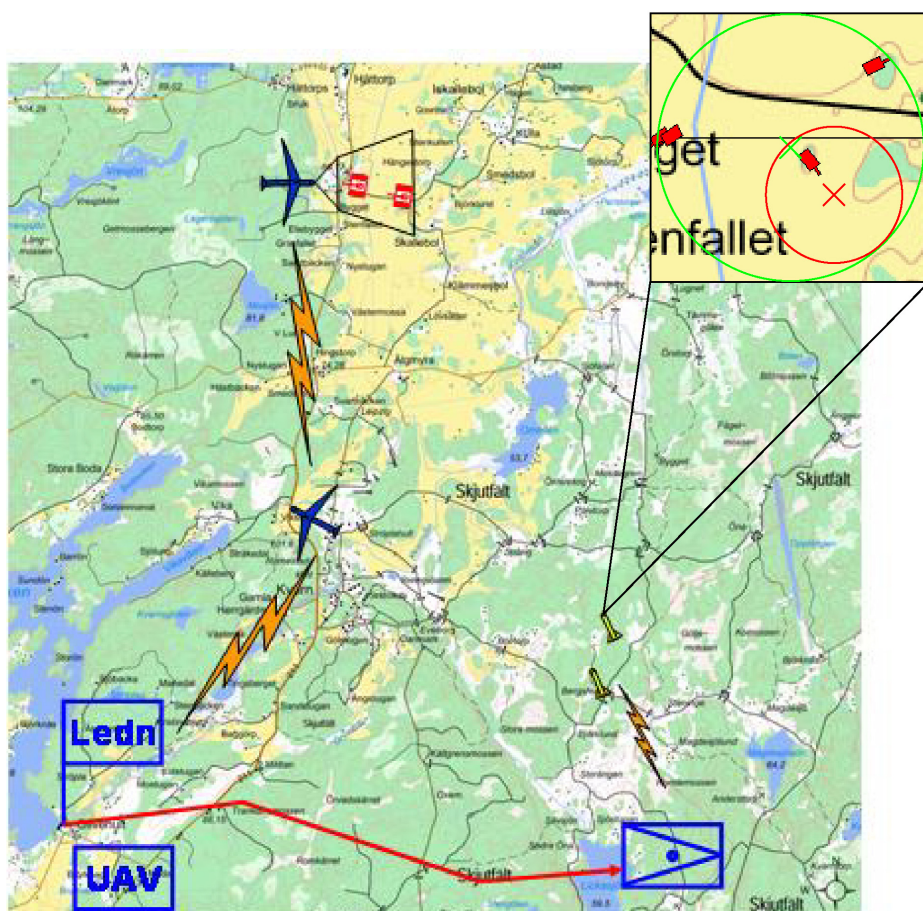


Simulering av nätverksstrid med ISIS

Peter Alvå, Dag Wallström



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 0008-
555 030 00
Fax: 08-555 031 0008-
555 031 00

www.foi.se

Peter Alvå, Dag Wallström

Simulering av nätverksstrid med ISIS

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Systemteknik 164 90 Stockholm	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1827--SE	Klassificering Underlagsrapport
	Forskningsområde 5. Bekämpning och skydd	
	Månad, år December 2005	Projektnummer E-6002
	Delområde 51 VVS med styrda vapen	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Peter Alvå Dag Wallström	Projektledare Per Brämning	
	Godkänd av Monica Dahlén	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Maria Sjöblom	
Rapportens titel Simulering av nätverksstrid med ISIS		
Sammanfattning I en nätverksbaserad stridssituation är resultatet av en precisionsbekämpning starkt beroende av många olika faktorer, och kan därför vara mycket svårt att förutse. I många fall är det nödvändigt att simulera situationen för att kunna studera olika faktorerers inverkan. En typsituation där stridsvagnar bekämpas med nätverksstyrda artillerigranater har modellerats i simuleringsverktyget ISIS i syfte att förbereda kommande stridstekniska studier av nätverksbaserad precisionsinsats och för att undersöka verktygets lämplighet för uppgiften. ISIS har visat sig vara ett utmärkt verktyg för simuleringar på taktisk/stridsteknisk nivå. Några nya modellkomponenter till ISIS har utvecklats, men till stor del har befintliga modeller och funktioner kunnat utnyttjas för den aktuella simuleringen.		
Nyckelord NBF, Nätverksbaserat försvar, Simulering		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 28 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Systems Technology 164 90 Stockholm	Report number, ISRN FOI-R--1827--SE	Report type Base data report
	Programme Areas 5. Strike and protection	
	Month year December 2005	Project no. E-6002
	Subcategories 51 Weapons and Protection	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Peter Alvå Dag Wallström	Project manager Per Brämning	
	Approved by Monica Dahlén	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Maria Sjöblom	
Report title (In translation) Network Centric Warfare Simulation with ISIS		
Abstract In a NCW situation the result of a precision engagement is based on several different factors, and can therefore be difficult to predict. Simulation is in many cases an important tool to study the impact of various parameters. A precision engagement situation with network controlled artillery against enemy tanks has been simulated with ISIS to prepare for future tactical studies of NCW situations and to test the capability of ISIS as a simulation tool for this type of problems. ISIS has shown good potential for simulations on a tactical level. Some new components have been developed, but most predefined models and features of ISIS have been used for the simulation.		
Keywords NCW, Network Centric Warfare, Simulation		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 28 p.	
Price acc. to pricelist		

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING.....	7
1.1	PROJEKTETS VERKSAMHET	7
1.2	SIMULERING AV VAPENKONCEPT	7
1.3	RAPPORTENS INNEHÅLL - LÄSANVISNING	8
2	TYPSSITUATION - STYRDA NÄTVERKSGRANATER MOT RÖRLIGA MÅL... 9	
2.1	UAV-SYSTEMET SCANEAGLE	9
2.2	SLUTFASSTYRD AMMUNITION	10
2.2.1	<i>Styrd Artilleriraket typ MLRS (Multiple Launch Rocket System)</i>	<i>10</i>
2.2.2	<i>Styrd Artillerigranat typ Exalibur</i>	<i>11</i>
2.3	INSATS MOT STRIDSVAGNAR	11
2.4	SIMULERINGSPROBLEMET	13
3	SIMULERINGSVERKTYGET ISIS	15
3.1	SIMULERINGSVERKTYGETS EGENSKAPER I STORT	15
3.2	MODELLER IMPLEMENTERADE I ISIS	17
3.2.1	<i>Terräng.....</i>	<i>17</i>
3.2.2	<i>Målsökare.....</i>	<i>18</i>
3.2.3	<i>Målsimulering</i>	<i>18</i>
3.2.4	<i>Kommunikationslänkar</i>	<i>19</i>
3.2.5	<i>Banföljning.....</i>	<i>20</i>
3.2.6	<i>Informationsfusion</i>	<i>20</i>
3.2.7	<i>Modell för styrd ballistisk ammunition</i>	<i>21</i>
3.2.8	<i>Modell för ledningsnod</i>	<i>21</i>
4	SIMULERING AV TYPSSITUATION, RESULTAT OCH FÖRSLAG PÅ VIDAREUTVECKLING.....	23
4.1	DEMONSTRATIONSSIMULERING	23
4.2	TIDSFÖRDRÖJNINGENS BETYDELSE FÖR UTFALLET	26
4.3	ROBUSTHET HOS NÄTVERKET	27
4.4	SYSTEMJÄMFÖRELSE	27
5	REFERENSER.....	28

1 INLEDNING

1.1 Projektets verksamhet

Denna rapport utgör en del av redovisningen av FOI-projektet Precisionsvapen i nätverksbaserat försvar, ”NBF”.

Projektets syfte är att samla in underlag från övriga projekt inom FoT-område 10 (vapen, verkan och skydd med styrda vapen) och från andra relevanta områden, och bearbeta detta till resultat på högre systemnivåer. Arbetet och resultaten av detsamma skall skapa en interaktion mellan FOI forskning inom området och det svenska försvarets användare av forskningsresultaten.

Projektet har under åren 2003-05 huvudsakligen arbetat med:

- Framtagning av vapensystemspelkort och scenarier för indirekt bekämpning av små och rörliga markmål.
- Utveckling av utvärderingsmetoder för spelkortet i scenarierna i formen av manuella krigsspel.
- Prov av spelmetodiken på stridsteknisk till taktisk nivå tillsammans med A9/ArtSS.
- Inventering, anskaffning och egenutveckling av simuleringsmodeller på teknisk till stridsteknisk nivå.
- Fältförsök, mätningar och simuleringar inom målsökar- och sensorteknikområdet.
- Inventering av kritiska teknologier för integrering av precisionsvapen i ett nätverksbaserat försvar.

Projektet i helhet slutredovisas i [1]. I denna rapport redovisas resultatet av arbetet ”Systemteknisk simulering av Precisionsvapen.”

1.2 Simulering av vapenkoncept

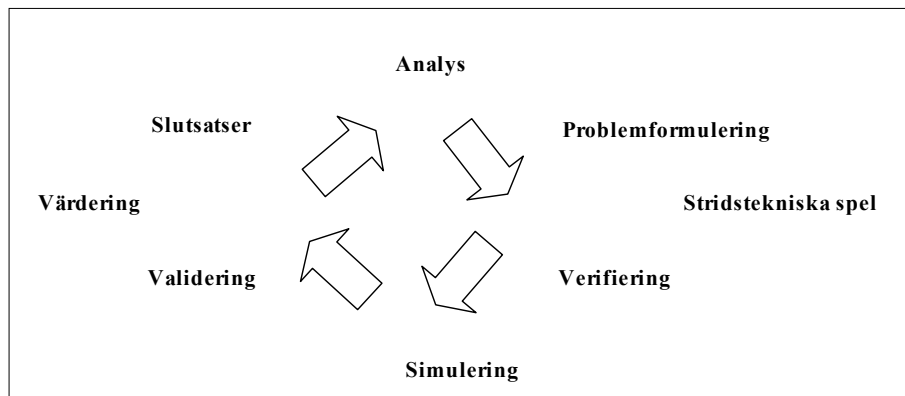
Inom ramen för projektet har ett förberedande arbete gjorts i simuleringsverktyget ISIS i syfte att simulera och studera systemeffekten av olika typer av framtida precisionsvapen för kort och långgräckviddig indirekt (NLOS¹) markmålsbekämpning, se [2]. Simuleringsresultaten är en viktig del av utvärderingen av vapenkoncepten, där huvuddelen utgörs av stridstekniska spel, se [3]. Den metodik som används beskrivs i Figur 1.1 – erfarenheter från analys och spel leder till simuleringar vars resultat återförs till fortsatt analys.

Erfarenheterna från provspel har tillsammans med vetenskapliga/tekniska bedömningar lett 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?

¹ Non Line Of Sight

- 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 navigeringssystemens absoluta och relativa noggrannhet?



Figur 1.1 Utvärderingsloopen, återkopplad utvärderingsmetodik

1.3 Rapportens innehåll - läsanvisning

Rapporten inleds med en beskrivning av en typsituation, där en indirekt vapeninsats med artillerigranater görs mot rörliga mål – i detta fall fiendliga stridsvagnar. I typsituationen identifieras några relevanta frågor kring precisionsinsats i ett nätverksförsvar, och som är möjliga att besvara med simuleringar på en taktisk/stridsteknisk nivå.

I kapitel 3 ges en översiktlig beskrivning av simuleringssverktöget ISIS, och de modeller som har implementerats för det aktuella simuleringssproblemet.

I kapitel 4 presenteras preliminära resultat från simuleringarna, som i detta läge mest är att betrakta som ”demonstration av principer”. Här ges också förslag på hur fortsatta simuleringar bör göras, och vilka modeller som behöver ny- eller vidareutvecklas.

2 TYPSSITUATION - STYRDA NÄTVERKSGRANATER MOT RÖRLIGA MÅL

Typsituationen beskriver en insats med ett indirekt precisionsvapensystem som består av slutfasstyrda artillerigranater. Dessa är försedda med en kommunikationslänk, vilket gör att de kan erhålla positionsuppdateringar under sin banfas, och därmed med hög precision kan sättas in även mot rörliga mål. Invisning sker i typsituationen från en UAV.

2.1 UAV-systemet ScanEagle

Allmänt

ScanEagle™² är en flexibel, lätt spanings-UAV avsedd för militär och civil övervakning. Systemet är mycket flexibelt och kan utrustas med ett stort antal spaningssensorer.



Figur 2.1 ScanEagle™.

Bild från Insitu Group http://www.insitugroup.com/gallery_images.cfm

Systembeskrivning

Farkosten består av en cirkulärkropp med bakåtsvepta rektangulära vingar och skjutande propeller. Farkosten har ingen stjärt i egentlig mening utan är utrustad med "winglets" som även innehåller girstyrorgan. Vingarna är avtagbara och hela farkosten får, demonterad, plats i en låda med måtten 2,1 x 0,6 x 0,4 m och väger 37 kg.

Data

Längd	1,2 m
Spännvidd:	3,2 m
Kroppsdiameter:	0,2 m

² ScanEagle är registrerat varumärke hos Boeing och The Insitu Group.

Startvikt:	18 kg
Nyttolast:	6 kg

Framdrivning

Tvåtaktsmotor:	1,1 kW
----------------	--------

Prestanda

Marchfart:	25 m/s
Maxfart:	36 m/s
Flygtid:	15 timmar
Max flyghöjd:	5000 m

Sensor

UAVn är i grundutförande utrustad med följande sensorer:

- **EO:** färg CCD med 640x480 pixlars upplösning.
- **IIR:** Okyld bildalstrande med 640x480 pixlars upplösning och uppdateringsfrekvens 60 bilder/s.

Samband

- Långräckviddig kommunikation
 - UAVn utgör en nod i försvarsmaktens globala kommunikationsnät.
- Korträckviddig kommunikation
 - Laserlänk: 5-8 km kommunikationsavstånd med mycket hög bandbredd (> 1 Gb/s).
 - Högfrekvent frekvenshoppand RF av "Bluetooth"-typ.

2.2 Slutfasstyrd ammunition

Inom projektet har vi skissat på två typer av styrd ammunition. De är tänkta att representera de olika koncepten för ballistisk, eller nära ballistisk, bekämpning: Eldrörsartilleri och raketartilleri.

2.2.1 Styrd Artilleriraket typ MLRS (Multiple Launch Rocket System)

MLRS är ett raketsystem framtaget av Lockheed Martin och Fire Control. En eldenhet har 12 skjutklara raketer som antingen kan skjutas en och en eller skjutas i en salva, då tar det mindre än 60 s att avfira alla raketer. Raketerna har en räckvidd på ca 35 000 m.

Ursprungsammunitionen till MLRS är ostyrd, men Lockheed Martin har tagit fram en ny raket som kallas för GMLRS (Guided Multiple Launch Rocket System). Denna raket har nosroder och är GPS-styrd mot en förprogrammerad träffpunkt. Räckvidden har också ökat till ca 70 000 m.

Vi tänker oss en liknande raket, men som även är utrustad med en enkelriktad kommunikationslänk, vilket gör att granatens träffpunkt kan uppdateras under skjutförloppet. Vi tänker oss även att granaten kan utrustas med en fast målsökare av IR-typ.

Data

Vikt: ca 82 kg

Max skjutavstånd: 70 000 m

Träffområde: Cirkulärt med 5000 m diameter³

Målsökare: IR Cirkulärt detektionsområde med 100 m diameter vid målsökaröppning.

2.2.2 Styrd Artillerigranat typ Exalibur

Exalibur är en styrd artillerigranat som styrs mot en förprogrammerad GPS-koordinat med hjälp av utfällbara nosroder.

Vi tänker oss en liknande granat, men som dessutom är utrustade enligt nedanstående alternativ:

Alternativ 1

Målsökare: IR, fast målsökare med ett cirkulärt detektionsområde på 100 m diameter på den höjd då målsökaren öppnas.

Alternativ 2

Kommunikation: Högfrekvent frekvenshoppand RF, endast mottagare.

Alternativ 3

Målsökare enligt alternativ 1 samt kommunikation enligt alternativ 2.

Data

Kaliber: 155 mm

Vikt: ca 7 kg

Max skjutavstånd: 40 000 m

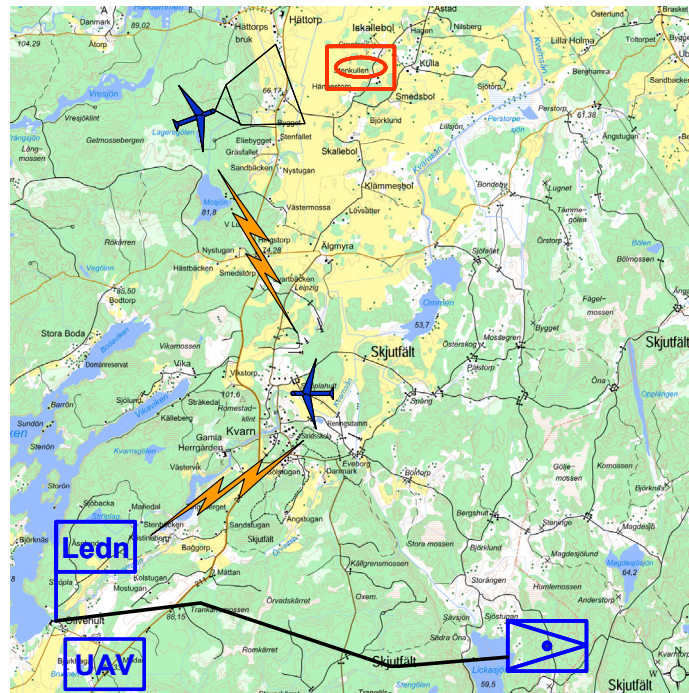
Träffområde: Cirkulärt med 500 m diameter⁴

2.3 Insats mot stridsvagnar

Insatsledningen, grupperad vid herrgården Olivenhult, har fått underrättelser om ett fientligt stridsvagnsförband som rör sig i området söder om Iskallebol. Förbandet utgör ett hot mot egna förband som är grupperade i området kring Hättorps bruk. En spanings-UAV sätts in för att lokalisera fienden och, om möjligt, ge målinvisning för indirekt eld.

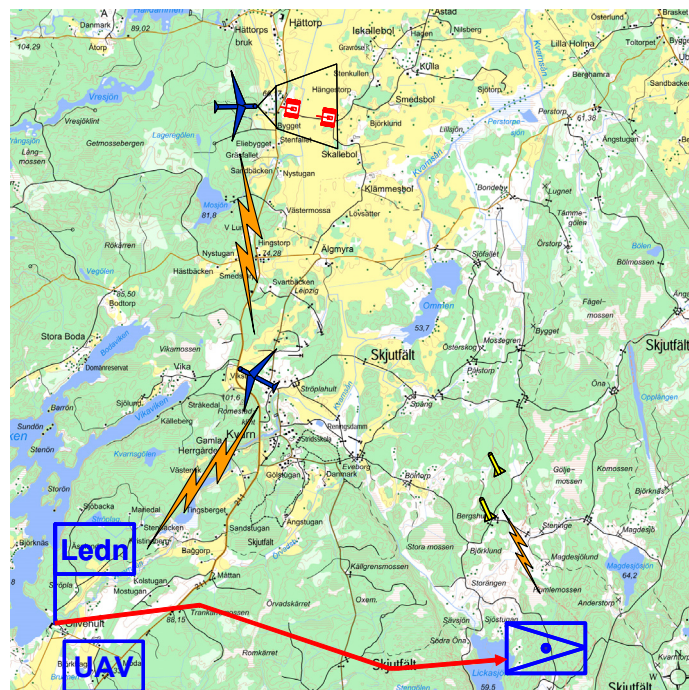
³ Approximativt en tredjedel av banhöjden.

⁴ Approximativt, enligt öppna källor minskar Excalibur spridningen från en cirkel med ca 400 m diameter till en med 10 m. En rimlig gissning är att en granat med som styr med samma teknologi kan styras mot ett område som är något större än det den kan styra in ifrån.



Figur 2.2 Gruppering av egna förband. Spaningsinsats påbörjad.

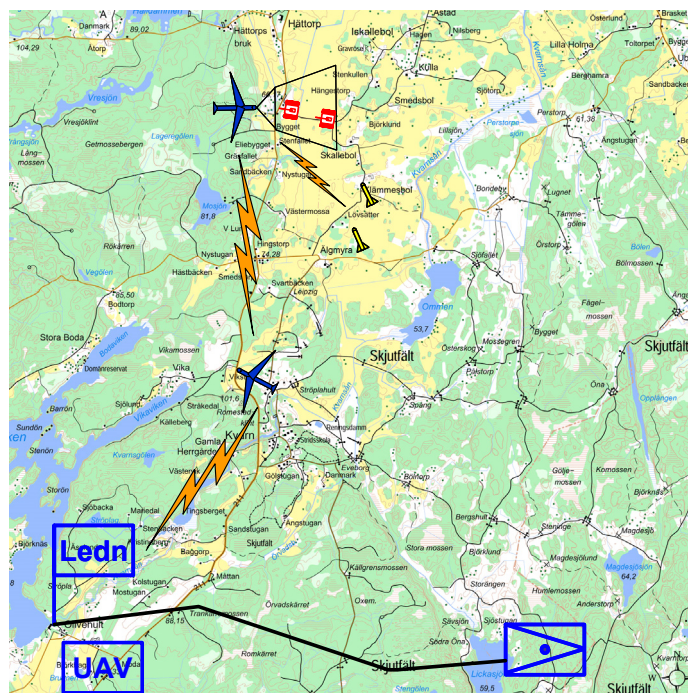
Spanings-UAVn utnyttjar i första hand en laserlänk för informationsöverföring, eftersom detta erbjuder en störsäker och bredbandig kommunikationskanal. Räckvidden är emellertid begränsad till några km och kräver fri sikt. Avståndet mellan målområdet och ledningsplatsen, där också UAV-gruppen med markstation finns, är såpass långt att säker kommunikation inte kan garanteras med laserlänk, varför även en andra UAV startar för att tjäna som reläande sambandsnod.



Figur 2.3 UAV-spaningen mäter in två stridsvagnsmål. Artillerigranater avfyras.

Den spanande UAVn upptäcker snart två stridsvagnar på marsch mot Hättorp. Informationen når ledningsplatsen via den reläande UAVn, och man fattar genast beslut om insats med artillerigranater mot målen. Ordern går via trådlänk till artilleriförbandet, som är grupperat öster om Lickasjön.

Artillerigranaterna förses innan de avfyras med aktuellt målläge. Målläget uppdateras emellertid fortlöpande via radiokommunikation från eldenheten till granaterna under banfasen så länge positionsuppdateringar erhålls från den spanande UAVn.



Figur 2.4 Artillerigranater uppdateras med målläge direkt från spanande UAV i slutfasen.

När granaterna närmar sig målområdet kommer de inom räckhåll för UAVns radiokommunikationslänk. UAVn sänder då positionsuppdateringar direkt till dessa för att på så sätt radikalt minska tidsfördröjningen vid informationsöverföringen.

När artillerigranaterna befinner sig i slutfasen öppnar de sina egna målsökare. Tack vare en fungerande invisning hittar de direkt sina respektive tilldelade mål, och slår ut dessa.

2.4 Simuleringsproblemet

I typsituationen ovan förutsätter vi ett fungerande samband mellan de ingående aktörerna – UAVer, artillerigranater, ledningsplats och eldenhet. Artillerigranaterna är också försedda med en IR-målsökare, som gör att kravet på invisning inte är så högt – det räcker med att målet befinner sig inom en radie på c:a 100 m för träff. Vi kan emellertid tänka oss ett antal alternativa scenarier, och även olika kombinationer av dessa:

Direktsamband UAV-granat är inte möjlig

Om direktsamband mellan granat och UAV inte fungerar, t.ex. om hotmiljön är sådan att UAVn inte kan sända pga. röjningsrisken eller om dess radiokommunikation störs ut, måste positionsuppdatering ske via flera noder i nätverket. Detta medför en längre tidsfördröjning som kan medföra ett sämre träffresultat.

Granaterna saknar målsökare

Artillerigranater som enbart är GPS-styrda blir mycket mer beroende av noggranna måluppdateringar. Konceptet ställer också höga krav på både granaternas och den spanande plattformens navigeringssystem, eftersom absoluta målkoordinater anges i stället för det relativa målläge som erhålls från en egen sensor.

Begränsad/ingen möjlighet till positionsuppdatering

Ett tredje systemalternativ är artillerigranater med målsökare men utan kommunikationslänk. Det finns då ingen möjlighet till positionsuppdatering i banfasen. Frågan är då hur långa skjutavstånd man kan klara utan att målprediktionen blir alltför osäker. Detta är naturligtvis starkt beroende på om fienden observerar hotet och försöker manövrera för att undgå träff.

Situationen utan positionsuppdatering uppstår också med kommunicerande granater ifall nätverket degraderas, t.ex. ifall spanings-UAVn blir bekämpad.

3 SIMULERINGSVERKTYGET ISIS

ISIS har primärt utvecklats för projektet Samverkande Robotar i Nätverk [4], där målsättningen har varit 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 algoritm- och modellutveckling, som med relativt enkla medel kan anpassas även till andra simuleringsverktyg.

Nedan följer en kort beskrivning av ISIS och de modeller som har implementerats tidigare, samt en utförligare beskrivning av de modeller som har utvecklats för den verksamhet som beskrivs i rapporten. En utförligare beskrivning av simuleringsverktyget återfinns i [5].

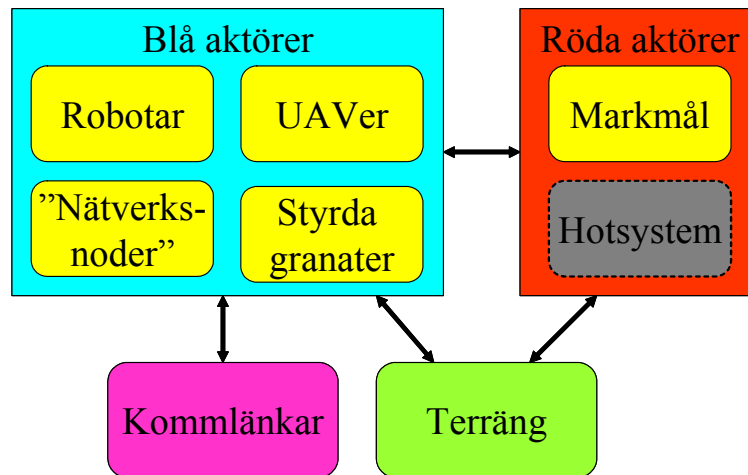
3.1 Simuleringsverktygets egenskaper i stort

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.

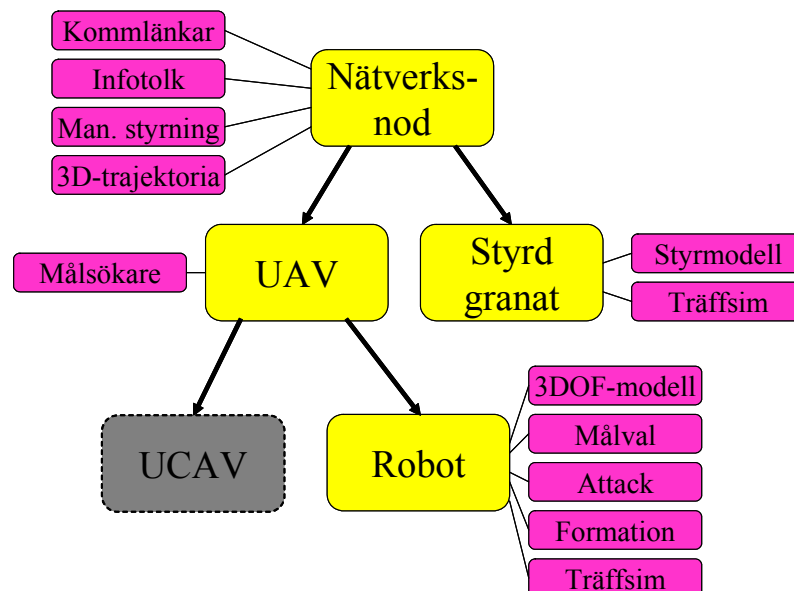
Hotsystem, som är under utveckling, kommer i ett första skede att utgöras av luftvärnshot, men kommer sedan att också omfatta telekrigshot.



Figur 3.1 Aktörer som har modellerats i ISIS. Nätverksnoder är en generell klass av aktörer med modeller för kommunikationslänkar och informationsfusion. Hotsystem är under utveckling.

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

"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, UAVer, UCAVar, Artillerigranater, Eldenheter och Ledningsenheter, men fler typer av aktörer kan relativt enkelt definieras när simuleringarna så kräver.



Figur 3.2 Nätverksnod med underklasser, samt de modeller som hör till respektive aktör. Egenskaperna hos Nätverksnod ärvt av dess underklasser.

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.

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 vapen-, sensor- eller ledningssystem. Resultatet från en interaktiv simulering kan, precis som för en batchsimulering, studeras i efterhand.

3.2 Modeller implementerade i ISIS

De flesta modeller som idag finns i ISIS är primärt utvecklade för projektet Samverkande Robotar i Nätverk, men de har ändå implementerats på ett sätt som gör det enkelt att anpassa och utnyttja dem för andra typer av system, och flera av dem har också kommit till nytta i detta projekt. Modellerna har tidigare dokumenterats i [5], men de som är aktuella i denna tillämpning beskrivs översiktligt här.

För det simuleringsproblem som presenteras i denna rapport har två nya simuleringsmodeller utvecklats, en modell för en artillerigranat och en modell för en ledningsenhet. Vidare har kommunikationsmodellen utvecklats till att också hantera enkelriktat samband och tidsfördröjningar. De nya modellerna beskrivs därför lite utförligare.

3.2.1 Terräng

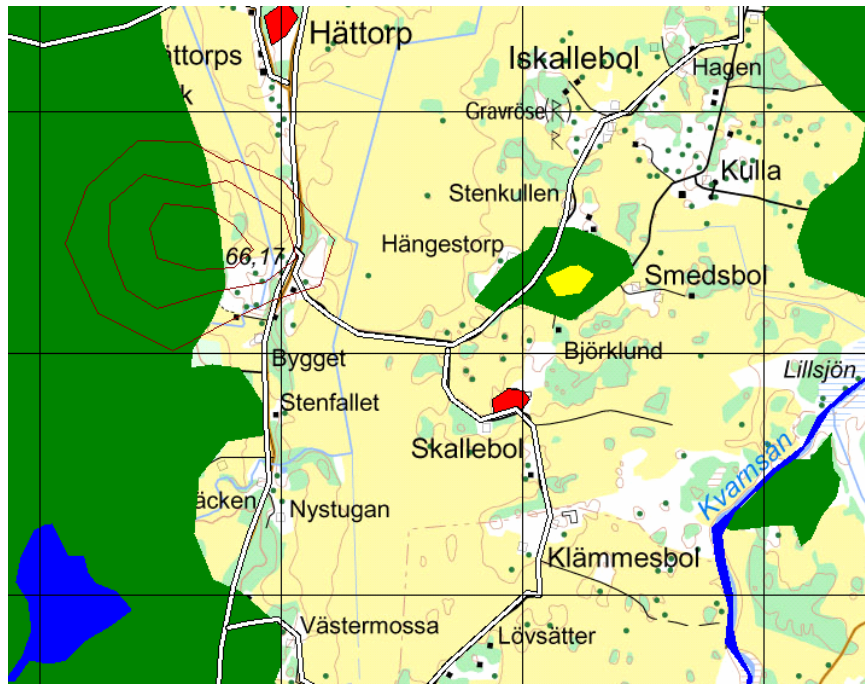
Behovet av en terrängmodell är ofrånkomligt. Terrängfaktorer är viktiga när robotarnas interaktion med markmålen simuleras. För de frågeställningar som är aktuella behövs emellertid inte någon modell av verkliga terrängavsnitt med hög upplösning. I princip räcker det med en förenklad omvärld, där endast 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. Utifrån de definierade terrängobjekten genereras en terrängmatris med önskad upplösning, där höjdinformation och terrängtyp i varje punkt lagras. Denna terrängmatris utnyttjas sedan vid simuleringen för att förse modellerna med terränginformation.

Det är möjligt att utnyttja en kartbild som mall vid genereringen, som också kan utnyttjas i simuleringsmenyer. I detta fall utnyttjas ett kartblad från Kvarns skjutfält, där de delar av terrängen som simuleringsmodellerna behöver interagera med har överlagrats.



Figur 3.3 Kartbild från Kvarns skjutfält med överlagrad terränginformation.

3.2.2 Målsökare

Hittills har det inte funnits behov av en modell som nära återspeglar beteendet hos en verklig sensor hos UAVer och robotar. Den behöver endast kunna ge indata till andra algoritmer och modeller som i viss mån motsvarar de variationer som en riktig sensor ger. Modelleringen har skett på en konceptuell nivå, baserat på fysikaliska principer.

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.

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

3.2.3 Målsimulering

Den kanske viktigaste omvärldsfaktorn vid simulering av precisionsvapen är ett realistiskt måluppträdande att interagera emot. De måltyper som är implementerade är Stridsvagn, Stridsfordon, Artilleri och Luftvärn, men listan kan enkelt utvidgas till fler typer.

Målen modelleras som enkla ”punktmodeller”, vilket har visat sig tillräckligt i dagsläget för att beskriva målens rörelse. ISIS arkitektur medför dock inga begränsningar på hur avancerat ett mål kan modelleras. Till varje mål skapas också 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.

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.

Att manuellt styra de enskilda målen kräver dock en hel del arbete, speciellt 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. ISIS erbjuder en möjlighet att utnyttja expertsystem för att implementera kunskapsmodeller, se vidare avsnitt 3.2.8.

3.2.4 Kommunikationslänkar

Centralt i simuleringsmiljön är modeller för kommunikationslänkar mellan de enskilda aktörerna. För de frågeställningar som är intressanta 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.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Insatsledning		0.05						0.10
2. Artrakbat	0.05							
3. SökuAV								0.10
4. Artgranat		0.10						
5. Artgranat		0.10						
6. Artgranat		0.10						
7. Artgranat		0.10						
8. LänkUAV	0.10		0.10					

	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Insatsledning		0.05	0.20					0.10
2. Artrakbat	0.05		0.25					0.15
3. SökuAV	0.20	0.25						0.10
4. Artgranat	0.15	0.10	0.35					0.25
5. Artgranat	0.15	0.10	0.35					0.25
6. Artgranat	0.15	0.10	0.35					0.25
7. Artgranat	0.15	0.10	0.35					0.25
8. LänkUAV	0.10	0.15	0.10					

Figur 3.4 Direkt respektive indirekt informationsutbyte. Grön färg innebär etablerad länk, och det numeriska värdet anger tidsfördröjning.

Principen för kommunikationsmodellen är att den inte ”skyfflar” data mellan aktörerna. Den beräknar endast tidpunkten när aktörerna hade kontakt med varandra, vilken bandbredd de då hade möjlighet att kommunicera med, samt med vilken tidsfördröjning transmissionen kan ske. 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.

ISIS innehåller sedan tidigare två 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 nätverksbaserat försvar (NBF), när eventuella fördröjningar är utan betydelse för den aktuella problemställningen.

Den andra länktypen benämns ”laserkommunikationslänkar”, och utnyttjats framför allt för informationsutbyte mellan flygande plattformar – robotar och UAVer. Den 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 angivna räckvidden.

För detta projekt har en tredje länktyp utvecklats som vi benämner radiokommunikationslänk”. De två andra länkprinciperna medför alltid duplexkommunikation 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. En vidareutveckling av radiolänken kommer också att innehålla en modell för bandbreddsbegränsning.

Modellen för radiokommunikationslänkar innehåller också en räckviddsbegränsning. I dagsläget är denna satt till ett fast värde (valbart som parameter), men kommer att vidareutvecklas med sannolikhetsfunktioner som antagligen påverkas av ett antal olika faktorer, och som ger en variabel bandbredd beroende på avstånd, terräng, väder m.m.

Tidsfördröjningen modelleras idag som en fast tid (valbar parameter) för varje länktyp, som framför allt innefattar tid för signal- och informationsbehandling i varje nod. Tidsfördröjningar adderas sedan när information måste reläas mellan flera aktörer.

Idag finns ingen modell för aktiv störning av kommunikationslänkarna. Detta är dock av intresse när robustheten hos ett nätverkssystem 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.

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

3.2.5 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, som var och en är en punkt i kartans plan mot vilken aktören rör sig. Till varje nodpunkt kopplas en aktion som anger hur aktören skall uppträda på vägen fram till denna nodpunkt – t.ex. flyghöjd (om det är en flygande plattform) och fart.

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

3.2.6 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 3.2.2, 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.

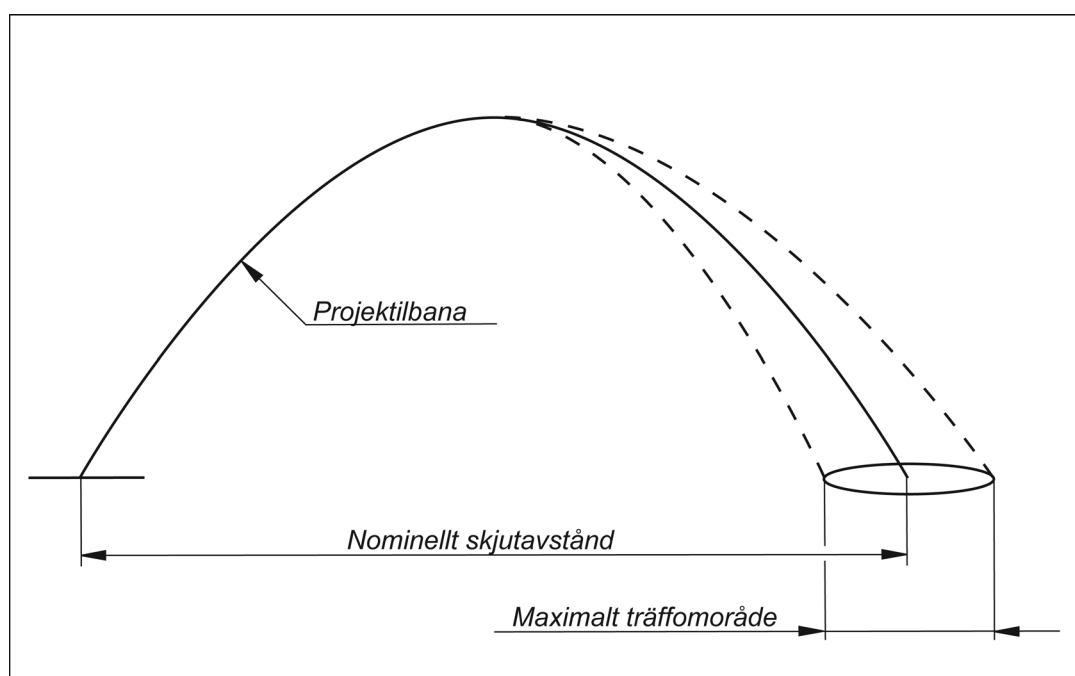
3.2.7 Modell för styrd ballistisk ammunition

För att kunna genomföra studien med nätverkstyrd precisionsammunition har en modell av styrd ballistisk ammunition tagits fram.

Ammunitionen är modellerad att gå enligt en ballistisk bana mot ett nominellt målläge. Som en första prototyp är ammunitionsmodellen modellerad som en ballistisk bana i vakuum. Det innebär att varken skjuttider eller banprofiler är representativa för ett verkligt skjutfall. Fördelen är dock att utifrån ett givet skjutavstånd kan en banprofil beräknas analytiskt, vilket drastiskt har minskat modelleringsarbetet. Om luftmotståndet skall tas med i modelleringen, måste tabeller tas fram för givna skjutavstånd, vilket inte är svårt men tidsödande.

Måttliga justeringar av träffpunkten kan genomföras inom ett cirkulärt område kring den nominella nedslagspunkten. Styrning av ammunitionen kan först börja då den nått sin högsta höjd, dvs. efter halva skjutsträckan. Se figur 3.5

Modellen parametersätts genom att ge en maximal skjutsträcka och en maximal radie inom vilken träffpunkten kan förflytta sig.



Figur 3.5 Principskiss över styrd ballistisk ammunition.

Den förenklade konceptuella modellen torde trots sina begränsningar vara tillräcklig för simuleringar på en högre systemnivå, där faktorer som kommunikation, ledningsfunktion, fiendens taktikanpassning m.m. påverkar verkanssystemens prestanda. Det är dock ingenting i ISIS arkitektur som hindrar att en ny, mer realistisk modell, som t.ex. tar hänsyn till luftmotstånd eller stokastisk spridning, implementeras, om detta visar sig vara nödvändigt för framtida simuleringar.

3.2.8 Modell för ledningsnod

Modellen för ledningsnoden skall simulera mänskligt beslutsfattande i aktuella typsituationer, och behöver därför innehålla en rad olika regler för att kunna hantera de fall som kan uppstå. I dagsläget, då endast ett demonstrationsscenario har simulerats, är dessa regler relativt triviala.

När fiendliga, bekämpningsvärda mål observeras av den spanande UAVn, skickar ledningsnoden en order till artilleriförbandets eldenhet om insats och en order om uppdatering av målposition till UAVn.

En vidareutveckling av modellen innebär att ledningsnoden också skall styra UAV-spaningen, ge spaningsorder baserad på underrättelser, ge order om målföljning under insats och träffutvärdering (BDA) efter insats, prioritera mellan flera insatssystem, upprätta tillräckligt bra kommunikationslänkar, osv. Antalet regler växer snabbt när komplexiteten ökar, vilket leder till stora svårigheter att implementera och verifiera modellen.

ISIS erbjuder en möjlighet att på ett strukturerat sätt 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, som ledningsnoden i detta fall, och för att ge de fiendliga mål och hotsystem ett reaktivt uppträdande, dvs. att de anpassar sitt beteende efter de blå aktörernas agerande.

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.

Expertsystemsstödet i ISIS är en anpassning av verktyget REX [6, 7], som utvecklades på FOA 1995-96 inom ramen för projektet Framtida torpeder och AU-vapen. Det kommer att användas i det fortsatta arbetet med modellen för ledningsnoden.

4 SIMULERING AV TYPSSITUATION, RESULTAT OCH FÖRSLAG PÅ VIDAREUTVECKLING

Den i kapitel 2 beskrivna typsituationen har implementerats i ISIS. Hittills har dock endast en demonstrationssimulering genomförts, men vi skall i detta kapitel visa vilka resultat framtida simuleringar förväntas ge, och vilka krav på vidareutveckling av modeller och verktyg dessa ställer. Vi börjar med att titta på demonstrationssimuleringen och visar på ett urval av den information som ISIS kan ge. Scenariot som sådant beskrevs i kapitel 2.3, varför vi här endast tittar på simuleringstekniska detaljer.

4.1 Demonstrationssimulering

Aktörer i det simulerade scenariot är (jfr. Figur 2.2 på sidan 11):

Ledningsnod – Fast grupperad vid Olivenhult.

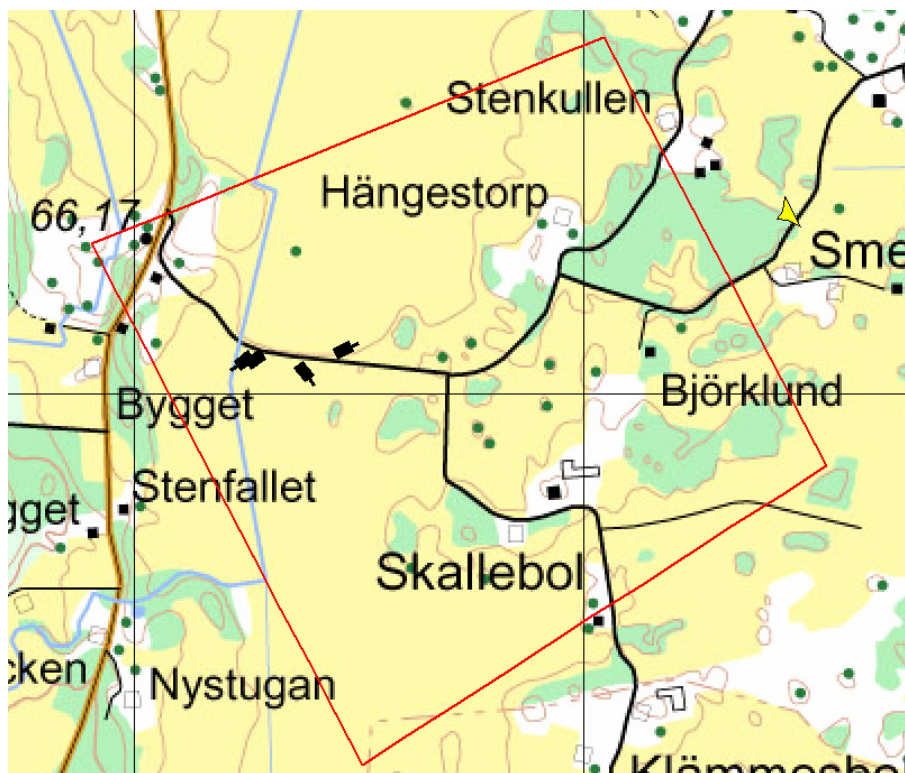
Spanings-UAV – utgår från ledningsplats, spanar över angivet målområde.

Sambands-UAV – utgår från ledningsplats, reläer information från spanings-UAV till ledningsnod.

Eldenhhet – Grupperad öster om Lickasjön, avfyrar artillerigranater.

Artillerigranater (20 st.) – Kopplade till eldenhet - egna aktörer i simuleringen efter avfyrning.

Vi tittar på situationen då den spanande UAVn upptäcker de fientliga stridsvagnarna som befinner sig på marsch längs vägen mot Hättorp (Figur 4.1). UAVn kommunicerar mållägen till ledningsnoden, som omedelbart skickar insatsorder till eldenheten, vilken i sin tur skickar iväg artillerigranater mot målen. Fienden observerar emellertid UAVn och misstänker, med kännedom om våra system, indirekt eldinsats, varför de genast försöker manövrera bort från vägen och sätta sig i skydd.



Figur 4.1 Spanande UAV låser på målen. Fienden manövrerar för att undgå bekämpning.

Figur 4.2 nedan, högra diagrammet, visar aktuellt kommunikationsnätverk i situationen. Vi ser att artillerigranater 1-4 kan ta emot information från UAVn (cirkeln visar detta för första granaten) men med den tidsfördröjning som anges i respektive ruta. Tidsfördröjningen beror på att informationen länkas från spanings-UAV via relä-UAV, ledningsnod och eldenhet innan den når fram till granaterna. Signalvägen kan utläsas ur det vänstra diagrammet.

Länkstatus - direkt samband								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Insatsledning		0.05						0.10
2. Artkrabat	0.05	3						
3. SökUAV								0.10
4. Artgranat		0.10	4					
5. Artgranat		0.10						
6. Artgranat		0.10						
7. Artgranat		0.10						
8. LänkUAV	0.10		0.10	1				

Nätstatus - indirekt samband								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Insatsledning		0.05	0.20					0.10
2. Artkrabat	0.05		0.25					0.15
3. SökUAV	0.20	0.25						0.10
4. Artgranat	0.15	0.10	0.35					0.25
5. Artgranat	0.15	0.10	0.35					0.25
6. Artgranat	0.15	0.10	0.35					0.25
7. Artgranat	0.15	0.10	0.35					0.25
8. LänkUAV	0.10	0.15	0.10					

Figur 4.2 Artillerigranater får måluppdatering från spanande UAV via relä-UAV, insatsledning och eldenhet (första granaten markerad).

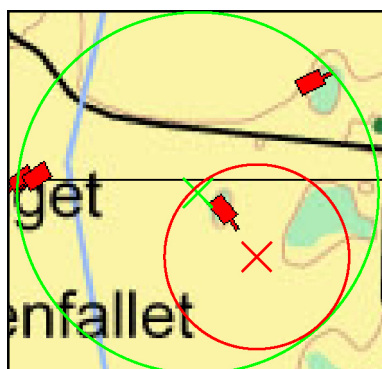
När granaterna närmar sig målområdet får de möjlighet att kommunicera direkt med den spanande UAVn. Kommunikationsdiagrammen förändras då enligt Figur 4.3, och tidsfördröjningen blir också avsevärt mindre.

Länkstatus - direkt samband								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Insatsledning		0.05						0.10
2. Artkrabat	0.05							
3. SökUAV								0.10
4. Artgranat		0.10	0.10					
5. Artgranat		0.10	0.10					
6. Artgranat		0.10	0.10					
7. Artgranat		0.10	0.10					
8. LänkUAV	0.10		0.10					

Nätstatus - indirekt samband								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Insatsledning		0.05	0.20					0.10
2. Artkrabat	0.05		0.25					0.15
3. SökUAV	0.20	0.25						0.10
4. Artgranat	0.15	0.10	0.10					0.20
5. Artgranat	0.15	0.10	0.10					0.20
6. Artgranat	0.15	0.10	0.10					0.20
7. Artgranat	0.15	0.10	0.10					0.20
8. LänkUAV	0.10	0.15	0.10					

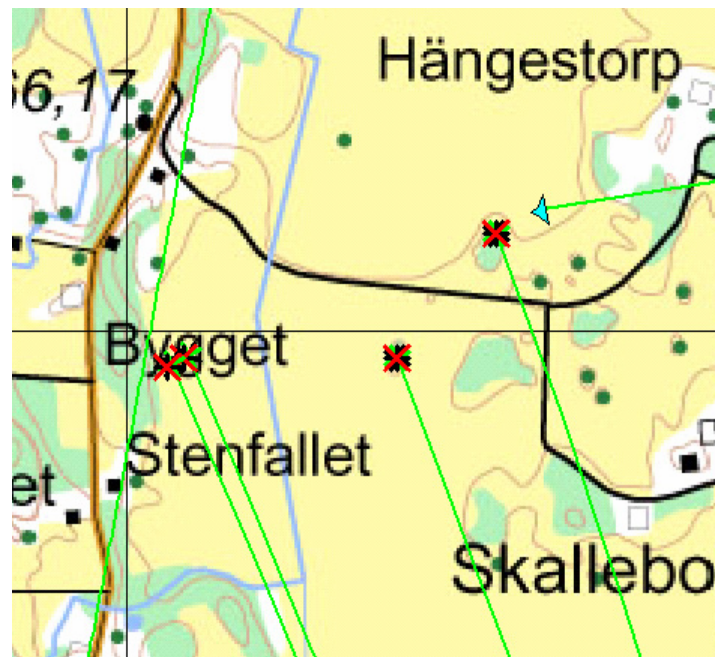
Figur 4.3 Artillerigranaterna får måluppdatering direkt från spanande UAV (första granaten markerad).

Artillerigranaterna styr mot senast angivet målläge, eller rättare sagt ett predikterat målläge i träffögonblicket baserat på senaste informationen. Figur 4.4 visar inom vilket område granaten har möjlighet att styra, ett område som krymper efterhand som den närmar sig sin nedslagspunkt. Så länge målet inte hinner utanför detta område, och granaten fortlöpande förses med aktuella mållägen, kommer den att träffa.



Figur 4.4 Bilden visar målet sett från granaten. Det gröna krysset representerar det ursprungliga predikterade målläget och den gröna cirkeln omsluter alla de punkter som granaten kan nå när den börjar styra. Det röda krysset representerar aktuellt målläge och den röda cirkeln omsluter de punkter som granaten kan nå vid aktuell tidpunkt.

I detta fall, när kommunikationen mellan UAV och artillerigranater fungerar felfritt, träffar samtliga granater sina mål (Figur 4.5).



Figur 4.5 De fyra artillerigranaterna slår ut sina respektive mål.

4.2 Tidsfördröjningens betydelse för utfallet

I demonstrationsscenariot är tidsfördröjningen i mållägesuppdateringen mycket kort, och artillerigranaterna får därför en mycket bra invisning. Dessutom är de försedda med en egen målsökare, vilket gör att de inte har några problem att träffa sina mål med en hyfsat god invisning. Modifierar vi granaterna så att de enbart är GPS-styrda, utan egen målsökare, blir mållägesuppdateringen kritisk. Frågan är då hur stor tidsfördröjning i kommunikationen som tolereras utan att bomavståndet blir för stort. Bomavståndet beror också på målens möjlighet att manövrera. Om dessa fortsätter på rakbana, eller följer en väg, kan granaten prediktera träffpunkten med hög noggrannhet även utan mållägesuppdatering, men om de slumpmässigt väljer ny riktning blir läget svårpredikerat.

Analytiskt går det naturligtvis att beräkna bomavstånd för ett antal olika typfall för att bestämma tidsfördröjningens inverkan för en enskild vapeninsats. Den totala systemeffekten och de taktiska konsekvenserna beror dock på flera faktorer, bl.a. taktikanpassning hos egna och fiendliga förband. En Monte Carlo-simulering med ett stort antal alternativa typsituationer och måluppträdanden kan därför behövas för att besvara frågan om en enbart GPS-styrd artillerigranat är ett möjligt vapen mot rörliga mål. Simuleringarna bör också kunna visa vilka krav ett sådant system ställer på nätverket. Behöver informationen överföras direkt mellan spanings- och verkansplattform, eller kan indirekta sambandslänkar utnyttjas?

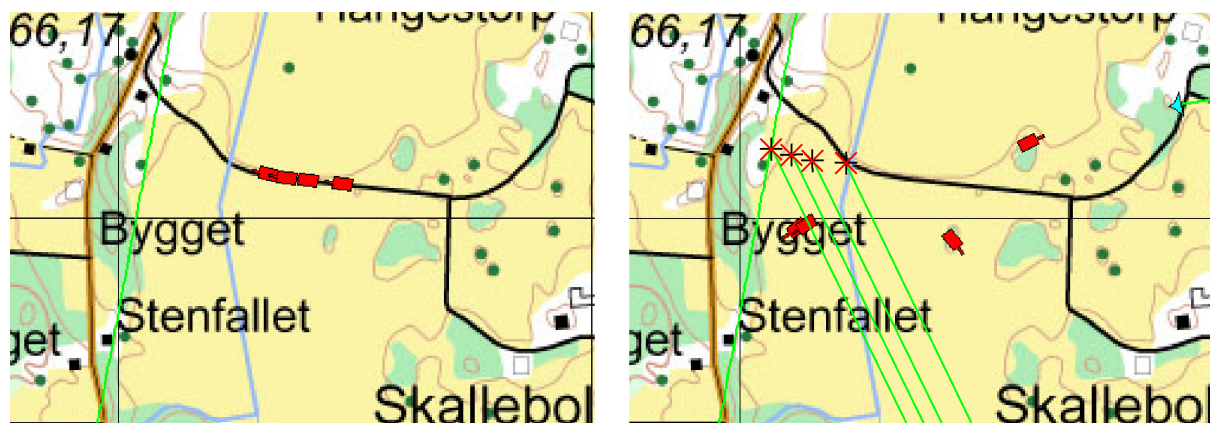
För dessa simuleringar behöver kommunikationsmodellen vidareutvecklas med relevanta parametrar för tidsfördröjning för de aktuella länksystemen. Denna tidsfördröjning skall också ta hänsyn till signalbehandling i respektive nod, vilket gör att prestanda för framtida nätverkslösningar kan vara svåra att parametersätta.

Målangivelsens noggrannhet är också starkt beroende av navigeringssystemens prestanda hos såväl spanings- och som verkansdelar. Modeller för dessa behöver därför implementeras. Vill man i simuleringarna också ta hänsyn till fiendens möjligheter att störa GPS-signalerna måste även störningsmodeller utvecklas.

Fiendens beteende behöver också modelleras så att dessa kan reagera på ett relevant sätt beroende på sin omvärldsinformation. Detta görs lämpligen med hjälp av expertsystemstödet i ISIS, se avsnitt 3.2.8.

4.3 Robusthet hos nätverket

I demonstrationssimuleringen används endast ett fåtal länkalternativ för informationsöverföringen. I ett utbyggt nätverksförsvar förväntar man sig emellertid att det finns flera alternativa signalvägar för att åstadkomma ett robust informationsutbyte mellan aktörerna. En implementering av ytterligare länkalternativ i situationen, gör det möjligt att simulera effekten av störning eller bortfall av delar av nätverket. I sådana simuleringar söker man svar på vilka dimensioneringskrav man bör ställa på nätverket.



Figur 4.6 UAVns radiolänk är utstörd - ingen positionsuppdatering till granaterna efter avfyrning, som därför missar sina mål. Granaternas träffpunkt beräknas utifrån målens predikterade läge.

Dessa simuleringar ställer än högre krav på länkmodeller och deras interaktion. För relevanta resultat bör man också modellera sådana aspekter som dynamisk omkonfigurering av nätverket, vilket också innebär modeller för mänskligt beslutsfattande i nätverksfrågor.

För att resultatet inte skall innebära en suboptimering av nätverket för en specifik situation bör analysen omfatta stora variationer av typsituationer, och helst bör ett flertal spanings- och insatssystem modelleras.

4.4 Systemjämförelser

I spelkortet för artillerigranaten (kapitel 2.2) skissas på tre alternativ, granater med eller utan målsökare och med eller utan radiolänk. Genom att simulera olika nätverkskonstellationer och alternativa beteenden hos fienden, inklusive störåtgärder, kan en jämförelse mellan olika systemalternativ göras. Systemprestanda kan sedan vägas mot kostnaden för de olika alternativen.

Med implementering av modeller för flera olika insatssystem, t.ex. robotar eller UCAV-system, kan fler systemjämförelser göras. Det är också möjligt att simulera effekter av kombinationer av flera system, för att se om det finns situationer där dessa kombinationer är bättre än de enskilda systemen.

Flera olika insatssystem, kanske i kombination med olika spaningssystem, ställer höga krav på modellen för ledningsnoden, så att den kan hantera komplexa insatsbeslut.

5 REFERENSER

-
- 1 *Precisionsvapen i NBF, Slutrapport 2003-05*, FOI-RH--0470--SE, december 2005.
 - 2 Brämning P., *Precisionsvapen i NBF: Spelkortsunderlag - preliminär version*, FOI-R--0935--SE, 2003.
 - 3 Sparf M., *Krigsspel för utvärdering av precisionsvapensystemkoncept*, FOI-RH--0362--SE, november 2004
 - 4 Alvå P., Andersson F., Hagström M., Pelo J., Wallström D., Wirkander S-L., Ögren P., *Samverkande Robotar i Nätverk Slutrapport*, FOI-R--1826--SE, november 2005
 - 5 Alvå P., Boberg B., Forssell L., Johansson J. O., Pelo J., Wallström D., *Samverkande Robotar i Nätverk, Presentation av simuleringsverktyget ISIS*, FOI-R--1674--SE, juni 2005
 - 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