett obevakat marksensornät*

Ett obevakat marksensornät består av ett antal små "puckar" med en eller flera sensorer som antingen är akustiska, seismiska eller magnetiska [15]. När sedan ett fordon passerar i närheten av sensorerna kan dess position bestämmas och fordonet klassificeras. Sådana sensorer kan läggas i närheten av taktiskt viktiga områden för att komplettera spaningen från luften.

**7.1.2 Typsituationer**

Man kan tänka sig två besläktade typsituationer där en "Area denial"-förmåga skulle göra stor nytta.

I den ena har man identifierat ett geografiskt område där fientligt raketartilleri, alternativt Scud-förband, finns grupperat. För att tvinga detta att förbli dolt och därmed inte verka behövs förmågan att upptäcka och slå mot mål med mycket kort fördröjning.

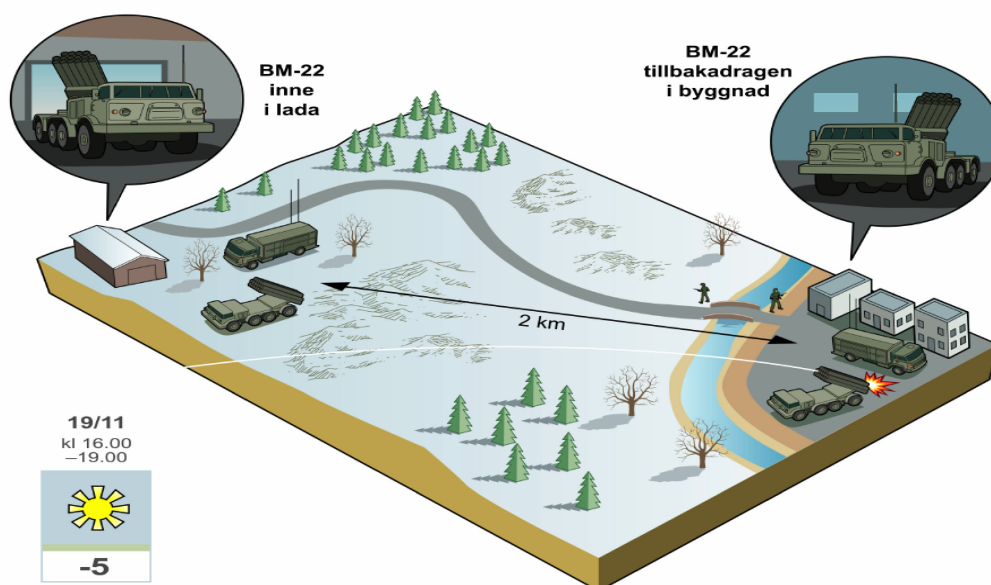
I den andra typsituationen skall man spana framför och skydda egen trupp under förflyttning. Om t.ex. den svenska insatsstyrkan i Liberia behöver förflytta sig en längre sträcka längs vägar inne i landet kan en spaning och verkansresurs på bataljonsnivå väsentligen minska risken för bakhåll och andra överraskningar.

**7.1.3 Fråga som skall besvaras av simuleringarna: Vilken förmåga har systemet?**

Syftet med simuleringarna är att uppskatta vilken nytta systemen skulle göra. Främst i form av en jämförelse mellan de olika systemkoncepten. I LOCPAD-rapporten står t.ex. följande: "Taking into account these factors, tentative calculations show that a 14 kilometers (km) x 14 km area requires 32 LOCPADs to keep a 60 km per hour target (e.g., a Scud TEL) from escaping detection for a 12-hour period." [14] Det skulle vara intressant att göra en egen bedömning av detta. Även sårbarheten för fientligt luftvärn kan beaktas.

## 7.2 Simuleringar av nätverksstrid

Inom ramen för försvarsmaktsprojektet *Precisionsbekämpning i NBF* så har ett förberedande arbete i ISIS genomförts, i syfte att simulera och studera systemeffekten av olika typer av framtida precisionsvapen för kort och långräckviddig indirekt (NLOS) markmålsbekämpning, se [16]. Baserat på de slutsatser som har dragits i rapporten *Kritiska teknologier för indirekt markmålsbekämpning* [17] har ett antal scenarier, som har utvecklats i FM Markmålsstudie, [18], valts ut. Ur dessa scenarier så har slutligen ett antal mikrosituationer valts ut och vidareutvecklats. Urvalet speglar de svårigheter som bedöms vara mest kritiska i ett framtidsperspektiv, både ur ett taktiskt som ett tekniskt perspektiv. Ett exempel på en given mikrosituationer finns beskriven i Figur 7.1.



Figur 7.1 Exempel på mikrosituation under ett internationellt uppdrag, bekämpning av raketartilleri grupperat i skydd/skyl av bebyggelse.

Till de utvalda mikrosituationerna så har ett antal olika vapensystemkoncept<sup>3</sup> definierats, se Figur 7.2. De definierade vapensystemkoncepten utvärderas med avsikt på dess förmåga att lösa de uppgifter som ställs inom ramen för respektive mikrosituation. Utvärderingen sker i huvudsak i formen av spel där medverkan av militär personal tillför den taktiska kompetensen, se [19]. Den metodik som har används för att utvärdera vapenkoncepten beskrivs i Figur 7.3 som beskriver hur erfarenheter får analys och spel leder till simuleringar vars resultat återförs till fortsatt analys. Observera att de framtagna vapensystemkoncepten till vissa delar är identiska med dem som beskrivs i kapitel 7.1 vilket möjliggör en samordning mellan projekten och en motsvarande effektivisering vid utvecklingen av simuleringsmodeller.

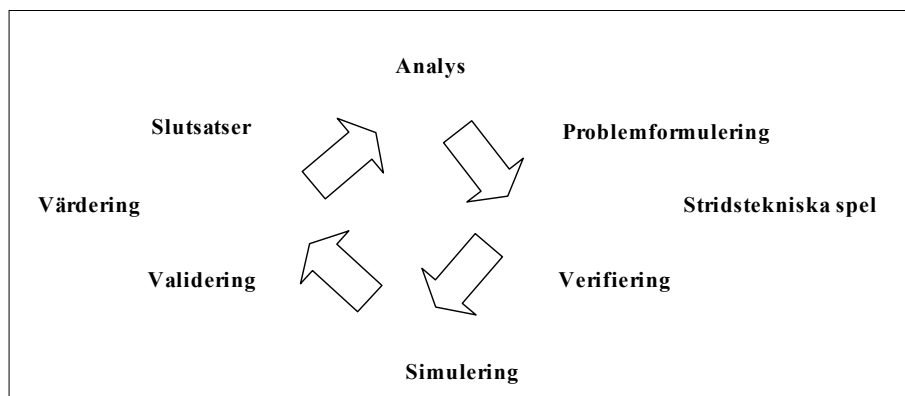
<sup>3</sup> Koncepten är definierade som utvecklade spelkort.

| Niv<br>å | System                 | Framdrivning                | Räckvidder | Verkansformer                     |
|----------|------------------------|-----------------------------|------------|-----------------------------------|
| 1        | Granatkastare          | Eldrör                      | 0,5-20 km  | 12-22 kg Spräng/RSVgranat         |
| 2        | Eldrörsartilleri 155mm | Eldrör/Base bleed           | 10-60 km   | 47 kg Spräng/RSVgranat            |
| 3        | Raketartilleri         | Eldrör/Raket                | 8-300 km   | Spräng/RSV substridsdelar         |
| 4        | UAV                    | ?                           | ?          | Spaning och Utpekning             |
| 5        | Robotar                | Turbojet, Turbo-raket, RAMM | 1500 km    | Bekämpning                        |
| 6        | Samverkande Robotar    |                             |            | Spaning, Utpekning och Bekämpning |
| 7        | UCAV                   | ?                           | ?          | Spaning, Utpekning och Bekämpning |
| 8        | Kryssnings Missiler    |                             |            | Bekämpning                        |
| 9        | Ballistiska Missiler   |                             |            | Bekämpning                        |

*Figur 7.2 Definierade framtida vapensystemkoncept ordnade efter respektive systems taktiska räckvidd.*

Erfarenheterna från provspel har tillsammans med vetenskapliga/tekniska bedömningar till att följande frågeställningar måste studeras i detalj:

- Kan vapensystemkoncepten användas mot rörliga hårda mål som förflyttar sig mellan olika typer av skydd/skyl?
- Hur stor del av tiden är nätverket tillgängligt för dataöverföring till/från vapensystemkoncepten?
- Hur stor ledtid orsakad av lednings- och ordergivningskedjan kan systemen tolerera, med bibehållen precision?
- Kan styrningen och navigering under banfasen ske med hjälp av informationen från nätverket?
- Vilka slutfaser kommer att vara mest kritiska för sensorer/målsökare att kunna lösa upp?
- Påverkas precisionen av positionerings- och navigeringssystemers absoluta och relativa noggrannhet?



*Figur 7.3 Utvärderingsloopen, återkopplad utvärderingsmetodik*

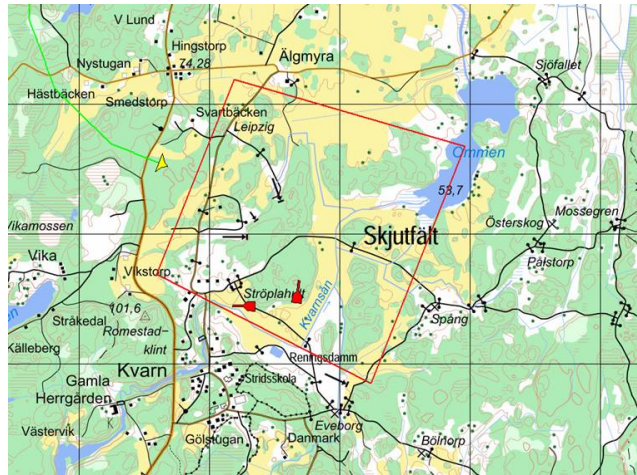
Ett exempel på ett framtida vapensystem kan ses i Figur 7.4, vilken beskriver det nya AMOS-granatkastarsystemet (SSG120). I syfte att kunna besvara dessa frågor har vapensystemen och de aktuella mikrosituationerna börjat implementeras i ISIS.



*Figur 7.4 Exempel på ett bekämpningssystem nivå 1, Granatkastarsystemet AMOS. Vid nivå 4 så kombineras vapensystemet med en UAV*

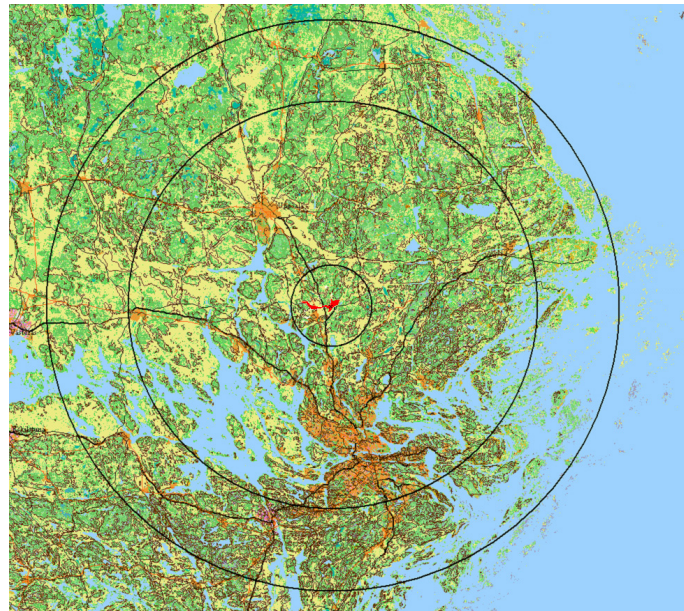
Notera att inte alla kombinationer av vapensystem och mikrosituationer kommer att implementeras då det redan under provspelen visade sig att vissa olika kombinationer inte var tillämpliga ur ett taktiskt perspektiv<sup>4</sup>. Vid valet av terräng för mikrosituationerna i ISIS, valdes Kvarns skjutfält. Detta skedde på grund av att dels är området noggrant karterat med hjälp av laser och IR, vilket möjliggör merutnyttjande av resultat i andra simuleringsverktyg, dels finns det småbruten terräng och bebyggelse som är av intresse ur ett sensorperspektiv, samt inte minst är miljön välkänd för militären, vilket möjliggör att målen grupperas på ett realistiskt sätt. I Figur 7.5 syns ett exempel på raketartilleri grupperat samt en UAV som spanar över området.

<sup>4</sup> T.ex. kommer en begränsad resurs som en kryssningsmissil med största sannolikhet inte att användas för att bekämpa ett rörligt pv-fordon i bebyggelse.



Figur 7.5 Kartbild över Kvarns skjutfält med implementerade mål i form av raketartilleri

Det kan vara på sin plats att lyfta ett varningens finger. Simuleringar i ISIS har som huvudsyfte att fånga upp det *dynamiska* förlopp som uppstår i en miljö när man implementerar ett vapensystem med tillhörande ledningskedja<sup>5</sup> för verkan mot små rörliga mål. Detta har gjorts i syfte att komplettera de mera *statiska* resonemangen som sker i krigsspelen. Beslutsresonemang hos en bekämpningschef, t.ex. när var och hur en bekämpning sker baserat på aktuella ROE<sup>6</sup>. Komplexitetsgraden vid indirekt insats/eld ökar markant vid internationella insatser relativt det konventionella kriget. Behovet av indirekt eld och resurser för framskjuten spaning framgår med all tydlighet vid studiet av Figur 7.6. Det röda området beskriver det område som kan överblickas med sensorer från landningsbanan på Arlanda. Den inre cirkeln beskriver räckvidden på bataljonsartilleri (Grk) och de yttre de områden som måste kunna övervakas, baserad på räckvidden för olika typer av hotssystem.



Figur 7.6 Beräknad Line of sight (LOS) i SILVIA, för en styrka grupperad på Arlanda.

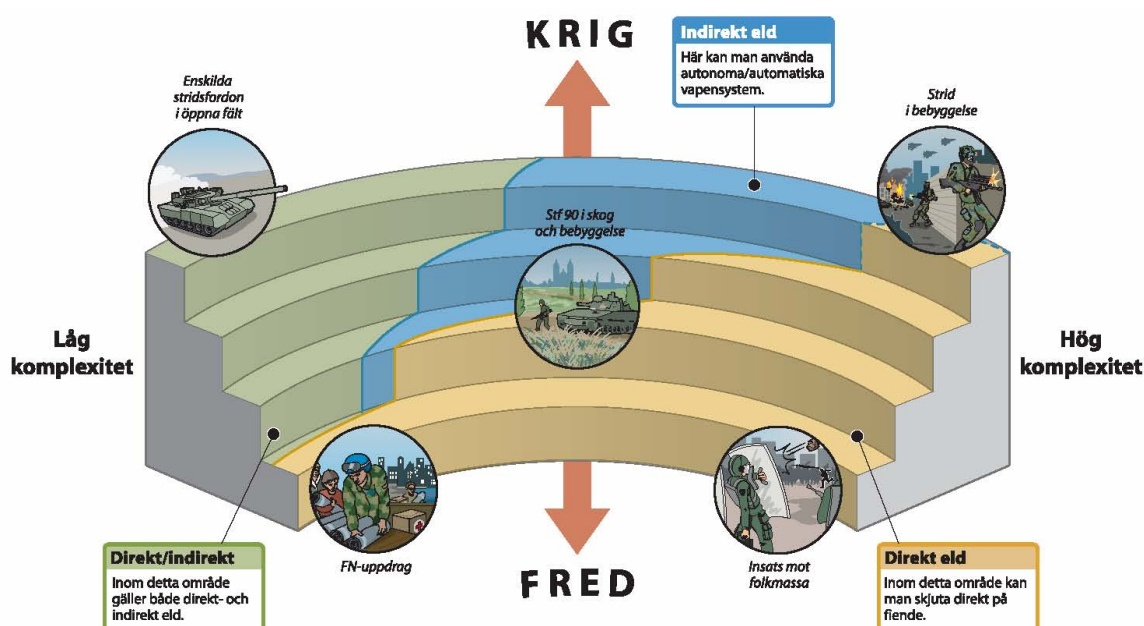
<sup>5</sup> Kallas vanligen för *bekämpningskedjan*

<sup>6</sup> *Rules of engagements*, regler för hur användning av vapen får ske, jmf. med IKFN.



Skillnaden i komplexitet mellan olika fall av väpnad strid på olika konfliktnivåer beskrivs i Figur 7.7. Det är i princip tre olika områden som beskrivs. Där kan man se att det är i endast vissa fall där indirekt eld och autonoma vapensystem kan användas. Dessa fall består i låg komplexitet i strids/sensormiljö och en hög konfliktnivå. Vid riktigt komplexa situationer, t.ex. strid i bebyggelse, så minskar värdet av autonoma/automatiska vapensystem.

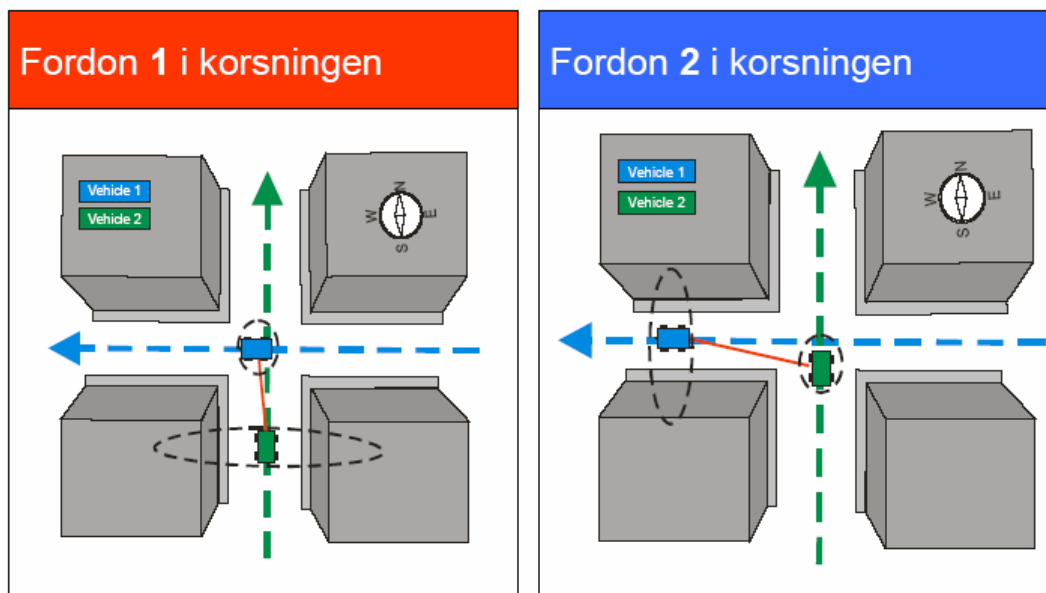
De mikrosituationer som implementeras i ISIS inom ramen för projektet *Precisionsbekämpning i NBF* motsvarar olika delar i konfliktrappan för att i görligaste mån kunna täcka in hela området vid värderingen av vapensystemskoncepten. Implementeringen i ISIS har även valts för att kunna samordna aktiviteterna med projektet *Samverkande Robotar*.



Figur 7.7 Konfliktrappan, en schematisk beskrivning av komplexiteten i olika typer av konfliktsituationer.

### 7.3 Simulering av navigeringsprinciper

När ett robust navigeringssystem för en farkost (t.ex. en autonom stridsvagn eller en robot) inte har tillräckligt bra navigeringsprestanda för att lösa en uppgift kan grupsamverkan mellan flera farkoster, samverkande navigering, vara en möjlig lösning. I projektet *Robust Navigering* har olika navigeringsstrategier för hur satellitinformationen skall användas för specialfallet med två farkoster i stadsmiljö studerats, se Figur 7.8.



Figur 7.8 Det undersökta scenariot inkluderar två samverkande farkoster som navigerar längs korsande gator. Här visas två tillfällen då samverkan mellan farkosterna sker. Resterande tid är farkosterna skymda av byggnader. Ellipserna visar respektive fordons positionssosäkerhet.

Gruppsamverkan medför att

- hela gruppens navigeringsprestanda förbättras
- navigeringsprestanda kan förbättras i både störd och urban miljö samt att
- farkosterna kan utrustas olika. Det är då möjligt att ha få farkoster med robusta och störskyddade navigeringssystem (GPS/TNS/gruppantenn) kombinerade med många och billiga farkoster. Detta resulterar i låg totalkostnad men hög navigeringsprestanda för hela gruppen.

De algoritmer för kollaborativ navigering av integrerade navigeringssystem som har tagits fram av projektet *Robust Navigering* har implementerats i en simuleringsmiljö, där de kan provas både i telekrigsmiljö och i stadsmiljö. Dessa algoritmer kan också implementeras i ISIS, där de då skulle kunna utgöra en del i de samverkande aktörernas styrsystem och interaktionen mellan olika styralgoritmer skulle kunna studeras. Simuleringar på taktisk nivå i ISIS skulle också kunna påvisa nyttan med avancerade kollaborativa navigeringsalgoritmer.



## 8 SAMMANFATTNING AV ISIS EGENSKAPER

I rapporten har simuleringsverktyget ISIS presenterats. Det är ett relativt nytt verktyg som ännu inte har använts i stor skala, men som i närtid kommer att användas av tre olika projekt på FOI Systemteknik.

ISIS är utvecklat med hjälp av Borland Delphi och Object Pascal och är anpassat för Windows-plattformar. Verktöget mest grundläggande funktion är simulering av kommunikationslänkar och informationsutbyte mellan ett godtyckligt antal aktörer. En viktig princip vid utvecklingen av simuleringsverktyget har varit att endast implementera de modeller som behövs för de aktuella simuleringsproblemen, och på den komplexitetsnivå som problemställningen kräver, för att på så sätt hålla nere kostnaden för programutveckling. ISIS har därför fått en programstruktur som underlättar en flexibel och iterativ utveckling, där nya funktioner på ett enkelt sätt kan integreras med övriga delar.

ISIS har utvecklats inom ramen för projektet Samverkande Robotar i Nätverk, där målsättningen är att studera ett samordnat autonomt beteende hos ett antal flygande plattformar, som har möjlighet till informationsutbyte under sitt uppdrag. Stor vikt har därför lagts på att ta fram modeller för hur aktörerna hanterar informationen för sin uppdragsstyrning. ISIS används i projektet för att analysera såväl taktiskt/stridstekniska som tekniska aspekter av samverkande agenter i ett nätverk.

Speciellt taktiskt/stridstekniska simuleringar av ett vapensystem kräver i många fall att även de aktörer som systemet skall interagera med modelleras på en tillräckligt hög komplexitetsnivå. Dessa omvärldsmodeller torde dock lämpa sig även för simulering av andra systemtyper än samverkande robotar, varför ISIS och dess modeller bör kunna utnyttjas också inom ramen för andra verksamheter, t.ex. för taktiska studier av UAV- och UCAV-system.

De modeller som växer fram i ISIS blir på grund av verktygets natur modulära, vilket underlättar en noggrann dokumentation vad gäller modellens gränssnitt mot omvärlden, informationsflöde och funktionsalgoritm. Denna detaljerade beskrivning gör att ISIS modeller, på algoritmnivå, kan implementeras i andra, fristående programramverk. Till exempel skulle det vara möjligt att implementera ett ISIS-framtaget samverkande robot- eller UAV-system i Merlin. Det öppnar för möjligheten att använda det i t.ex. FLSC (Flygvapnets LuftstridsSimuleringsCenter).

## 9 REFERENSER

---

- 1 Alvå P. (red.), *Samverkande Robotar i Nätverk - Spekort och typsituationer*, FOI-R--1108--SE, december 2003.
- 2 Alvå P., Wallström D., Ögren P., *Samverkande Robotar i Nätverk, Årsrapport, Simuleringsmodeller och algoritmer för autonom samverkan*, FOI-R--1452--SE, december 2004
- 3 Alvå P., Jerberyd M., Wallström D., *Simuleringsverktyg för Samverkande Robotsystem - Värdering av verktygsalternativen FLAMES, TACSI och ROSA*, FOI Memo 837
- 4 Alvå P., Kallstenius S., Åström U-S., *ROSA – En simuleringsmiljö för samverkande robotar – Användarhandledning och programbeskrivning*, FOA-R--98-00889-314--SE
- 5 Alvå P., Åström U-S., *ROSA 2.0 – Vidareutveckling av simuleringsmiljö för samverkande robotar – Användarhandledning och programbeskrivning*, FOA-R--00-01798-314--SE
- 6 Alvå P., *Rex, Ett expertsystemskal för realtidstillämpningar, Användarmanual*, FOA-R--97-00406-313--SE, januari 1997
- 7 Alvå P., *Rex, Ett expertsystemskal för realtidstillämpningar, Programbeskrivning*, FOA-R--97-00408-313--SE, januari 1997
- 8 Eklöf M., Pelo J., Ulriksson J., Wallström D., *Styrning av samverkande robotar – En Studie av Modellering och Simulering i FLAMES*, FOI-R-0322--SE, december 2001.
- 9 Sonesson M., *A probabilistic approach to conceptual sensor modeling*, FOI-R--1676--SE, juni 2005.
- 10 Ref IR-rapporten från 77:an
- 11 Karlholm J., *Implementering och värdering av en metod för detektering av markmål i EO/IR-bilder från flygburna plattformar*, FOI-R--1267--SE, 2004.
- 12 <http://www.boeing.com/defense-space/military/unmanned/scaneagle.html>
- 13 <http://www.fmv.se>
- 14 Time-Critical Targeting, Predictive versus Reactionary Methods: An Analysis for the Future, Lt Col Gregory S. Marzolf, USAF
- 15 *Slutrapport för projektet interaktiva adaptiva marksensornät (IAM)*, FOI-R--1450--SE, 2004
- 16 Brämning P., *Precisionsvapen i NBF: Spelkortsunderlag - preliminär version*, FOI-R--0935--SE, 2003.
- 17 Brämning P., Forssell L., Sume A., Karlsson S., Karlholm J., Näsström F., Gadd S., *Kritiska teknologier för indirekt markmålsbekämpning*, FOI-R--1247--SE, 2004.
- 18 FM Markmålsstudie
- 19 Sparf M., *Krigsspel för utvärdering av precisionsvapensystemkoncept*, FOI-RH--0362--SE, November 2004