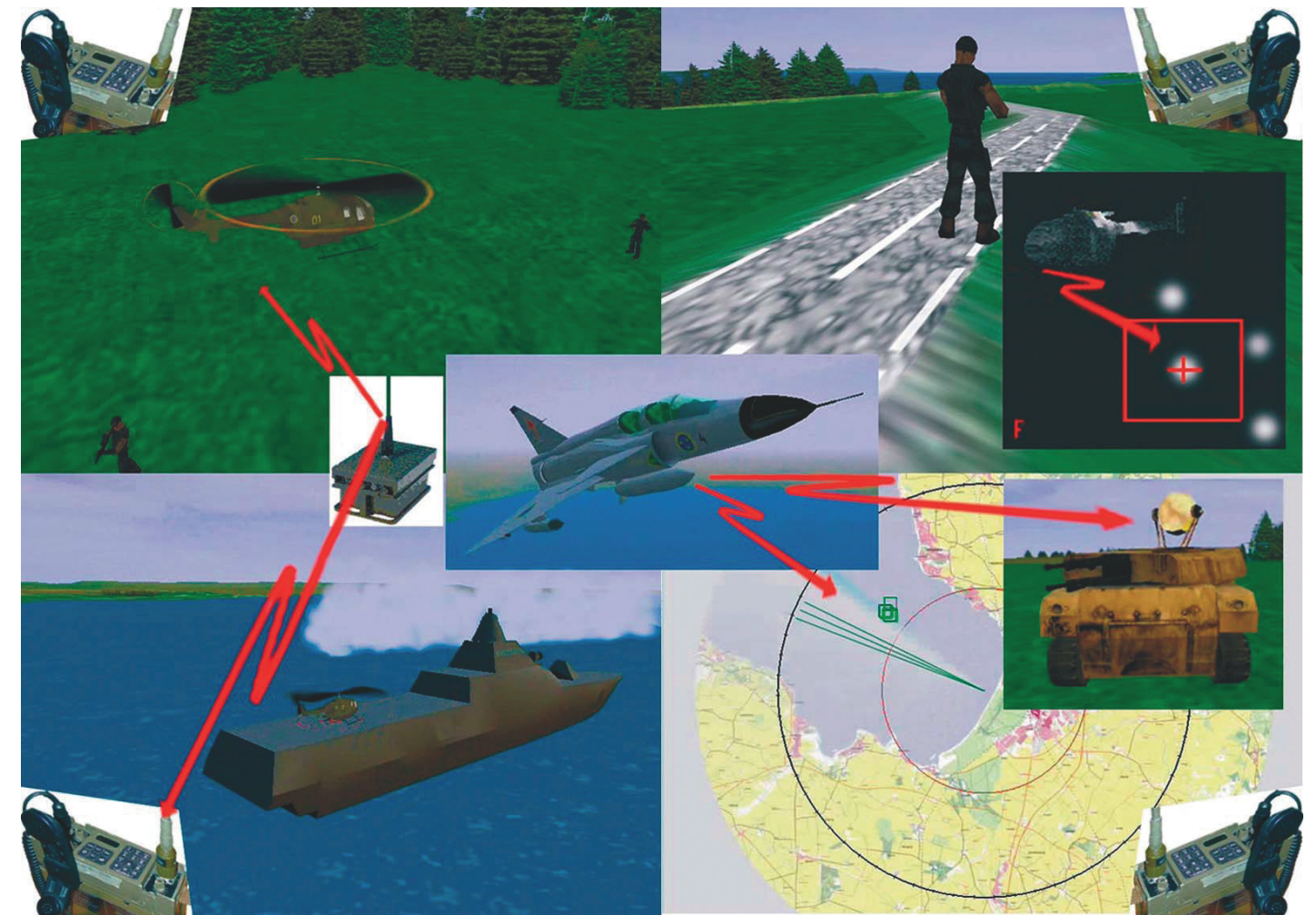


LARS TYDÉN, HANNA ANDERSSON, NICLAS APPLEBY,
JOAKIM BERGMAN, LEIF FESTIN, DANIEL HAAVISTO,
CARL HEDBERG, SEBASTIAN OLSSON, MIKAEL PETERSSON,
MORGAN NORDIN, PÄR SVENSSON, CHRISTER WIGREN



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.

Slutrapport Duellsimulering Telekrig

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1775--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 6. Telekrig och vilseledning	
	Månad, år November 2005	Projektnummer E7015
	Delområde 61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Lars Tydén Carl Hedberg Hanna Andersson Morgan Nordin Niclas Appleby Sebastian Olsson Joakim Bergman Mikael Petersson Leif Festin Pär Svensson Daniel Haavisto Christer Wigren	Projektledare Lars Tydén	
	Godkänd av Martin Rantzer	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Lars Tydén	
Rapportens titel Slutrapport Duellsimulering Telekrig		
Sammanfattning (högst 200 ord) Detta dokument innehåller en beskrivning av verksamheten inom FoT-projektet Duellsimulering Telekrig från 2003 till 2005. Det är viktigt att ha kännedom om hur telekrigsförmågor (ES, EP, EA) kan utnyttjas både enskilt och kombinerat. En vanlig metod att utvärdera telekrig och dess användning på apparatnivå är simuleringar. Inom detta projekt har detta lyfts till att kunna simulera ett scenario i sin helhet. Projektet har tagit fram metodik samt omsatt denna i EWSim (Electronic Warfare Simulation interface model) där nu möjligheten finns att genomföra multispektral systemvärdering av telekrig. Att detta går visas i rapportens scenariekapitel där system samverkar multispektralt i simulerade scenarion. EWSim använder HLA för distribuerade telekrigssimuleringar och en lång rad med modeller har integrerats och nyutvecklats. Ramverket består av tre delar, en del för scenarioplanering och konfiguration där även räckviddsberäkningar kan utföras, en del för den dynamiska duellen där duellen utspelas med simulerad tid samt en utvärderingsdel som är under utveckling där dueller kan återuppspelas och loggade data analyseras. EWSim innehåller modeller för plattformar, motmedel, varnare, sensorer samt missiler med målsökare och rörelsemodeller. Med EWSim finns möjligheten att sätta upp scenarier för att värdera några mot några i enskilt användande eller som värderingsduell där man kan bilda lag som kan duellera mot varandra.		
Nyckelord Simulering, telekrig, elektrooptik (EO), radar, kommunikation, HLA, federation, fartyg, flyg, stridsfordon, EWSim		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 74 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1775--SE	Report type User report
	Programme Areas 6. Electronic Warfare and deceptive measures	
	Month year November 2005	Project no. E7015
	Subcategories 61 Electronic Warfare including Electromagnetic Weapons and Protection	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Lars Tydén Carl Hedberg Hanna Andersson Morgan Nordin Niclas Appleby Sebastian Olsson Joakim Bergman Mikael Petersson Leif Festin Pär Svensson Daniel Haavisto Christer Wigren	Project manager Lars Tydén	
	Approved by Martin Rantzer	
	Sponsoring agency FM	
	Scientifically and technically responsible Lars Tydén	
Report title (In translation) Final report Electronic Warfare Duel simulation		
Abstract (not more than 200 words) This document describes the work of the project Electronic Warfare Duel Simulation from the year 2003 to 2005. It is important to know how Electronic Warfare abilities can be used, by itself and together with others. A common method of evaluating Electronic Warfare on an object level is simulations. This project has made it possible to simulate an entire scenario. The project has developed the multispectral framework EWSim (Electronic Warfare Simulation interface model) for distributed electronic warfare simulations. A large number of models have been integrated and developed. The framework consists of three parts, one for scenario planning and configuration, where models are configured and where some range calculations can be made, one for dynamic duels, and finally one assessment module which is under development, where the duels can be replayed and logged data analyzed. EWSim has models of platforms, countermeasures, warners, sensors and missiles with target trackers and motion models. EWSim makes it possible to design scenarios which can assess the few against few duel, in a single user mode or in an assessment duel where teams have been built to compete against each other.		
Keywords Simulation, Electronic Warfare (EW), Electro-Optical (EO), HLA, Federation, Radar, Communication, EWSim		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 74 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehåll

1	INLEDNING	7
1.1	Projektbeskrivning	7
1.2	Bakgrund	7
1.3	Metod	8
1.4	Tidslinjal med genomförd verksamhet	9
1.5	Läsanvisning	10
2	EWSIM	11
2.1	Ramverk	12
2.1.1	HLA och MOSART	12
2.1.2	RPR FOM	12
2.1.3	Plattformer och HLA-objekt	13
2.1.4	EWSim-federation	14
2.2	Planerings- och scenarieeditor NetScene	16
2.2.1	Yttäckning	16
2.2.2	Scenarieeditering	19
2.2.3	Terrängdata	22
2.3	MOSART HLA Federation Manager	24
2.4	Dynamiskt Duellverktyg EWSim	25
2.4.1	Basklasser	26
2.5	Dynamiskt Duellverktyg EO Modeller	27
2.5.1	IRST	28
2.5.2	Optikspanare	29
2.5.3	UV-varnare	30
2.5.4	Laservarnare	31
2.5.5	Missil	31
2.5.6	Facklor	32
2.5.7	Rök	34
2.5.8	DIRCM	35
2.5.9	Optik	36
2.6	Dynamiskt Duellverktyg Radarmodeller	37
2.6.1	Spaningsradar	38
2.6.2	Eldledningsradar	39
2.6.3	Radarstörsändare	39
2.6.4	Radarvarnare	40
2.6.5	Remsor	40
2.6.6	Radaroperatör	40
2.7	Dynamiskt Duellverktyg Radiosystem	41
2.7.1	Allmänt om radiosystem	41
2.7.2	Radiosystem i EWSim	41
2.7.3	Allmänt om radiostörsystem	45
2.7.4	Radiostörsystem i EWSim	45
2.7.5	Vågutbredningsberäkningar	46
2.7.6	Kanaladministratör	47

2.8	Dynamiskt Duellverktyg Systemmodeller	48
2.8.1	VMS-logik	48
2.9	Loggningsverktyg, EWLogger	50
2.9.1	Filformat, objektlagring	50
2.9.2	Design	50
2.9.3	Framtida utbyggnad	50
3	EXEMPEL PÅ SIMULERADE SCENARIER	51
3.1	Scenarieomgång 1	51
3.1.1	Ingående entiteter	52
3.1.2	Scenario 1:1	52
3.1.3	Scenario 1:2	53
3.2	Scenarieomgång 2	54
3.2.1	Ingående entiteter	55
3.2.2	Scenario 2:1	55
3.2.3	Scenario 2:2	56
3.2.4	Scenario 2:3	57
3.2.5	Scenario 2:4	58
3.3	Scenarieomgång 3	60
3.3.1	Ingående entiteter	60
3.3.2	Scenario 3:1	61
3.3.3	Scenario 3:2	61
4	TILLÄMPNINGAR	62
4.1	Nuvarande tillämpningar	62
4.1.1	Datafusion i sensornätverk med fokus på telekrig	62
4.1.2	VMSSIM	63
4.1.3	Störning av multisensorsystem	64
4.1.4	VMS HKP LFT	65
4.1.5	VMS FTG LFT	65
4.1.6	TAAKII	66
4.1.7	TALISMAN	66
4.2	Planerade tillämpningar	67
5	DISKUSSION	68
6	FORTSATT ARBETE	70
7	SAMMANFATTNING	71
8	KUNSKAPSÖVERFÖRING OCH NYTTIGGÖRANDE	72
8.1	Konferensbidrag	72
8.2	Rapporter och Memon	72
9	REFERENSER	73

1 Inledning

Detta dokument innehåller en beskrivning av verksamheten inom projektet Duellsimulering Telekrig från 2003 till 2005. Projektet har bedrivits inom FoT 16. Merparten av arbetet inom projektet har genomförts med personal från institutionen för Telekrigvärdering inom FOI avdelningen för Ledningssystem.

1.1 Projektbeskrivning

Dagens försvar har begränsade resurser att utbilda förband i telekrigföring. Det är också svårt att vidareutveckla teknik och taktik eftersom antalet tillfällen för praktiska prov är begränsade. Med simuleringsverktyg kan bilden radikalt förändras. Verksamheten i detta projekt ämnar komma FM till nytta genom att:

- stötta utveckling och kravsättning på samverkande telekrigssystem.
- öka förståelse för nyttan av samverkande system.
- modeller kan användas till planeringsverktyg inför fältprov, övningar och vid internationella operationer.
- utbilda i telekrigföring på olika plan för framtida beredskap i konfliktsituationer.
- utveckla modeller som ger tillfälle att öva och utveckla telekrig där det annars inte är möjligt på grund av tid, sekretess eller personsäkerhet.

Huvudmålet för projektet har varit att ge möjligheter till att utreda hur den stridstekniska telekrigsduellen ser ut idag och i framtiden, samt hur man optimerar försvarets telekrigskapacitet genom samverkan av system inom optronik-, radar- och kommunikationsområdet, såväl för verkan som för skydd.

Syftet med EWSim är att tillhandahålla ett ramverk för multispektral systemvärdering av telekrig med möjlighet att köra scenarier med några mot några.

1.2 Bakgrund

I många militära operationer är kombinationer av radar- (RR) och elektrooptiska (EO) system som samverkar med hjälp av radiokommunikation en realitet. Med telekrig finns möjligheten att skaffa information om motståndarens medel och förmåga (ES, Elektronisk Stödverksamhet), skydda sig mot motståndarens vapen (EP, Elektronisk Protektion) och dessutom ha verkan (EA, Elektronisk Attack) och det är viktigt att ha kännedom om hur dessa förmågor kan utnyttjas både enskilt och tillsammans. En vanlig metod att utvärdera telekrig och dess användning är simuleringar. Att utveckla ett ramverk för simuleringar är ett omfattande arbete, och det är därför bra om ett sådant ramverk är flexibelt och fungerar för flera olika typer av plattformar i mark-, luft- och sjöfallet. Dessutom bör ramverket använda den vanligast förekommande simuleringsstandarden HLA¹ som gör det lättare att bli interoperabel med modeller utvecklade av andra.

När man simulerar ett scenario som innehåller EO, RR och kommunikation så har de olika våglängdsbanden olika krav på upplösning av geografiskt data. I klottriga EO-miljöer krävs detaljerade tredimensionella modeller av mål, bakgrund och motmedel om dessa ska simuleras på ett fysikaliskt riktigt sätt och inte enbart effektbaserat. Vågutbredning inom RR-området är mycket svårt samt tar mycket lång tid att beräkna om radarvågornas utbredning

¹ High Level Architecture, <https://www.dmsi.mil/public/transition/hla/>

ska simuleras i detalj. Däremot går det snabbt att göra frirymdsberäkningar som maskas av terrängen vilket är den metod som är vedertagen för att simulera motmedel och skyddsobjekt och ger för det mesta tillräckligt bra svar på om motmedlen fungerar. För länkberäkningar inom radiokommunikation används delar ur vågutbredningsberäkningspaketet DETVAG [DETVAG]. Beräkningarna är relativt detaljerade och tar med effekter av frekvens, antennhöjder, polarisation samt terräng- och höjddata med en upplösning på ca 50 m. För att på ett effektivt och riktigt sätt tillgodose alla modellers behov inom de nämnda våglängdområdena med syntetisk omvärldsbeskrivning och gemensam omvärldsuppfattning har en 3D-scengraf (en graf som beskriver 3D-omgivningen) integrerats i ramverket.

Resultat från simuleringar av telekrigsdueller kan fylla olika funktioner. En simulering med detaljerade modeller av bakgrund, mål och motmedelssystem ökar förståelsen för de tekniska detaljerna i scenariot. Ett exempel på system som innehåller mycket detaljerade modeller för att simulera EO-telekrigsdueller är OPTSIM [OPTSIM]. Nackdelen med att använda alltför detaljerade modeller är att simuleringarna blir beräkningskrävande och långsamma. En multispektral simulering kommer att ta mycket lång tid och är svår att både analysera samt simulera. Vill man ha ett statistiskt underlag från en mängd simuleringar, t ex för att kunna ta fram taktiska rekommendationer, är simuleringar med snabbare och enklare modeller att föredra framför detaljrikedom. När simuleringssmodeller tas fram vägs alltid snabbhet mot noggrannhet. Kan simuleringarna utföras i realtid kan de också användas för utbildning av personal som handhar militära plattformar med motmedel. Traditionellt sett har realtidskravet inte varit förenligt med användandet av bilder från 3D-modeller annat än för att visa upp resultatet, speciellt då det har rört sig om IR-modeller. De senaste åren har detta ändrats, och det är nu möjligt att konstruera den typen av simuleringssramverk. Möjligheten finns även att köpa färdiga produkter för att generera multispektral syntetisk omvärldsbeskrivning. Dessa saknar dock helt telekrig och man måste dessutom skriva på omfattande avtal om hur dessa ska användas. Detta projekt har valt att utveckla denna del själv, med hjälp av öppen källkod. Den öppna källkoden som finns tillgänglig idag erbjuder så pass mycket funktionalitet att detta är möjligt utan att ta allt för mycket tid i anspråk. Dessutom har ett forskningsprojekt som detta behov av att kunna modifiera funktionalitet och sprida resultat utan förbehåll från någon leverantör.

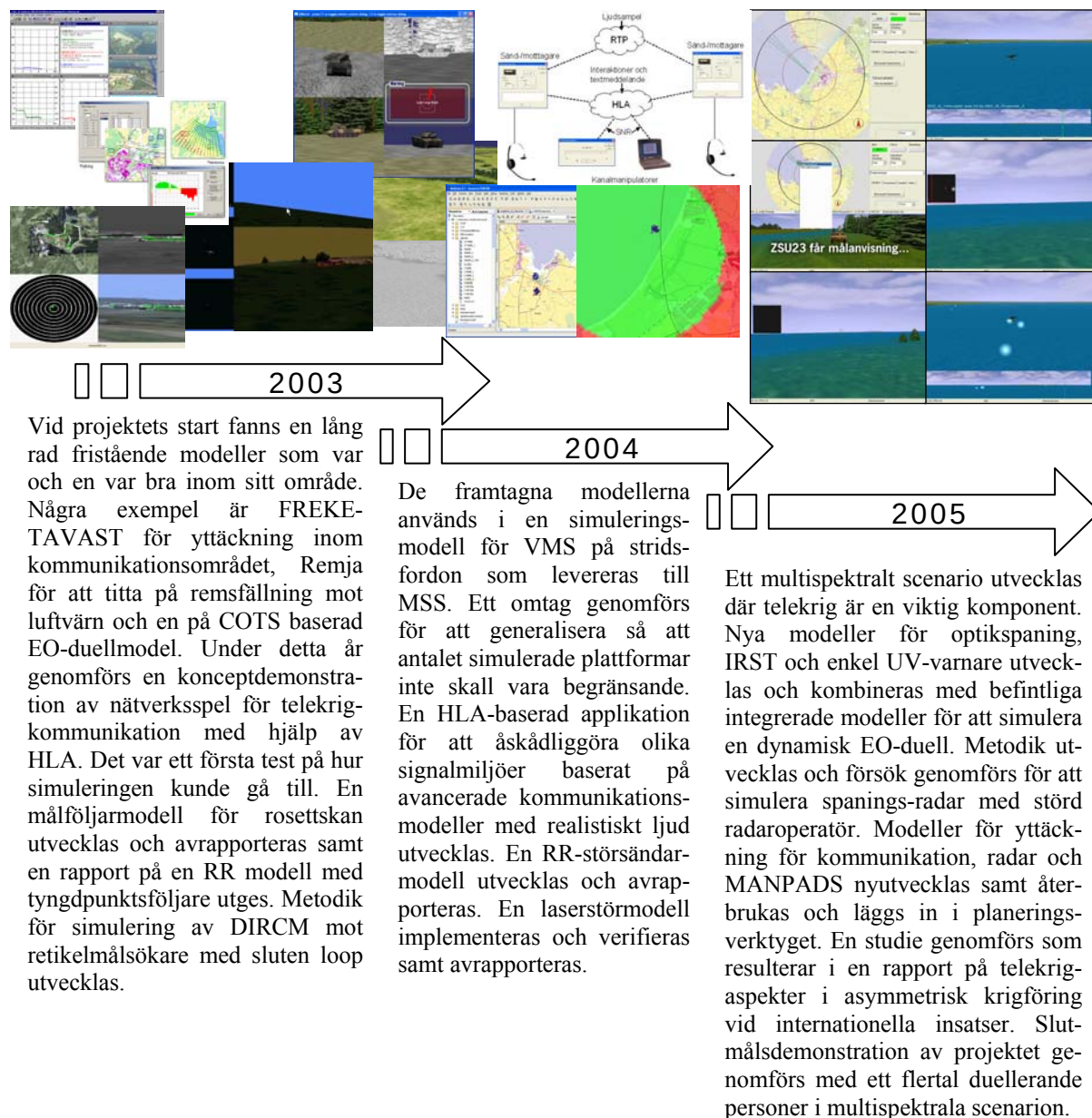
1.3 Metod

Projektet har utvecklat ramverket EWSim (Electronic Warfare Simulation interface model) för distribuerade telekrigssimuleringar till vilket en lång rad modeller integrerats och nyutvecklats. Ramverket består av tre delar; en del för scenarioplanering och konfiguration, NetScene, där modeller konfigureras och sätts samman och där räckviddsberäkningar kan utföras, en del där den dynamiska duellen i tiden utspelas, samt en utvärderingsdel under utveckling där dueller kan återuppspelas och loggade data analyseras. Till ramverkets dynamiska del har radar-, elektrooptiska och kommunikationsmodeller integrerats vilket sammantaget medger multispektral systemvärdering. EWSim innehåller modeller för plattformar, motmedel, varnare, sensorer samt missiler med målsökare och rörelsemodeller. EWSim använder HLA och OpenSceneGraph (OSG²) som är ett öppet källkodsprojekt. Inom detta projekt har EWSim-moduler för att kunna simulera telekrig vidareutvecklats och anpassats från tidigare modeller [EWSIM]. Dessutom har nyutvecklade moduler såsom spaningsradar, eldledningsradar, radarstörsändare, DIRCM, IRST, optikspaning och radio-, röst- och datakommunikation som kan störas tillkommit. EWSim kan köras som en instans, en s.k. federat, som kör ett flertal olika plattformar i ett scenario, eller som flera federater

² <http://www.openscenegraph.org/>

distribuerade på en eller flera datorer i ett nätverk vilka tillsammans kör ett scenario. Detta möjliggör både enskilt användande och värderingsspel med flera användare. Dessutom kan andra simulatorer sättas samman med EWSim i federationer så att t ex en specifik detaljerad stridsvagnssimulator eller live data lätt kan kombineras.

1.4 Tidslinjal med genomförd verksamhet



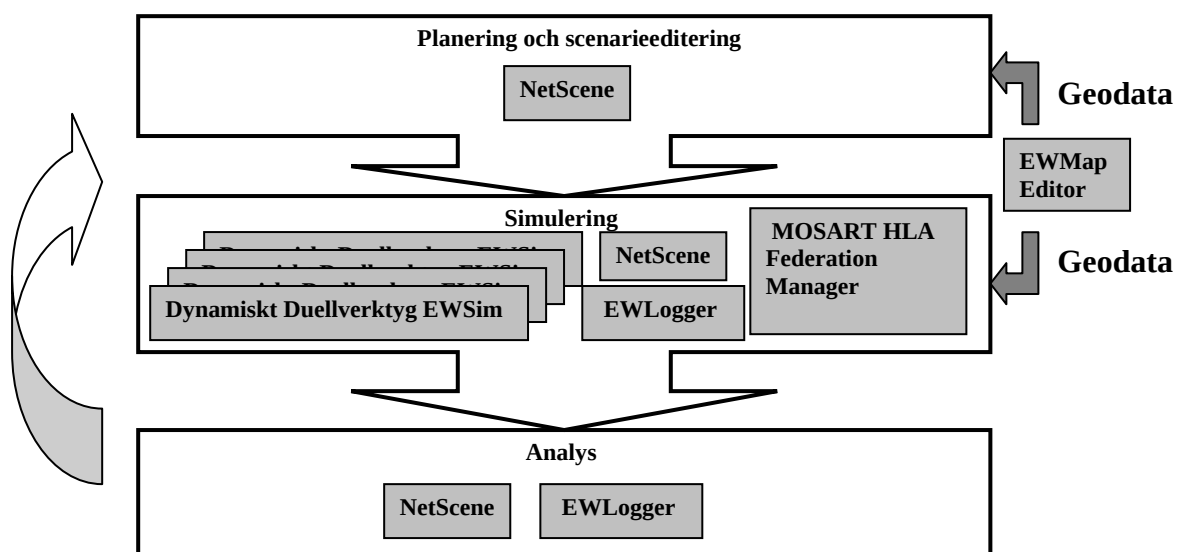
1.5 Läsanvisning

Rapporten beskriver den genomförda verksamheten och dess resultat där kapitel 2 som beskriver EWSim är förhållandevis detaljerat. Underrubrikerna i detta kapitel är inte avsedda för den som endast vill ha en överblick av vad EWSim är. Kapitel 3 visar på hur EWSim-modellerna kan användas i ett grundscenario som varierar i underkapitlen. I kapitel 4 redovisas ett flertal tillämpningar där modellerna använts. Detta kapitel kan ses som exempel på användningsområden under projektets gång. Därefter följer diskussion, fortsatt arbete, sammanfattning och kunskapsöverföringskapitel.

2 EWSim

I EWSim kan flera olika plattformar (t ex stridsvagnar och helikoptrar) konfigureras med olika komponenter (t ex sensorer och vapen) och simuleras distribuerat över ett nätverk. En simulering kan sägas bestå av tre skeden, planering och scenarieeditering, simulering samt analys.

EWSim är en HLA-baserad simuleringsmiljö som bygger på standarden RPR FOM (Real-time Platform-level Reference Federate Object Model) och består av en samling verktyg, Dynamiskt Duellverktyg EWSim, NetScene, MOSART HLA Federation Manager, EWLogger och EWMapEditor, se Figur 1.



Figur 1 De delar som ingår i EWSim.

NetScene används främst för planering och scenarieeditering. Där konfigureras i simuleringen ingående plattformar med önskade komponenter, samt att man bestämmer hur simuleringen ska distribueras över nätverket. Plattformarna placeras ut i den syntetiska terrängen och kan konfigureras med olika beteenden, t ex att följa en given bana. NetScene kan även utföra räckviddsberäkningar och siktanalyser för olika plattformar och komponenter för att underlätta planeringsarbetet.

Dynamiskt Duellverktyg EWSim är ett dynamiskt simuleringsverktyg som konfigureras av NetScene via HLA till en anpassad modul (federat, se avsnitt 2.1.1) för en eller flera plattformar/komponenter.

MOSART HLA Federation Manager är en simuleringskontrollfederat, som bl a hanterar start, stopp och paus av en simulering, samt distribuering av scenario till deltagande federater.

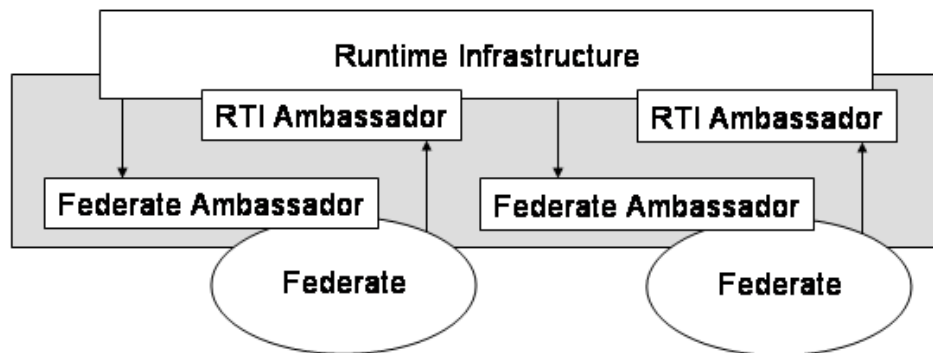
EWLogger är en loggningsfederat som spelar in simuleringen. En inspelad simulering kan sedan återmatas in i NetScene och spelas upp för utvärdering.

EWMapEditor är ett kartediteringsverktyg framtaget för att förse EWSim med syntetiska miljöer i både 2D och 3D, byggda på geografiskt data i standardformat.

2.1 Ramverk

2.1.1 HLA och MOSART

HLA är en standard för distribuerad simulering. Principen är att det finns en RTI (Run-Time Infrastructure) som är en central applikation som körs på en dator i ett nätverk. På samma dator eller andra datorer i nätverket kan sedan andra moduler som ska delta i en simulering exekveras. Dessa kallas federater. Federaterna kopplar upp sig mot RTI:n och bildar då vad som kallas en federation. Kommunikationen mellan en federat och RTI:n sker via API:er³ som kallas ambassadörer. För att alla i en federation ska veta vilka data som kan utbytas finns en FOM (Federation Object Model) som specificerar detta. Data som kan utbytas är av objekttyp (långlivade) eller interaktionstyp (kortlivade). Båda typerna kan innehålla attribut. För att utbyta objektdata används principen publicera/prenumerera.



Figur 2 Federation med anslutna federater.

I EWSim används MOSART [MOSART] för integration mot HLA. MOSART är ett projekt som primärt syftar till att underlätta integration av komponenter i större simuleringar och demonstratorer. I projektet byggs en modulär mjukvarumiljö upp, som tillhandahåller basfunktionalitet och möjliggör integration av egna och kommersiella mjukvaror. Mjukvaran för integration av moduler skall sänka tröskeln för att ta fram större simuleringar och demonstratorer. Detta uppnås genom att specificera krav på kunskaper om distribuerad simulering, HLA, har kunnat döljas för användaren.

MOSART tillhandahåller även funktionalitet utöver HLA kopplingen, såsom synkronisering och hantering av objekt och av attribut i RPR FOM:en, hantering av koordinattransformationer, scenariostyrda händelser som paus, play, återstart och avslut samt dödräkning på objekts positioner.

2.1.2 RPR FOM

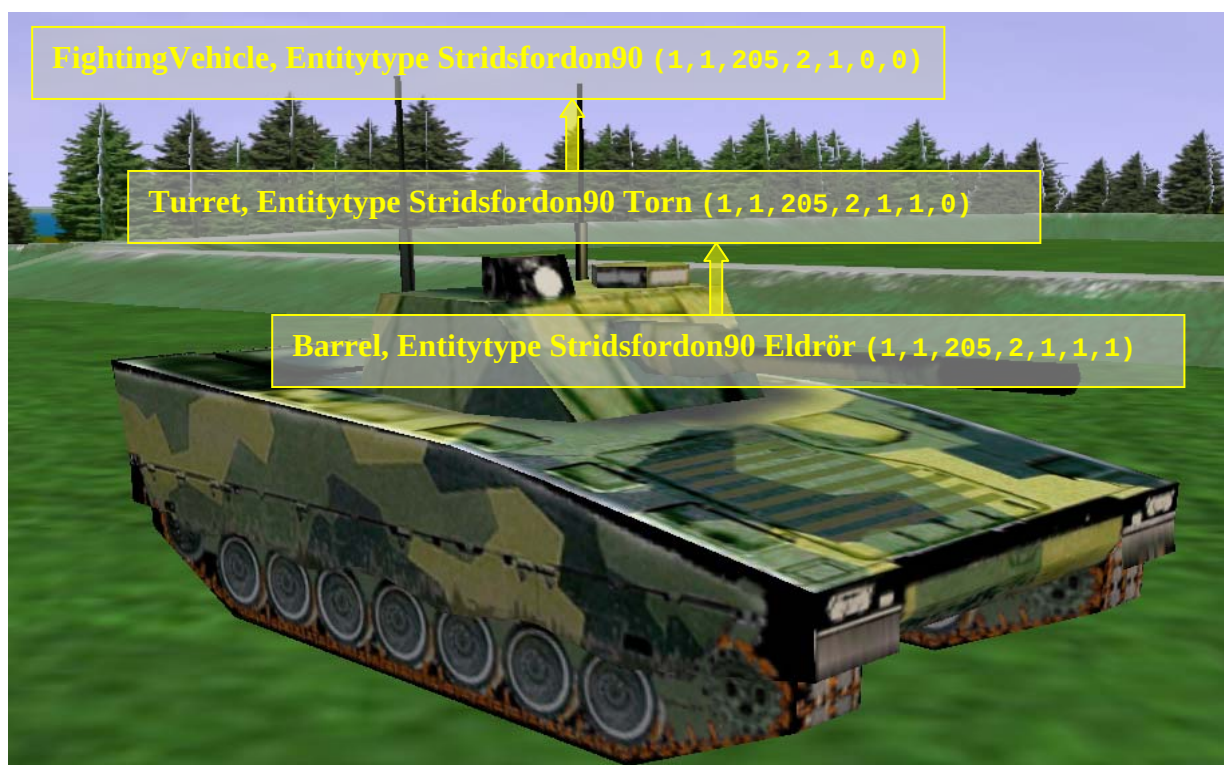
RPR FOM är en referens-FOM som definierar HLA-objekt och deras attribut samt interaktioner som är lämpliga för realtids- och plattformsbaserade simulatorer. En plattform är i detta avseende en fysisk enhet t ex flygplan, fartyg, soldat och ammunition. Varje plattform består av ett eller flera HLA-objekt, som är definierade i RPR FOM:en. EWSim använder sig av en

³ Application Program Interface - regler för hur fristående enheter kan kommunicera med en central del i programmeringssammanhang.

utökad version av RPR FOM, för att tillgodose behovet av HLA-objekt och interaktioner för specialiserade federater.

2.1.3 Plattformar och HLA-objekt

En plattform är samling av ett eller flera HLA-objekt som tillsammans representerar en specifik konfiguration av en enhetstyp. Varje HLA-objekt representeras av en HLA-klass i FOM:en t ex *GroundVehicle*, där attributet *EntityType* [ENTITY] som bygger på DIS-standard⁴ anger typen på objektet t ex Stridsfordon 9040. Objekten knyts samman med *IsPartOf*-attributet som anger objektets föräldrarelation (t ex tornet på stridsfordonet har stridsfordonet som förälder). Detta möjliggör att olika konfigurationer av t ex Stridsfordon 90 kan skapas samt att en plattforms olika delar kan simuleras distribuerat (t ex tornet på en federat och stridsfordonet på en annan).

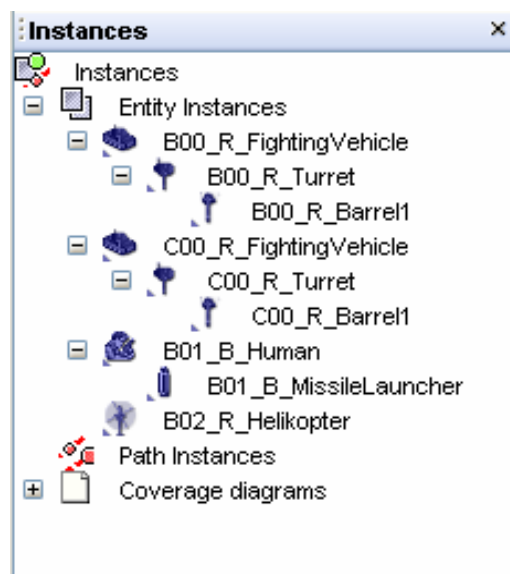


Figur 3 Exempel på en plattform. De gula rutorna visar HLA-objekten med *EntityType*, pilarna visar *IsPartOf*-förhållandet.

⁴ Distributed Interactive Simulation

2.1.4 EWSim-federation

I NetScene konfigureras plattformar och objekt.



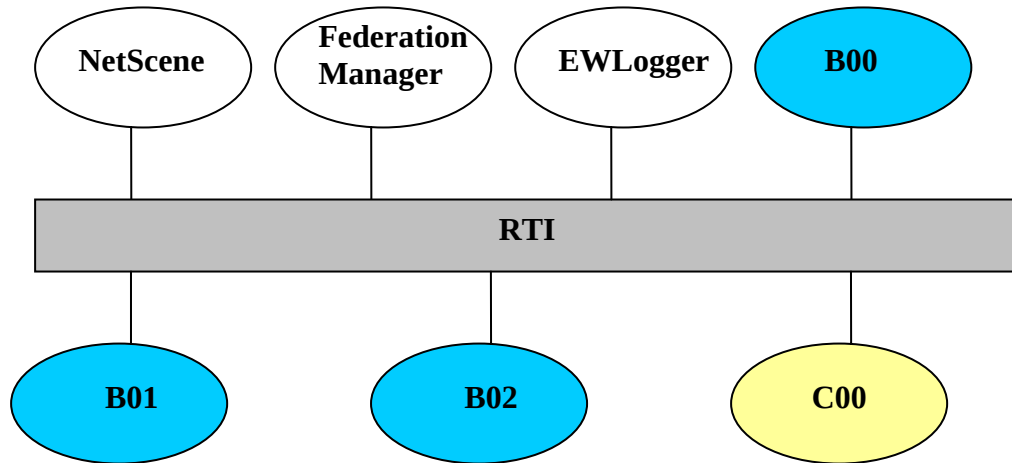
Figur 4 Instanssyn i NetScene, visar plattformarna och deras HLA-objekt.

Objektnamnet anger vilken federat som skall simulera objektet, vilken sida det tillhör samt dess namn: ex. *B00_R_FightingVehicle*, *B00* anger federaten objektet ska skapas på, *_R_* anger objektets sida, *R* = röd, *B* = blå, *G* = Grön, samt slutligen namnet på objektet *FightingVehicle*. I exemplet i Figur 4 ingår fyra plattformar, två stridsfordon, en MANPADS-skytt samt en helikopter, vilket i detta exempel ger fyra federater som simulerar nio objekt, enligt Figur 5.

Objekt \ Federat	B00	B01	B02	C00
<i>B00_R_FightingVehicle</i>	X			
<i>B00_R_Turret</i>	X			
<i>B00_R_Barrel</i>	X			
<i>C00_R_FightingVehicle</i>				X
<i>C00_R_Turret</i>				X
<i>C00_R_Barrel</i>				X
<i>B02_R_Helikopter</i>			X	
<i>B01_B_Human</i>		X		
<i>B01_B_MissileLauncher</i>		X		

Figur 5 Fördelningen mellan objekt och federater i exemplet Figur 4.

De fyra federaterna i exemplet som visas i Figur 4 kan simuleras i instanser av Dynamiskt Duellverktyg EWSim eller av externa applikationer. NetScene konfigurerar scenariot och distribuerar objekt till respektive federat via HLA, vilken kan ge en federationssammansättning enligt Figur 6.



Figur 6 Exempel på en EWSim-federation. De blåa federaterna är instanser av Dynamiskt Duellverktyg EWSim, medan den gula är en extern federat.

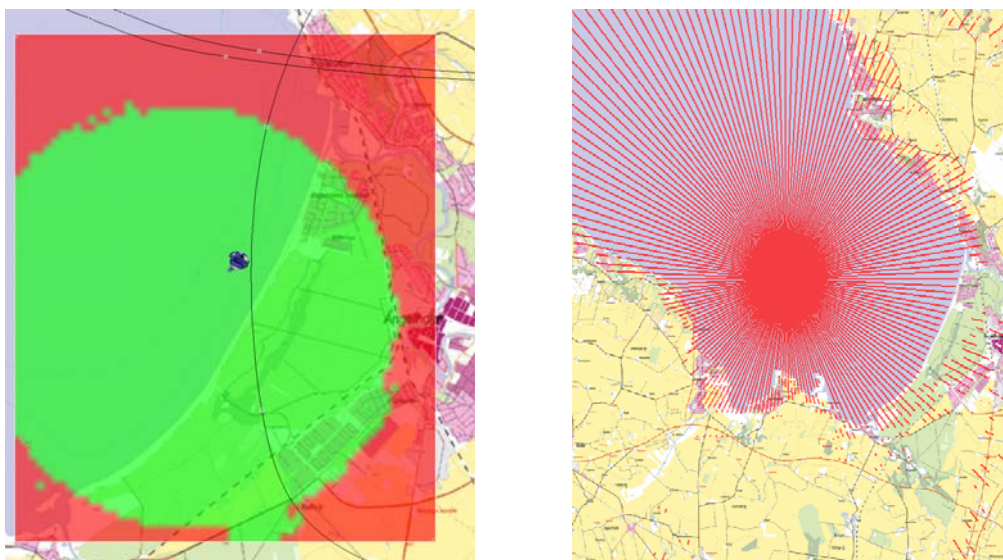
2.2 Planerings- och scenarieeditor NetScene

NetScene är ett program som används till planering och scenarieskapande. Tanken är att det ska vara lätt och smidigt att ändra och bygga ut scenarier; det är bara att klicka, dra och släppa olika stridsobjekt på en karta över ett område. Den har även ett 3D-fönster som gör det möjligt att se hur terrängen ser ut i höjdded och att skapa banor i luften. Banorna simulerar de olika stridsobjektens tänkta manövrörelser. Med flera olika objekt på en och samma karta har man alltså skapat en fiktiv värld av olika stridsobjekt som kan röra sig individuellt. Dessa objekt kan sedan interagera med varandra.

2.2.1 Yttäckning

Vid planering av scenarier är man ofta intresserad av vilken räckvidd ingående sensorer eller kommunikationsutrustning har. Speciellt frågan om vilket geografiskt område som täcks är av intresse. Ett ramverk för presentation av yttäckningsdiagram i NetScene har därför skapats. Genom den plugin-baserade arkitekturen i NetScene så är det mycket enkelt att utveckla nya diagram.

En uppdelning av diagrammen finns i två olika klasser, rektangulära samt radiella diagram. De rektangulära diagrammen har jämnt utspridda beräkningspunkter i ett rutnät. De radiella diagrammen gör radiella räckviddsberäkningar i olika vinklar kring en centumpunkt, se Figur 7.



Figur 7 Rektangulärt samt radiellt diagram. Det rektangulära visar räckvidden för en radiosändare, det radiella visar line of sight.

I Yttäckning av radiokommunikation

Yttäckningsdiagrammen för radiokommunikation visualiserar resultatet av duellen mellan en kommunikationslänk och dess omgivning, som valbart kan inkludera en störsändare. Störsändarens modulationsform modelleras med gaussiskt vitt brus. Diagrammet kan visualisera resultatet av olika lokaliseringspunkter hos endera sändaren, mottagaren eller störaren. Några av de parametrar som kan ställas in beskrivs i Tabell 1. Parametrar för radioapparater och störare ställs in under respektive enhet, se avsnitt 2.7.2.

Tabell 1 Beskrivning av parametrar för kommunikationsyttäckning i NetScene.

Parameternamn	Beskrivning
Transmitter	Den radioenhet som agerar rollen som sändare
Receiver	Den radioenhet som agerar rollen som mottagare
Jammer	Den radioenhet som agerar rollen som störare
MovingUnit	Den radioenhet (av <i>Transmitter</i> , <i>Receiver</i> eller <i>Jammer</i>) som flyttas omkring i diagrammet under uträkningen.

II Yttäckning av radar

Yttäckningsdiagram för radar är tänkt att visa räckvidden för radarn på aktuell grupperingsplats. Räckvidden är beroende av den höjd ett mål befinner sig på. Genom att variera radarns grupperingsplats och målets höjd kan man hitta en taktiskt bra grupperingsplats för radarn med hänsyn tagen till terrängen och möjligheter till lågflygning. Man kan också hitta lämpliga flygbanor, givet en viss grupperingsplats för radarn, för att minimera risken för upptäckt. Några av de parametrar som kan ställas in beskrivs i Tabell 2. Radarsystem behandlas utförligare under avsnitt 2.6.

Tabell 2 Beskrivning av parametrar för radaryttäckning i NetScene.

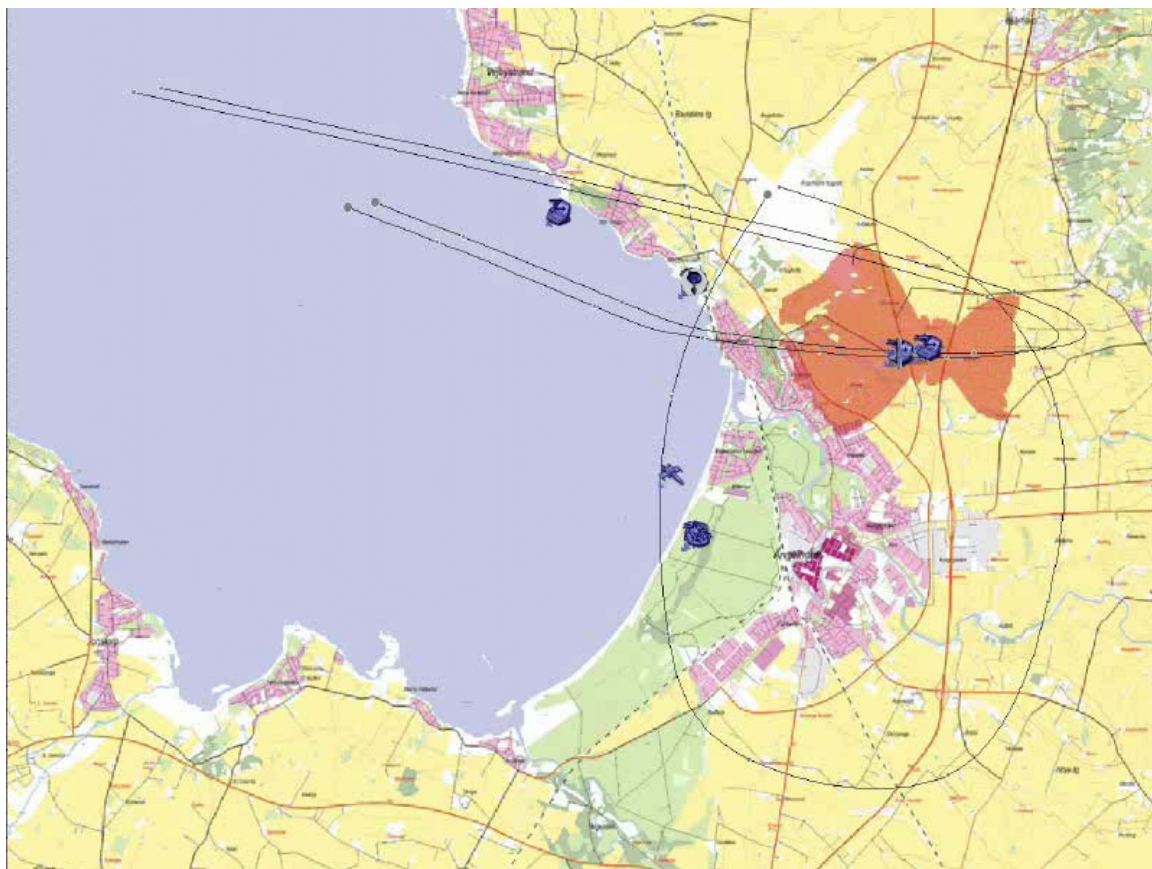
Parameternamn	Beskrivning
MaxRadius	Maximalt avstånd för vilket beräkningar ska göras.
ObjectHeight	Målets höjd.
RadarEffect	Radarns utsända effekt.
RadarGain	Radarantennens förstärkningsfaktor.
TargetArea	Målets radarmålarea (RCS).
Wavelength	Våglängden radarn sänder på.
Threshold	Tröskel för att signalen ska tas emot i radarn.

III Pålåsningsavstånd IR

Funktionen *Pålåsningsavstånd IR* tar reda på från vilka positioner på marken en robotskytt kan avfira sitt vapen mot ett mål på given position (presenteras som ett färgat område centrerat kring målobjektet). För att pålåsning skall kunna ske måste fri sikt råda och signal-till-brus-förhållandet (SNR) vid robotskytten måste överstiga ett tröskelvärde. Signalen är målets totala IR-signatur ur den aspektvinkel på marken där robotskytten kan tänkas befinna sig. SNR-beräkningarna tar hänsyn till målets IR-signatur beroende på aspektvinkel, robotens sensorprestanda och atmosfärens dämpning. Några av de parametrar som kan ställas in beskrivs i Tabell 3. Exempel på resultat visas i Figur 8.

Tabell 3 Beskrivning av parametrar för *Pålåsningsavstånd IR*.

Parameternamn	Beskrivning
SignatureFile	Den signaturfil som skall användas av objektet vid beräkning. Stöd finns för att multipla filer ska kunna ange flera signaturer. Värden från signaturfilerna summeras.
Alpha	Atmosfärens dämpning.
NEI	Sensorprestanda.
Threshold	Tröskelvärdet för SNR för att målet skall betraktas som pålåsningsbart.
EngineIndex	Anger vilket motorindex som skall användas. (signaturfilerna kan ha flera index för olika situationer, exempelvis start, landning och normal flygning för flygmotorer.)
WaveLengthIndex	Anger vilket frekvensindex som skall användas. (Samma princip som med EngineIndex.)



Figur 8 Pålåsningsavstånd visas som ett rött fält runt ett målobjekt. Storleken på området tar hänsyn till målobjektets position, orientering och IR-signatur, om det är fri sikt från positionen på marken till helikoptern, atmosfärens dämpning och robotens sensorprestanda.

2.2.2 Scenarieeditering

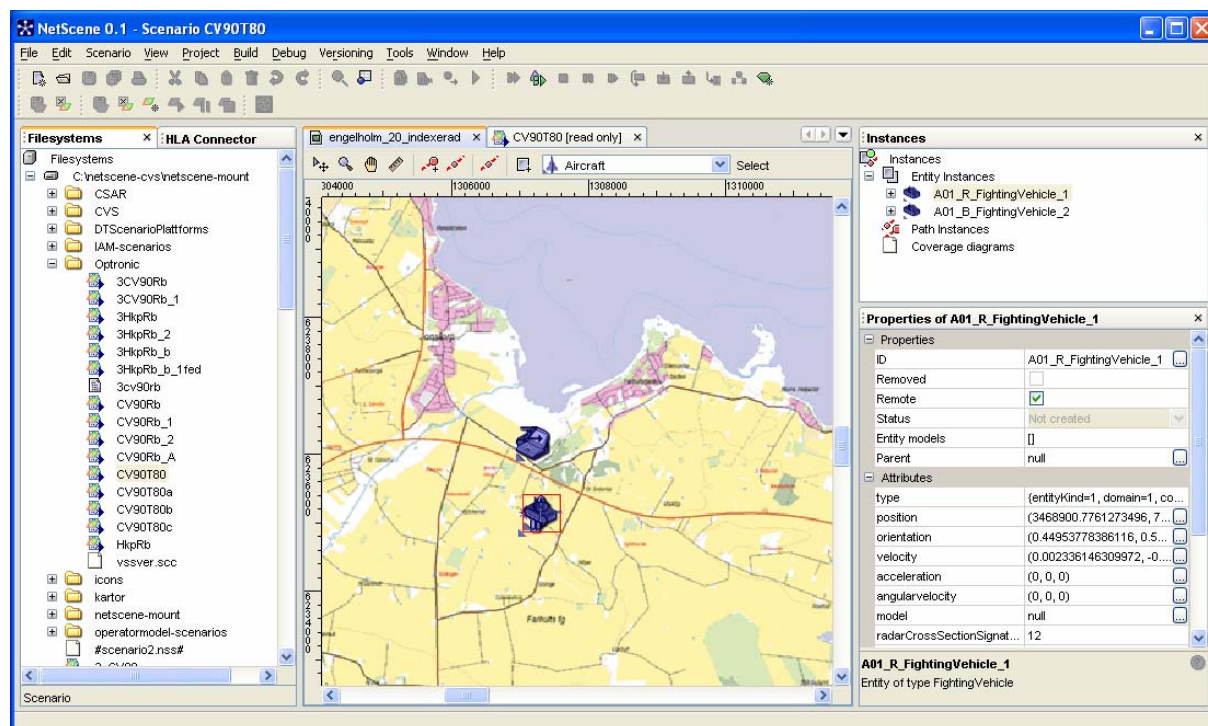
Ett scenario beskrivs av en scenarielifil med tillhörande modellfil. De båda filerna är i XML⁵-formatet. Modellfilen definierar de olika objekt som ett scenario kan innehålla, på ett hierarkiskt sätt. Scenariefilen bestämmer de objekt som skall ingå i ett visst scenario. Modellfilen anges i scenarielifilen så i praktiken behövs bara en modellfil, bara den innehåller alla objekt som ingår i de olika scenarier som man vill göra.

I modellfilen definieras alla objekt och dess attribut och parametrar, t ex typ, position och orientering. Eftersom det är en hierarkisk struktur går det bra att definiera basobjekt och sedan låta mera speciella objekt ärva de grundläggande parametrarna och endast addera det som är utmärkande för just det objektet. Det finns en speciell parameter som definierar ett lastutrymme och vad som kan placeras där. Det medför att man får kontroll på hur objekt kan placeras på andra objekt. T ex har "FightingVehicle" en "TurretContainer" som en "Turret" passar i, vidare har "Turret" en "BarrelContainer" som "Barrel" passar i o s v. Denna hierarki ska passa in i den HLA-struktur som beskrivs i avsnitt 2.1.

Scenariefilen definierar i sin tur de olika objekten som skall ingå i scenariot. Alla fysiska och icke-fysiska objekt är med och får sin uppsättning parametrar. Det innebär att alla objekt i scenariot är individuella och kan anpassas till den uppgift de har i scenariot. För att det inte skall bli alltför tungrovt så går det utmärkt att skapa plattformsfiler, scenarielifiler, som består av en eller flera objekt (plattformar) t ex en stridsvagn med tillhörande utrustning. Dessa plattformsfiler kan man sedan dra in i kartan och släppa där de ska vara.

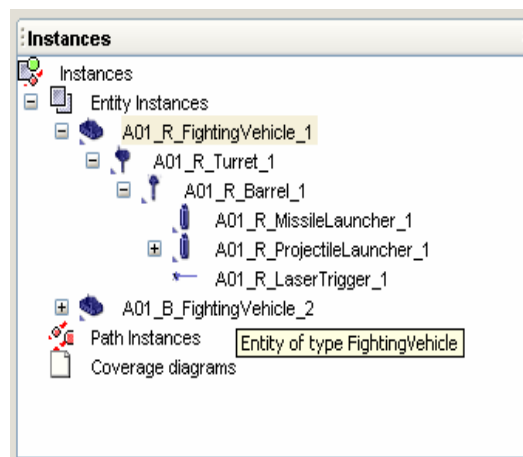
Figur 9 nedan visar hur NetScene kan se ut när ett scenario och en karta är laddad. NetScene är uppdelat i olika fönster, som kan flyttas och dockas så att användaren bestämmer vilka som skall synas och hur de ska vara konfigurerade. I detta exempel finns *Filesystems*, *HLA Connector* (gömd bakom Filesystems), *Instances*, *Properties of...* och det allmänna fönstret där kartvyn och de filer som öppnas för editering dyker upp.

⁵ XML är ett textfilformat med ändelsen xml, som har etiketter, "taggar", vilka gör det möjligt att strukturera upp data så det lätt kan läsas in av programmet, samtidigt som det är möjligt att läsa och editera filen för hand. Om mer information önskas besök <http://www.w3.org/XML/>



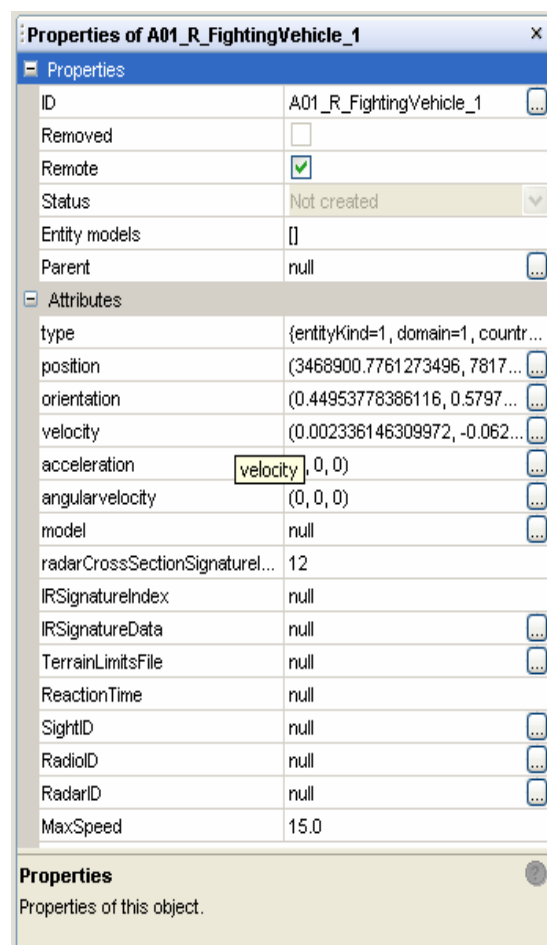
Figur 9 NetScene huvudfönster.

I *Instances*-fönstret (Figur 11) visas de objekt som scenariot innehåller. De egenskaper som objekten har kommer upp i *Properties of...*-fönstret (Figur 10) så fort ett objekt väljs, i detta fall A01_R_FightingVehicle1.



Figur 11 *Instances*-fönster.

I *Properties of...*-fönstret är det möjligt att ändra värdena för de olika egenskaperna som objekten har. Parametrarna beskrivs i Tabell 4.

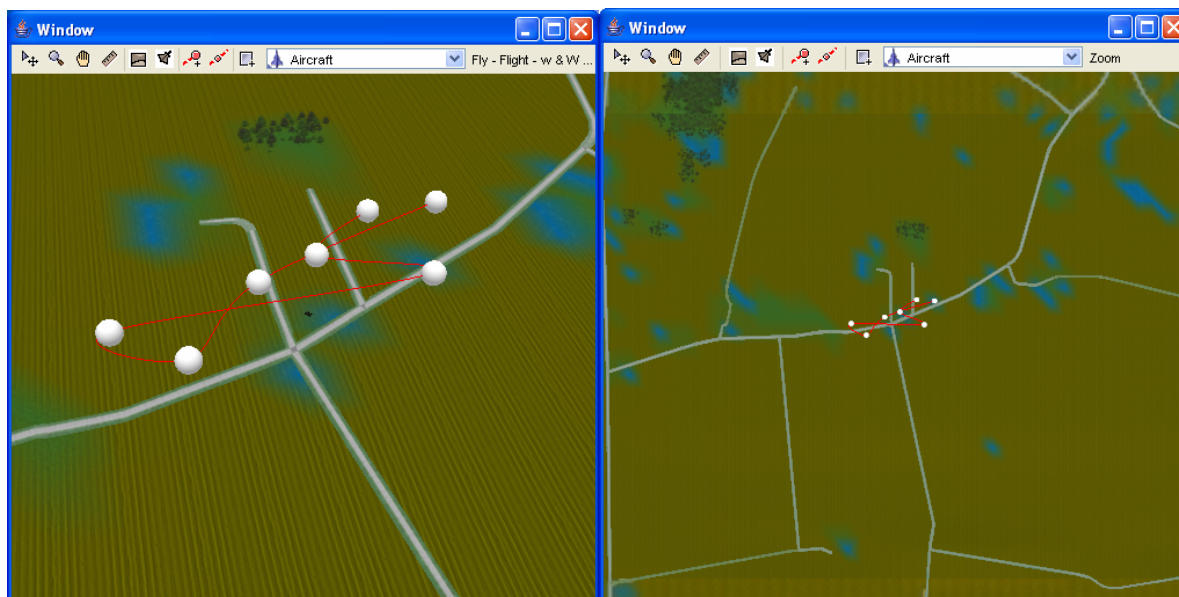


Figur 10 *Properties of...*

Tabell 4 Beskrivning av de allmänna objektparametrarna.

Parameternamn	Beskrivning
ID	Unikt namn som identifierar objektet.
Remote	Bestämmer om objektet styrs lokalt från NetScene eller från en extern applikation t ex EWSim.
Entitymodels	Rörelsemodell för att möjliggöra rörelse efter en given bana.
Parent	Förälder till objektet.
Attributes...	De parametrar som är specifika för detta objekt.

Det går även att se ett scenario i ett 3D-fönster (Figur 12). Då skapas ett externt fönster där det är möjligt att flytta vyn som i en karta eller att flyga omkring som en observatör. Att se objekten röra sig i 3D-fönstret ger en känsla av direkt närvaro i scenariot, man kan där se objekten röra sig över den tänkta marken, korsa vägar etc. I 3D-fönstret väljer man antingen ortovyn, en kartvy där användaren befinner sig i en kartbild, eller flygvyn där användaren får upplevelsen av att se scenariot som från ett flygplan.



Figur 12 Bana i 3D-fönster. Till vänster visas den i en flygvyn och till höger i en ortovy.

De vita bollarna hopbundna med ett rött streck är en bana. Dessa banor skapas genom att klicka där brytpunkterna skall vara. När banan är skapad går det bra att lägga till, ta bort och flytta brytpunkter. Banorna skapas antingen i 3D-fönstret eller i kartvyn i NetScene. Vill man ha en speciell höjd på banan måste man däremot vara i 3D-vyn.

När banorna är skapade går det att koppla ihop objekt med banorna och låta objekten åka längs banorna med enkla rörelsemodeller. Det går att köra en simulering direkt i NetScene

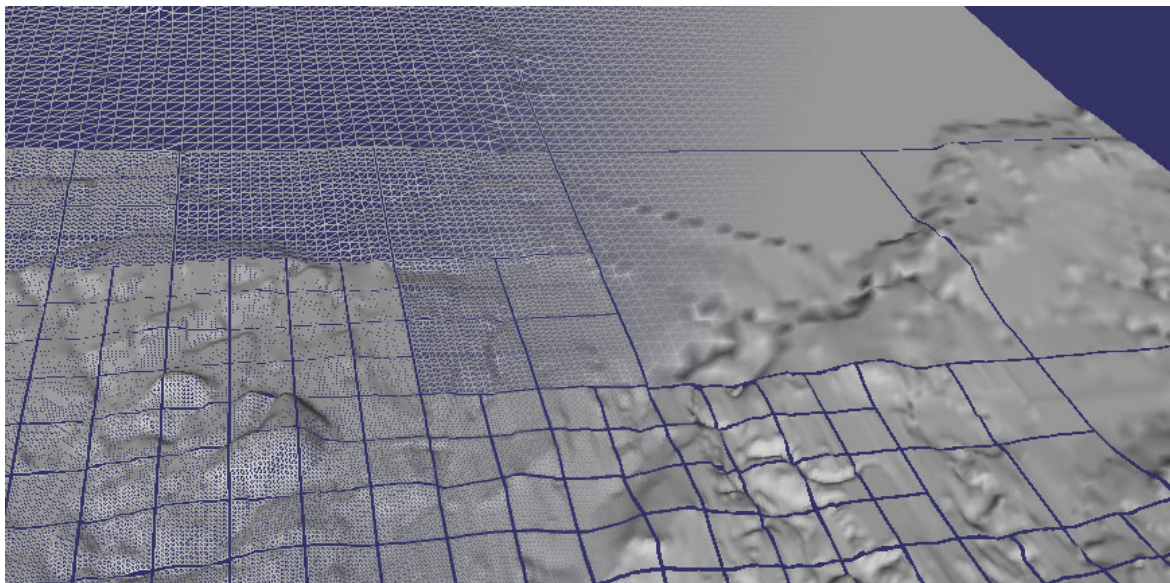
för att se hur objekten rör sig i scenariot. Således kan användaren själv skapa de strids-scenarier som önskas, och själv bestämma vad som ska hända i dessa.

2.2.3 Terrängdata

Verktyget EWMapEditor har utvecklats för att förse simuleringsmiljön EWSim och de enskilda simulatorerna med geografisk data. Där importeras och behandlas standardiserade geodataformat för att tillgodose behovet av data för beräkningar samt visuell presentation i 3D och 2D.

Förutom 3D/2D-modeller för visualisering och siktlinjes-/kollisionsberäkningar är tanken att EWMapEditor även ska tillgodose behovet av geografisk data för olika typer av simuleringar. Dessa kan vara markklassningstabeller för beräkning av vågutbredning och framkomlighet, samt IR- och årstidpassade texturer. Traditionell geodata representeras sällan eller aldrig på sätt som lämpar sig för 3D-grafik. Därför är en konvertering från tillgänglig data ofta nödvändig. I EWSim används grafik-API:et OpenSceneGraph för att hantera all 3D-grafik. I detta sammanhang är det därför lämpligt med terränginformation i ett format som kan läsas direkt av OpenSceneGraph.

För att inte överbelasta simulering och grafikrendering med för mycket data krävs även att data struktureras så att den går att komma åt i varierande detaljrikedom. Typiskt för renderingen är att fler detaljer återges nära betraktaren än vad som återges på längre avstånd. EWMapEditor skapar en struktur som ger hög detaljrikedom på korta avstånd och successivt avtagande detaljnivå längre bort, som kan ses i Figur 13. Detaljnivån anpassas hela tiden dynamiskt efter var i terrängen betraktaren befinner sig.

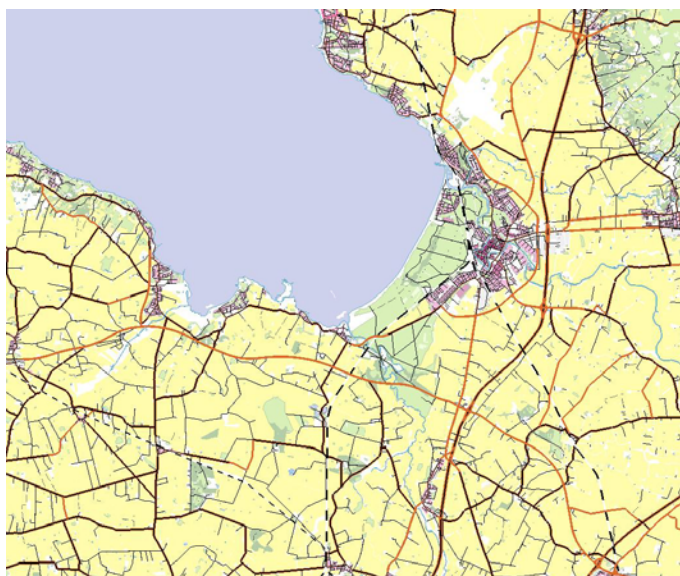


Figur 13 Ett exempel på hur detaljnivån förändras med avståndet.

Att generera denna struktur kan ta en ansevärd tid. Detta gör att man vill kunna återanvända strukturen i flera simuleringar utan att behöva återskapa den varje gång. Det är bland annat i detta syfte EWMapEditor kommer att användas, då den sparade terrängmodellen snabbt kan laddas till EWSim för olika scenarier.

Det som behövs för att generera modellen är information om markytans täckning och höjddata. Marktäckningen ges från filformatet ESRI shape (*.shp) och höjddata från raster i ascii-format. 3D-modellen av området skapas i olika detaljrikedomsnivåer där högsta detaljnivån

till stor del bestäms av detaljnivån i indata. 3D-modellen består av både själva markytan samt objekt som träd/skogspartier och vägar. Från samma data som används för att skapa 3D-modellen kan för NetScene även en karta skapas som överensstämmer med 3D-modellen. Denna karta kan manérsättas för att efterlikna motsvarande tryckta papperskarta. I Figur 14 kan en karta ses som är manérsatt för att efterlikna motsvarande tryckta karta från lantmäteriet (Terrängkartan). Utöver detta sparas också marktäckning och höjddata som raster i binära format för att kunna användas för yttäkningsberäkningar för bland annat radioförbindelse, se avsnitt 2.2.1.

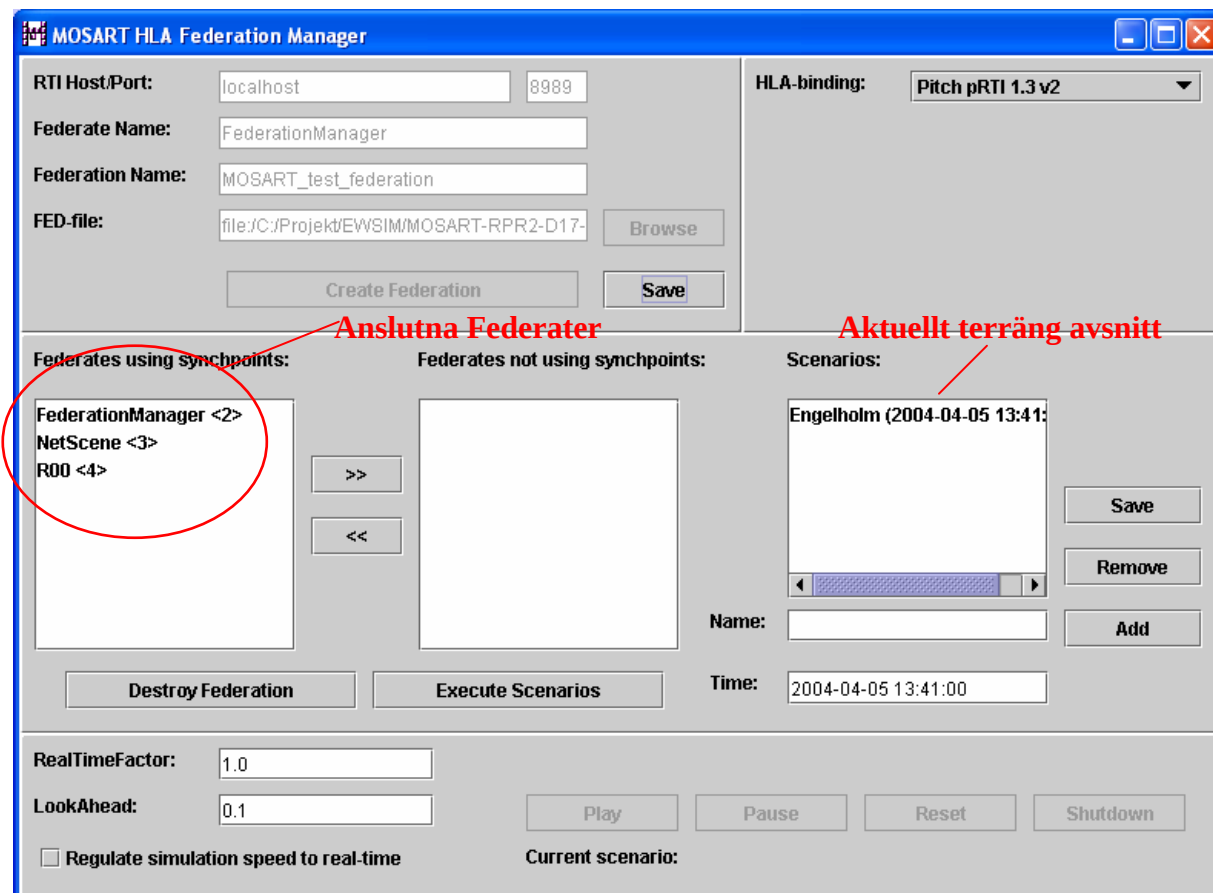


Figur 14 2D-karta manérsatt för att efterlikna en tryckt karta, Terrängkartan 1:50 000.

Terrängmodellen i de scenarier som beskrivs i denna rapport är skapad utifrån lantmäteriets data kallat ”Terrängkartan”, tidigare ”Gröna kartan”. Kartdata som använts täcker området runt Ängelholm i nordvästra Skåne. Storleken på detta är ca 75x75km. Höjdinformationen ges av rutnät med höjdvärden på en decimeters noggrannhet med 50 meters mellanrum.

2.3 MOSART HLA Federation Manager

MOSART HLA Federation Manager är en federationskontrollfederat som styr scenariots exekvering genom att hantera tiden och händelser som start, stopp och paus, samt att specificera i vilket terrängavsnitt aktuell simulering skall köras. Figur 15 visar utseendet av MOSART HLA Federation Manager.

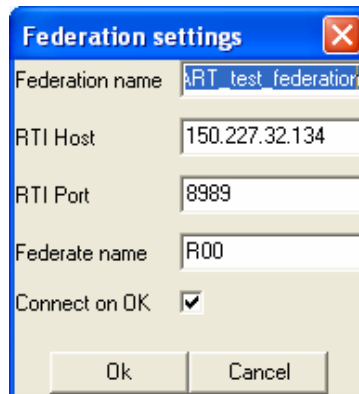


Figur 15 MOSART HLA Federation Manager.

2.4 Dynamiskt Duellverktyg EWSim

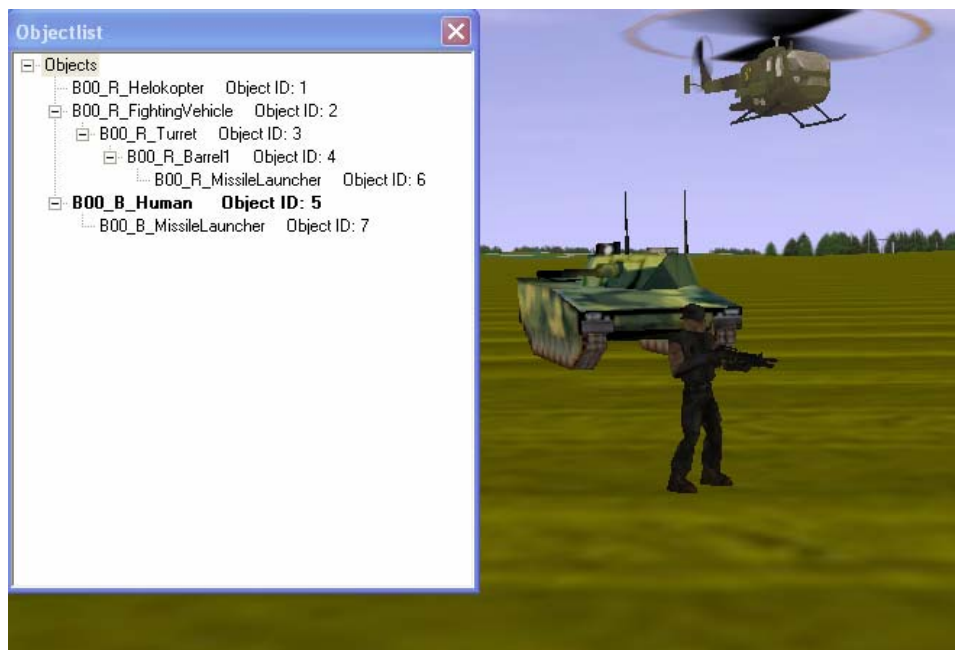
Dynamiskt Duellverktyg EWSim är ett gemensamt gränssnitt för NetScene-konfigurerade federater. Vid uppstart anges federationsinställningar:

- Federation name, namnet på federationen.
- RTI host. IP-numret till den dator som kör RTI:et.
- Federate name, namnet på den egna federaten.



Figur 16 Federation Settings-fönstret.

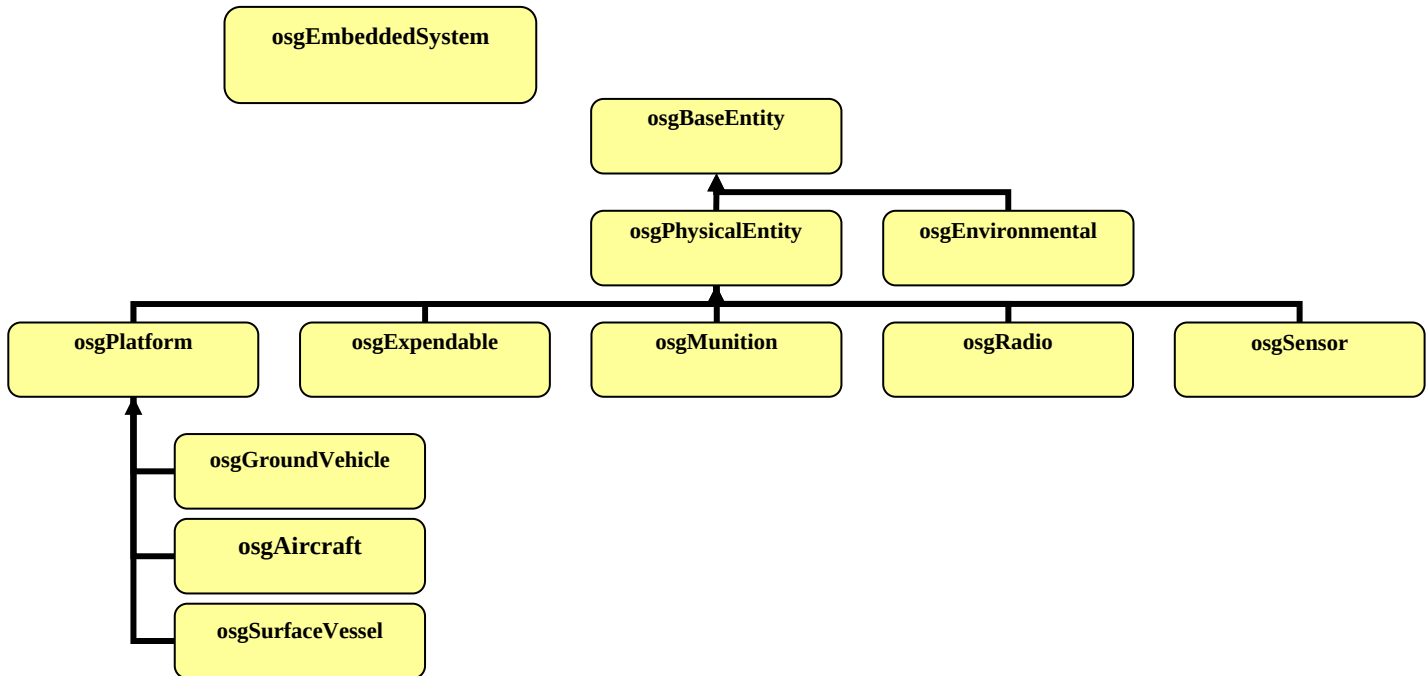
När scenariot exekveras i Federation Manager laddas terrängen, och vid start skapas plattformarna och deras HLA-objekt. För varje plattform som federaten ska simulera laddas det specialiserade skriptet *EventHandlers*, som hanterar användarens interaktioner. Om federaten äger flera plattformar kan användaren växla mellan vilken plattform han för tillfället styr (via menyn, Control→Toggle vehicle eller kortkommandot alt+t). Vilka interaktioner användaren kan utföra på plattformen kan man läsa i fönstret *Handler Commands* (öppnas via menyn, View→Handler Commands). Ingående delar i ett scenario kan visas under simulering i fönstret *Objectlist*, se Figur 17.



Figur 17 Dynamiskt Duellverktyg EWSim med objektlistan öppen. Listan visar i simuleringen deltagande plattformar och objekt.

2.4.1 Basklasser

HLA-klasserna i RPR FOM:en motsvaras av basklasser i Dynamiskt Duellverktyg EWSim. Basklasserna följer samma arvshierarki som FOM:en, se Figur 18. Detta leder till att mer specialiserade klasser inte behöver duplicera grundläggande funktionalitet t ex för positionshanteringen och föräldraförhållanden, vilket leder till att nya objekt kan läggas till i Dynamiskt Duellverktyg EWSim med små eller inga ingrepp i koden.

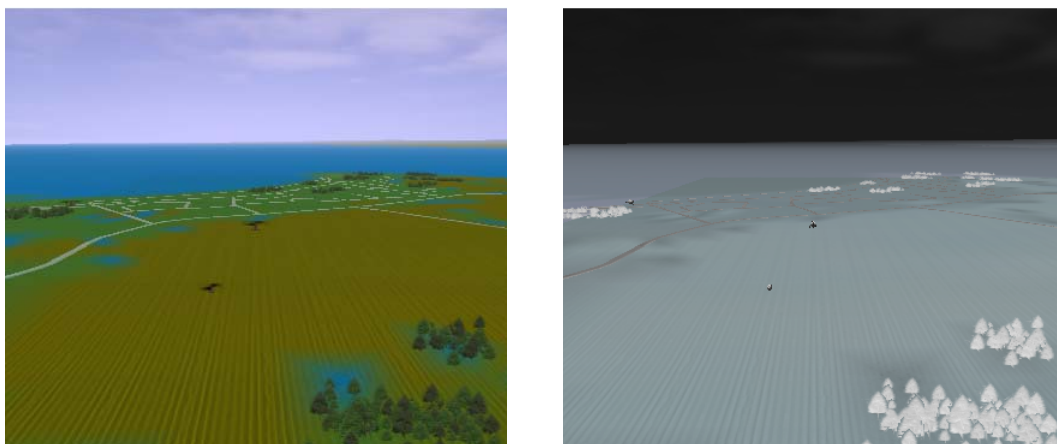


Figur 18 Visar basklasser och arvshierarki i Dynamiskt Duellverktyg EWSim.

2.5 Dynamiskt Duellverktyg EO Modeller

För att simulera dueller/konfliktsituationer där EO-området finns representerat behövs terräng och objekt inom det visuella, IR och/eller UV-området. Dessutom behövs sensorer och system som kan verka inom dessa områden.

I EWSim beskrivs terräng och objekt inom EO-området i huvudsak genom deras 3D-geometri och deras texturer (bilder som "klistras" på 3D-objektets yta). Texturer kan väljas beroende på om de studeras via en visuell eller en IR-kamera, se Figur 19.



Figur 19 Exempel på hur samma vy kan visas med visuell textur (till vänster) och IR textur (till höger).

I vissa fall används inte den ovan beskrivna metoden utan tabeller för att slå upp en total signatur vilka kan ges för varje enskilt objekt. IRST:n (InfraRed Search and Track) i EWSim använder t ex tabeller för att beräkna om ett objekt kan upptäckas. I andra fall används bara vetenskapen om att en viss typ av objekt har dykt upp och förväntade egenskaper hos det objektet. UV-varnare i EWSim tittar bara efter missiler och antar att de ger UV-signatur under en viss begränsad tid efter avfyring. Optiksignatur (den retursignal som optikspanare får) bestäms av egenskaper för optiken som kan finnas på ett system.

De EO-sensorer som kan användas i EWSim kan vara enkla kameror inom det visuella eller IR-området men de kan också vara mer avancerade system som automatiskt hittar tänkbara mål/hot. Exempel på avancerade spaningssystem inom det elektrooptiska våglängdsområdet kan vara IRST eller optikspanare. Den förra letar efter objekt med förhöjd signatur över bakgrunden och den senare letar efter optiska system riktade så att den egna plattformen finns inom dess synfält. Dessa system kan innehålla logik för att bara varna för mål som närmar sig den egna plattformen. Sensorer i form av rena varnare, t ex laservarnare eller UV-varnare kan också förekomma.

Varning kan ges från laservarnare, UV-varnare, IRST, optikspanare m fl. Dessa varningar kan konfigureras i ett VMS och resultera i en motåtgärd. De EO-motåtgärder som finns är att lägga ut rök, fälla facklor eller använda laserstörning (DIRCM). Det går givetvis att blanda EO-motåtgärder med andra typer av motåtgärder, t ex en våglängdsneutral motåtgärd i form av moteld men även radar- eller kommunikationsmotåtgärder kan användas.

Detta kapitel beskriver olika modellkomponenter (moduler) som kan ingå i en telekrigs-simulering inom det elektrooptiska området. Varje modul beskrivs i ett separat avsnitt.

Modellerna är generiska d v s för att skapa ett specifikt system med dessa modeller sätts parametrar till olika värden. För fler detaljer om de enskilda modellkomponenterna se referens [ESOPTR].

2.5.1 IRST

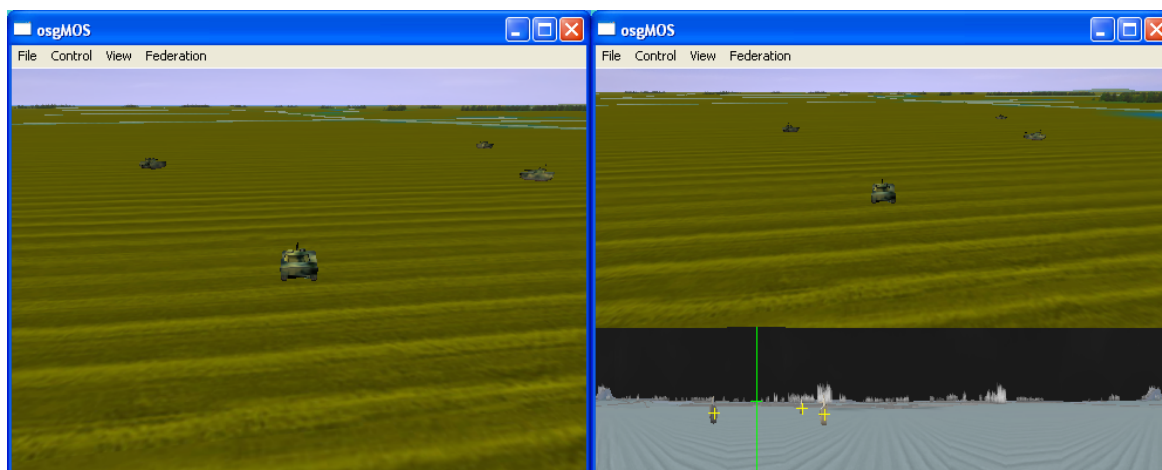
I Allmänt om IRST

En IRST är en sensor som ofta klarar att svepa över ett stort vinkelområde av scenen och kan användas för att upptäcka och följa objekt med ett, inom IR-området, lågt signal-till-brus-förhållande (inkluderat klotter), t ex inkommande missiler. IRST förekommer både i mark-, fartygs- och flygmonterade applikationer.

II IRST i EWSim

En IRST kan konfigureras i NetScene och kopplas till ett markfordon, en flygande plattform eller till ett fartyg, vilka kan styras i EWSim. IRST:n kan i modellen användas både som varnare och för att upptäcka objekt. För upptäckt krävs att objektet ligger inom IRST:ns synfält, inte är skymt och har en signatur (som ger en IR-signal) som överstiger bakgrundens (eller en given brusnivå) med en given faktor (SNR). SNR-beräkningarna tar hänsyn till målets IR-signatur som funktion av aspektvinkel, robotens sensorprestanda och atmosfärens dämpning. I varnarsammanhang måste dessutom mottagen strålningseffekt öka och objektet får inte röra sig i vinkelled, vilket är karakteristiskt för ett närmande hot.

När ett objekt har ett IRST-system kan detta aktiveras i EWSim. Användaren kan sedan välja om en IRST-vy skall visas i fönstret eller verka i bakgrunden (det senare kan vara ett alternativ speciellt om IRST:n endast används som varnare kopplat till ett automatiskt VMS), se Figur 20.



Figur 20 Användargränssnitt som visar en översiktsbild med kameran positionerad bakom och ovanför det styrda objektet (kamerans synfält är centrerat kring objektet). Det styrda objektet är utrustat med en IRST. Till höger har IRST:n aktiverats och en IRST-bild dyker upp i nederkanten av användargränssnittets fönster.

En IRST-vy visar upptäckta målkandidater som gula '+'. Målkandidater, som resulterar i en varning genererar ett rött '+' tills denna varningsposition är överlämnad till plattformens VMS. Orienteringen av plattformen på vilken IRST:n är monterad (och ett eventuellt kanontorns orientering) visas också i IRST-vyn.

Objekt som skall vara möjliga att upptäcka måste initieras med IR-signatordata i NetScene.

2.5.2 Optikspanare

I Allmänt om optikspanare

Optiska sikten och sensorer som samlar inkommande strålning, ger vid belysning upphov till en retroreflex [IREO]. Figur 21 visar en retroreflex från en kikare belyst med låg lasereffekt på två km avstånd.



Figur 21 Retroreflex från en fältkikare på två km avstånd [STRFF].

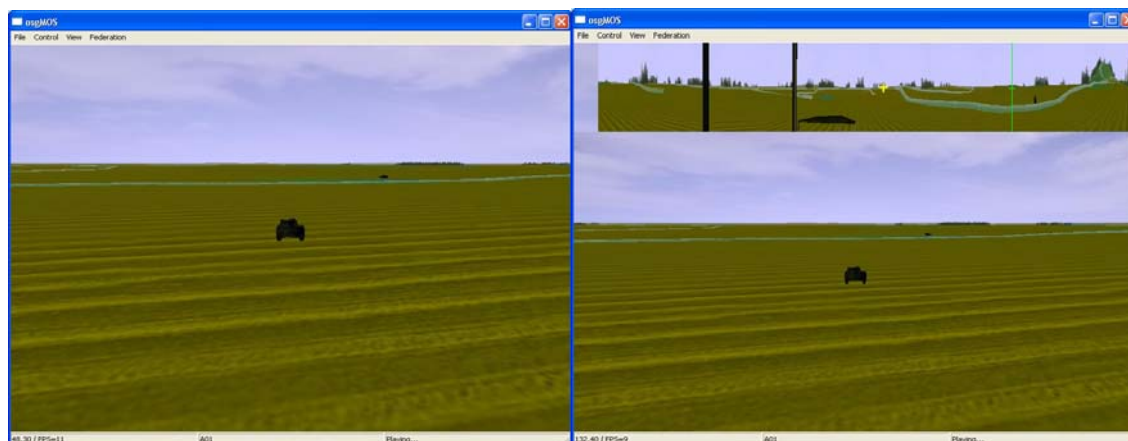
En optikspanare använder sig av en laserstråle och en sensor som registrerar eventuella retroreflexer inom sitt synfält. Både riktning och avstånd till upptäckta mål kan bestämmas med god noggrannhet. Upptäckta hot kan alltså snabbt störas, exempelvis med bländlaser. Avsökningsmönster kan utformas på olika sätt. I vår modell används en spaltformad laserstråle som avsöker varvet runt på en viss tid. Andra varianter är t ex sektorvis avsökning.

II Optikspanare i EWSim

En optikspanare konfigureras i NetScene och kopplas där till en plattform som sedan styrs i EWSim. För att fungera som det är tänkt behöver optikspanaren ha tillgång till en optik, se avsnitt 2.5.9. Detta konfigureras i NetScene genom att en optik, med parametervärden som är lämpliga för att kunna registrera retroreflexer i det tänkta scenariot, placeras in med optikspanaren som förälder. Ska optikspanaren användas som varnare i ett varnare- och motverkanssystem (VMS) behöver den också kopplas till en VMS-logik, se avsnitt 2.8.1.

För att optikspanaren ska kunna upptäcka optik krävs att den optiska sensorn hos målet ger en tillräckligt stark retroreflex vid belysning med laser samt att den inte skymms av terräng, andra objekt eller rök. Används optikspanaren som varnare skall den markera alla målkandidater men bara varna för mål kommer emot den egna plattformen med en närmandehastighet större än ett valt minsta värde. Eftersom skanningen utförs med hjälp av laser fås förutom vinkelangivelse även ett avstånd till målobjektet, och närmandehastigheten kontrolleras med hjälp av förändringen i avstånd till målet mellan två mätningar. Alla genererade varningar placeras i en lista och kan överlämnas till VMS-logiken.

Figur 22 visar hur en simulering med optikspanare kan se ut. I optikspanarvyn visas upptäckt optik som gula '+'. Optik som genererar varning visas med ett rött '+' tills varningen är vidarebefordrad till VMS-logik. En grön vertikal linje markerar moderfordonets orientering i sidled och en horisontell linje på denna markerar moderfordonets orientering i vertikalled. Man kan också välja att inte visa optikspanarvyn.



Figur 22 Användargränssnitt som visar en översiktsbild från en position snett bakom det kontrollerade fordonet. Fordonet är utrustat med en optikspanare som på den högra bilden är aktiverad. Det gula '+'-et markerar ett möjligt mål.

2.5.3 UV-varnare

I Allmänt om UV-varnare

UV-varnare utnyttjar ett våglängdsintervall runt 0,2-0,3 μm . I detta intervall är transmissionsförhållandena i atmosfären gynnsamma och det finns nästan inget bakgrundsbrus, eftersom ozonskiktet absorberar UV-strålning från solen. En robotflamma emitterar strålning i UV-området, och UV-varnaren kan alltså upptäcka en robot i dess framdrivningsfas. Robotar med lång räckvidd som avfyras bortom fri sikt upptäcks däremot inte. Svetsning eller kraftiga elektriska urladdningar kan ge upphov till UV-signaturer. Dessa kan dock diskrimineras genom signalbehandling, då de till skillnad från en robot inte rör sig. Figur 23 visar ett exempel på hur en UV-varnare kan se ut.



Figur 23 UV-varnare [STRFF].

II UV-varnare i EWSim

En UV-varnare konfigureras i NetScene och kopplas till en plattform som sedan styrs i EWSim. De objekt i simuleringarna som kan ge upphov till UV-signaturer är missiler i sin uppstartsfas. Den enkla modellen av UV-varnare tar dock ingen hänsyn till hur UV-signaturen ser ut, utan sensorn antas ligga i rätt område för att kunna registrera robotflamman. För att ett objekt ska upptäckas måste det alltså dels bestå av en missil som avfyrades för max två sekunder sedan, och dels får det inte vara dolt bakom terrängen eller andra objekt. För

tillfället finns ingen diskriminering för vinkelrörelser, d v s UV-varnaren kontrollerar inte om det upptäckta objektet är på väg mot den egna plattformen eller ej.

Är UV-varnaren en del av ett VMS lagras alla genererade varningar i en lista där de kan överlämnas till VMS-logiken, se avsnitt 2.8.1.

2.5.4 Laservarnare

I Allmänt om laservarnare

Laservarnare varnar för inkommande laserstrålning som kan komma från avståndsmätare, laserutpekare och laserledstrålestyrda robotar. Varnare av denna typ har ofta möjlighet att ge information om typ av laser och vinkeln till laserkällan. Figur 24 visar exempel på hur laservarnare kan se ut.



Figur 24 Exempel på laservarnare [STRFF].

II Laservarnare i EWSim

Laservarnaren varnar bara för laserstrålar som träffar laservarnaren eller dess plattform. Endast riktning till laserkällan förmedlas av laservarnarmodellen, information om typ av laser extraheras för närvarande inte.

2.5.5 Missil

En missil är en styrd projektil där styrning antingen sker med hjälp av en intern målsökare eller genom att fjärrkommandon ges. Den interna målsökaren kan vara helt autonom (en s k *fire-and-forget* missil) eller stöttas av t ex en laserutpekare. Kommandostyrningen kan ske på flera sätt t ex via tråd eller genom att missilen befinner sig i en laserledstråle. I IR-fallet finns det i EWSim förberett för ett flertal av dessa missiltyper även om det i skrivandets stund bara är missiler av typen *fire-and-forget* som fungerar fullt ut.

I IR-missil i EWSim

I en simulering med en målsökande IR-missil skall missilen kunna styra mot ett mål, generera en signatur som kan upptäckas av varnare för att varnarens moderobjekt skall kunna vidta motåtgärder och när motåtgärder är vidtagna skall roboten reagera på ett rimligt sätt. Målsökaren i en IR-*fire-and-forget*-missil i EWSim använder en genererad IR-bild av vad roboten ser för att extrahera en målposition. Denna målposition, som kan vara en verklig målposition eller en position som målsökaren tror är den rätta men som kanske i verkligheten motsvarar facklor eller naturliga falskmål, används sedan för att styra roboten. För att missilen skall kunna interagera med t ex varnare måste roboten generera en egen signatur: för en IR-varnare (t ex av typen IRST) beskrivs robotens IR-signatur och för fallet optikspanare beskrivs målsökarens optiska sensor.

Målsökare som för närvarande kan kopplas till en EO-missil är av typen korrelation, centroid, retikel, rosettskan, kryssdetektor eller kommandostyrd med laser (ledstråle eller laserutpek)

eller tråd (det finns dock för närvarande inget användargränssnitt till den kommandostyrda målsökaren).

Missildynamik kan vara av en generisk enklare typ, men även mer avancerade modeller av specifika hotrobotsystem kan användas. Hotrobotmodeller är framtagna inom projektet *Teknisk hotsystemvärdering*. Integrationen mellan dessa hotrobotmodeller och EWSim har skett i samarbete mellan *Teknisk hotsystemvärdering* och *Duellsimulering telekrig*. Scenarier med hotrobotar i EWSim har används i tillämpningsstudien *Taakii* (telekrigsaspekter vid asymmetrisk krigföring vid internationella insatser) [TAAKII].

2.5.6 Facklor

Facklor används för att störa optroniska målsökare så att missilen som styrs av målsökaren ska missa målet. Facklor fungerar genom att de avger en stor mängd strålningseffekt i det våglängdsband som missilens målsökare är känslig inom. Om målsökaren styr mot det starkast lysande målet, kommer den därmed att styra mot facklan istället för målet. Det är viktigt att för en given missil ha rätt typ av fackla då olika missiler kan vara känsliga inom olika våglängdsband.

Facklor i flygfallet finns eller kommer att finnas till HERKULES, JAS, den framtida helikopter 14 och förhoppningsvis för ett flertal andra plattformar som ska ut i internationell tjänst. Facklorna är viktiga för att skydda sig mot t ex manburna luftvärnssystem s k MANPADS t ex SA-7 b. Fackelfällningen kombineras ibland med undanmanöver för att uppnå resultat.

I sjöfallet så genererar facklorna i allmänhet stora volymer och kan vara mycket lika rök d v s de kan fungera genom att avskärma målet från målsökaren så att målsökaren inte kan se målet.

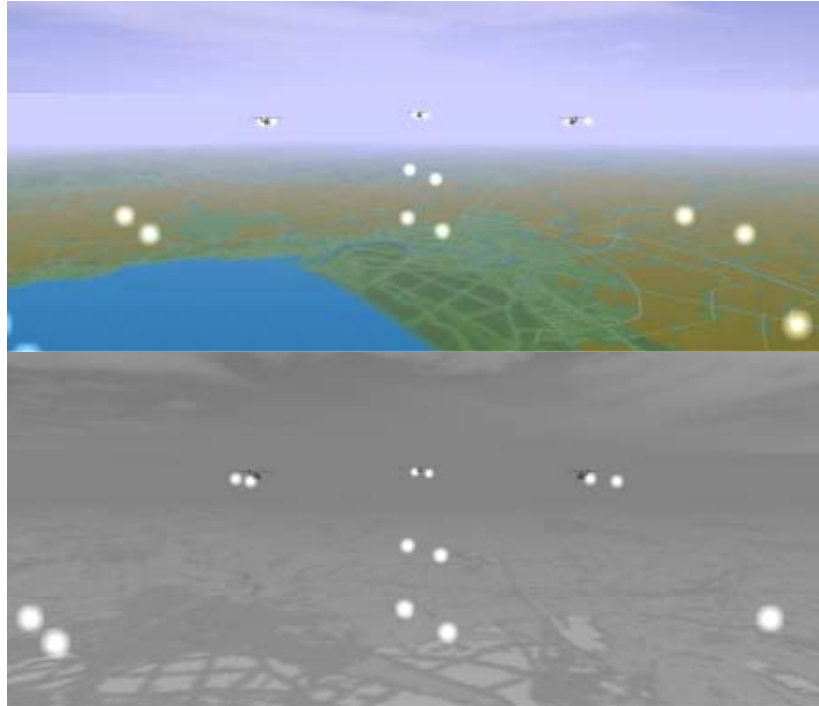
I Fackelfällning i EWSim

Fackelfällningen konfigureras med en fil eller text som anges i NetScene och kopplas till ett markfordon, en flygande plattform eller till ett fartyg som kan styras i EWSim. När ett objekt har ett fackelfällarsystem kan detta aktiveras i EWSim manuellt av användaren varvid fackelfällningsprogram nummer ett aktiveras, se t ex Figur 25. Alternativt kan facklorna i modellen kastas ut automatiskt via VMS-modulen (se avsnitt 2.8.1) när varning erhålls.

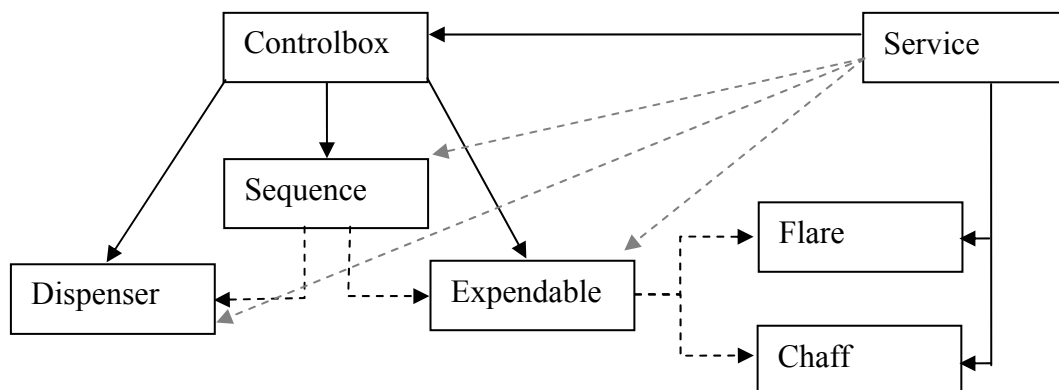
II Modellbeskrivning

Fackelfällningen simuleras av två delar där den ena genererar data för hur facklorna ser ut vid ett antal tidpunkter. Dessa data tas sedan om hand i den andra delen och placeras ut i 3D-scenen så att det genereras facklor i IR- och den visuella bilden. De fysikaliska formler som använd finns i [EWSIM].

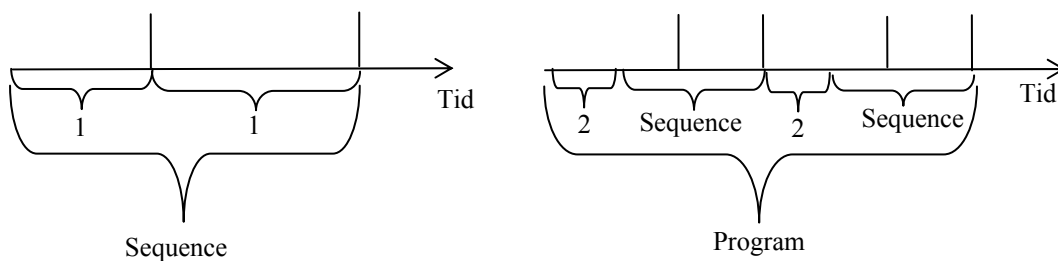
Fällningsprogrammet konfigureras genom att ett antal konfigurerbara moduler kombineras. Dessa moduler med relationer finns i Figur 26, och deras tidsrelation visas i Figur 27. Det finns en modul, *Service*, som har tillgång till alla de andra modulerna. När facklorna ska kastas ut kommer *Service*-modulen att ange vilket motmedelsprogram som ska köras och hur många gånger. Ett fällprogram är uppbyggt av att man kör en viss sekvens av fällning ett antal gånger. Detta program ligger i *Controlbox*-modulen. *Sequence*-modulen anger hur en sekvens av facklor (eller remsor) ska fällas i tid samt från vilka fackelfällare. En *Expendable* består av en eller flera subladdningar vilket i flygfallet oftast är en. *Flare* konfigureras med data om hur en fackla brinner spatialt, temporalt och spektralt.



Figur 25 Fackelfällning, överst en visuell bild och underst en IR-bild av hur tre helikoptrar fäller facklor.



Figur 26 De moduler som kan konfigureras och tillsammans skapa ett fällprogram.



Figur 27 En *Sequence* är uppbyggd av ett antal tider mellan fackelfällningar (1) samt en initial tid. Programmet är uppbyggt av ett antal sekvenser samt en initial tid (2).

2.5.7 Rök

Rök är ett motmedel som kan användas för att dölja och kamouflera mål så att de ej kan upptäckas eller identifieras av optroniska sensorer. Det finns olika typer av rök, dels rök som är avsedd att täcka in stora områden, oftast inte verksam i det infraröda våglängdsområdet, då rökpartiklarna är för små, dels finns det rök som främst är för egenskydd och döljer målet under en kortare stund. Rök som skall förvillra målsökare bör ha olika interna kontraster så att målsökaren inte kan in visas genom att styra mot rökens centrumpunkt.



Figur 28 Rökkastning från Strf 9040C.

I markfallet finns rökkastare t ex på Strf 9040C, se Figur 28, och Strv122. Att ha kastare som är rörliga i förhållande till tornet gör att röken lättare kan läggas i rätt riktning i förhållande till hot och vind.

I sjöfallet används rök till ett flertal svenska fartyg. En variant som fungerar bra i det visuella området är dieselryk som dock inte fungerar i infrarött då partiklarna är för små.

I Rök i EWSim

Rök kan konfigureras i NetScene och kopplas till ett markfordon, en flygande plattform eller ett fartyg som kan styras i EWSim. När ett objekt har ett röksystem kan detta aktiveras manuellt av användaren i EWSim eller automatiskt av VMS-modulen, se avsnitt 2.8.1.

II Modellbeskrivning

Röken simuleras genom att ett system med partiklar bestående av texturer med transparens-lager för respektive våglängdsband placeras ut i 3D-scenen. Placeringen i scenen sker genom att radien på rökmolnet sätts och under den tid som rökmolnet utvecklas placeras partiklar ut slumpmässigt inom denna sfär. Efter att en partikel placerats ut rör sig denna dels med vinden, dels med ett litet slumpmässigt avstånd som adderas för varje tidsintervall samt att den faller neråt med en depositionshastighet. Depositionshastigheten beräknas m h a luftens viskositet samt partikelstorleken och massan.

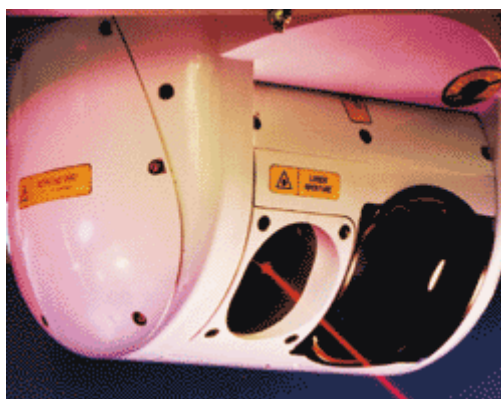
2.5.8 DIRCM

I Allmänt om DIRCM

Riktade lasermotmedel (DIRCM – Directed Infrared Countermeasures) får en allt mer framträdande roll inom telekrigföring i skyddet av den egna plattformen mot hot inom IR-området. Genom att belysa den angripande roboten med riktad strålning av hög intensitet (laser) kan ett DIRCM-system störa ut robotens IR-målsökare genom vilseledning (blinkstörning), bländning eller förstörande verkan.

Ett av dagens största hot i olika typer av konflikter utgörs av manburna robotsystem, såsom MANPADS (MAN Portable Air Defense Systems). Internationellt pågår stora forskningsinsatser att utveckla DIRCM-system för att skydda framför allt flygplan och helikoptrar från detta hot. Riktade motmedel kan även komma att spela en viktig roll för civilt flyg, som är sårbart mot terroristattacker nära flygplatser vid start och landning [OM].

Mer traditionella motmedelsinsatser som facklor kan med framgång användas mot den äldre generationens IR-målsökare, såsom retikelmålsökare. Den nya generationens målsökare kan dock ofta diskriminera facklor genom att använda flera våglängdsband eller avancerad bildbehandling. I detta sammanhang kommer DIRCM att spela en viktig roll, i bekämpningen av morgondagens mer avancerade hot, inte bara i luften utan också på land och till sjöss.



Figur 29 Nemesis, ett DIRCM-system utvecklat av Northrop Grumman.

Ett DIRCM-system som i dagsläget finns i produktion för militärt bruk är Northrop Grummans AN/AAQ-24(V) Nemesis, som används av både Storbritannien och USA för skydd av flygande plattformar [NEMESIS] (se Figur 29).

II Modellbeskrivning

Följande avsnitt ger en kort översikt av DIRCM-modellen som är implementerad i EWSim. En utförligare modellbeskrivning återfinns i en tidigare rapport utgiven på FOI [DIRCM].

I NetScene kan DIRCM kopplas till en valfri plattform, på land, till sjöss eller i luften, för skydd mot optiska hot i form av såsom robotar och sikten. Den aktuella plattformen behöver dessutom tillgång till en eller flera varnare för att upptäcka möjliga hot. Varnare och DIRCM integreras i plattformens VMS-logik (se avsnitt 2.8.1) som automatiskt triggar motmedel beroende på den aktuella hotbilden.

Så snart varningssystemet upptäcker ett hot och beslutar om motåtgärd i form av laserstörning riktar DIRCM-systemet automatiskt in sig i hotets riktning och aktiverar lasern. För att kunna störa ett hot med DIRCM krävs att laserns inriktning är mycket god, med tanke på att den höga intensiteten i strålningen är koncentrerad till ett smalt område. I modellen ingår delar som försvårar en perfekt följning av hotet, bl a atmosfärsturbulens och plattformsvibrationer vilka introducerar slumpmässiga pekfel hos laserstrålen [DIRCM] [LASER].

I de allra flesta fall utgörs hotet av en IR-sökande robot, utrustad med optik för att följa sitt mål. Optiken spelar en viktig roll även för den försvarande sidan. Då ett optiskt system belyses med laser ger den ifrån sig en kraftig signatur till följd av retroreflexen, som kan användas för att DIRCM-systemet noggrannare ska kunna följa hotet (aktiv följning) [DIRCM].

Hur störd en målsökare blir av den laserbelysning som slutligen når hotsensorn beror dels på optikens egenskaper och dels på målsökarens signalbehandling. Ett vanligt exempel på hur man kan störa signalbehandlingen i en målsökare är blinkstörning mot retikel. Optiken är mycket viktig vid laserstörning och beskrivs under ett särskilt avsnitt, 2.5.9.

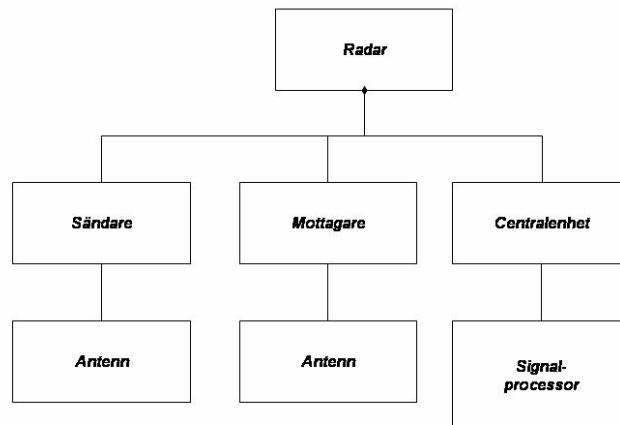
2.5.9 Optik

I optroniska system utgör optiken en central del. Det är optiken som registrerar den elektromagnetiska strålningen från miljön och som t ex gör det möjligt för en IR-målsökare att följa ett mål. Olika typer av optiska system förekommer i en mängd tillämpningar inom telekrigföring, bl a i sikten, sensorer och robotar.

I EWSim används optik för att beskriva en rad viktiga detaljer som påverkar utgången av en telekrigsduell. Framför allt utgör optiken en gränsyta mellan de optiska hoten (målsökande robotar och sikten) och deras motmedel (t ex DIRCM och optikspaning). Centrala parametrar för en optik är bl a synfält och mottagarapertur. Andra viktiga egenskaper i detta sammanhang är lasermålarea (retroreflektion) och ströstrålning. Lasermålarean anger optikens signatur under laserbelysning, vilket påverkar fiendens förmåga att upptäcka och spåra optiken. Ströstrålningen spelar en avgörande roll för hur störd optiken blir under laserbelysning [DIRCM] [STRÖ]. En viktig följd av ströljus är bländning av optiken.

2.6 Dynamiskt Duellverktyg Radarmodeller

Radarmodellen i EWSim är en generisk modell, d v s utgående från samma modell kan man simulera olika radarsystem genom att parametersätta på olika sätt. Radarmodellerna är utvecklade för att underlätta interaktioner modellerna emellan. Det centrala i framtagandet av radarmodellerna har varit telekrigsaspekten, d v s möjligheten att störa och att skydda sig mot störning i radarfallet. Radarmodellen är uppbyggd i modulform där delar med centrala egenskaper har modellerats som egna objekt. De delar som har störst enskild betydelse för modellens uppträdande är sändare, mottagare, antenner och signalprocessor, se Figur 30.



Figur 30 Radarmodellens struktur och centrala delar

Varje radarobjekt har själv ansvaret för att göra erforderliga beräkningar för att ta fram mottagna signaler. En kanaladministratör i EWSim håller reda på radarmottagare och sändare samt inställningarna för dessa. Även passiva objekt, radarmålareor, modelleras med sändare och mottagare vilket gör att kanaladministratören också kan hålla reda på dessa. Då ett radarobjekt ska göra beräkningar för vad den tar emot kommunicerar den med kanaladministratören om vilka sändare som är rätt inställda (frekvens, på eller av etc.) för att radarn ska kunna ta emot signaler från dem. För de sändare som är rätt inställda görs en kontroll om de är skyddade av terrängen eller inte. Radarn har beräknat en terrängkarta där avståndet till terrängen runt om radarn är lagrat. Vid kontroll av terrängmask slås rätt värde upp i terrängkartan och jämförs med avståndet till sändaren. Om sändaren ligger framför terrängen görs mer specifika radarberäkningar för att ta fram måldata. I annat fall sorteras sändaren bort då den inte kan påverka radarmottagaren.

Eftersom radarmodellen är uppbyggd av moduler är det lätt att byta ut t ex en antenn mot en annan utan att behöva ändra i koden. Detta är en förutsättning för att det ska vara lätt att modellera olika system på ett smidigt sätt utan att behöva ha en mängd parametrar som måste ställas in på rätt sätt.

Radarantennerna styrs av avsökningsmönster. Dessa mönster kan man som användare definiera utifrån vissa parametrar för att få de mönster som systemet använder. Ett specialfall är en spaningsradar som har en antenn som snurrar med 2 varv per sekund. Ett annat är en eldledningsradar som i påläsningsfas utför en nickande rörelse för att hitta målet i höjddled.

För att kommunicera radarinformationen finns en radarsignalklass som innehåller information på pulsskurnivå såsom prf (pulsrepetitionsfrekvens), medeleffekt, frekvens etc. Alla objekt

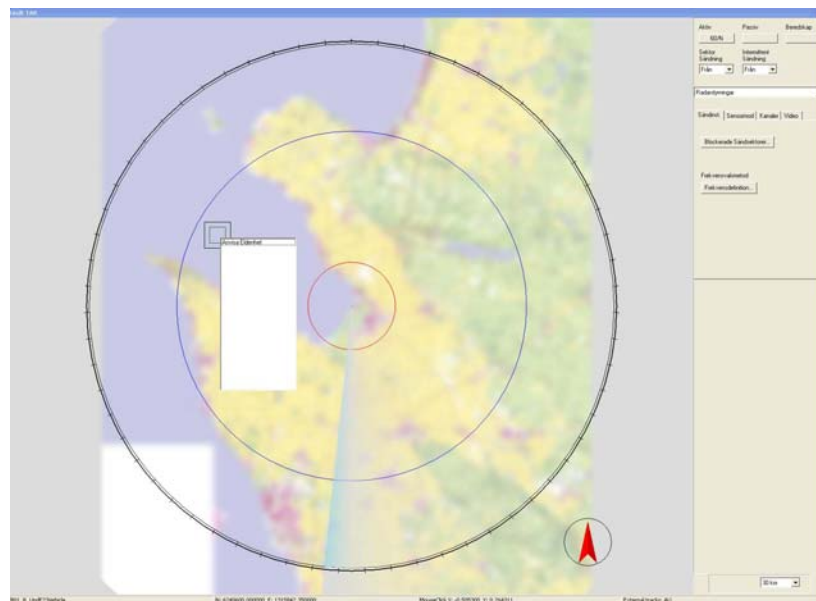
som kan påverka en radarsignal har en radarsignatur som håller reda på alla typer av interaktioner mellan objektet och signalen. Interaktionerna kan vara passiva i form av studs av signalen eller aktiva i form av en radarstörare.

Funktioner som finns i radarn är t ex pulskompression, koherent integration, olika prf-typer, störundertryckning som MTI etc. Vilka funktioner som används beror på vilket system som modelleras.

2.6.1 Spaningsradar

I EWSim finns en parametriserad spaningsradarmodell som efterliknar försvarets under rättelseenhet UndE23. Modellen innehåller ett litet urval av de funktioner som finns i systemet. Inställningar som finns är intermittent sändning som gör att radarn sänder vissa antennvarv. Operatören kan välja att radarn sänder 30%, 50% eller 70% av antennvarven. När valet sker slumpar radarn fram de antennvarv då radarn ska sända av 128 stycken. Denna slumpning gör det svårare att se mönster i radarsändningen. Då antennen snurrat 128 varv upprepas samma mönster. Operatören kan också ställa in blockerade sändsektorer. Dessa sektorer hindrar radarn från att sända just där, men i övriga sektorer sker sändning som vanligt. Radarn kan jobba i aktiv, passiv eller beredskapmod. I aktiv mod sänder radarn själv och kan på så sätt se radarreflektorer. I passiv mod sänder inte radarn själv, men kan se andra radaremittrar och aktiva radarstörare om dessa sänder med inställningar som matchar radarns egna inställningar. I beredskapsläge är radarn i vila.

Ett användargränssnitt har tagits fram för att ge möjlighet att som operatör styra radarn, se Figur 31.



Figur 31 Användargränssnitt för spaningsradar i EWSim.

I användargränssnittet finns möjlighet att ta fram måldata i form av koordinater och bäring för invisning via radio samt att automatiskt skicka målkoordinater till fördefinierade eldenheter.

Spaningsradarn kan störas av radarstörsändaren, se 2.6.3.

2.6.2 Eldledningsradar

I EWSim finns en parametrisering av en eldledningsradar som efterliknar det ryska systemet ZSU23. Det finns inget användargränssnitt, utan all funktion sköts automatiskt eller med viss interaktion genom tangenttryckningar. Eldledningsradarn kan vara i vila, pålåsningsmod, avsökningsmod eller följemod. I pålåsningsmod försöker radarn låsa på mål runt en viss koordinat, i avsökningsmod letar radarn själv efter mål och i följemod har radarn låst på ett mål och upprättat följning.

Avsökningsmönster för antenner används för att modellera pålåsningsförfarande för eldledningsradarn. Då målkoordinater tagits emot från spaningsradar går radarn till pålåsningsmod och dess antenn börjar en nickande rörelse för att hitta målet. Om målet detekteras övergår radarn till följemod och börjar följa. Följningen sker med hjälp av tyngdpunktsföljning, vilket är en förenklad modell av radarföljning, se [RRTRACK].

Då följning är upprättad finns möjlighet till att skjuta projektiler genom tangenttryckning. En linjär ballistikprediktor som beräknar framförhållningen är framtagen. Projektilerna följer ballistiska banor när de är avfyra. Den eldledningsradar som initialt har modellerats är av typen ZSU23 som skjuter skurar av projektiler snarare än enskilda. Därför modelleras varje skur som en projektil med viss radie vilket ger en större träffsannolikhet än om man bara skjuter enstaka projektiler. En fördel med detta sätt att modellera är att man då får med verkan av vibrationer i eldrör vid avfyrning i modelleringen eftersom dessa vibrationer ger en viss spridning av projektilerna.

Eldledningsradarn kan störas av radarstörsändaren, se 2.6.3.

2.6.3 Radarstörsändare

En generisk modell av en radarstörsändare, GenPod, har utvecklats till EWSim. Modellen har utvecklats parallellt med radarmodellen för att kunna utnyttja gemensam struktur. GenPod beskrivs i [GENPOD].

De störsändare som har implementerats i EWSim är brusstörare och repeterstörare. Brusstöraren ställs in med frekvens, bandbredd och effekt och kan sedan stängas av och sättas på. Brusstörsändaren utnyttjar inte någon inkommande radarsignal för analys av frekvens mm. utan är själv aktiv oavsett om någon radarsignal detekteras. I radarn tas brussignaler emot och för dessa beräknas hur stor del av störsignalens frekvensområde som överlappar radarns frekvensområde för att ta fram hur mycket störningen påverkar. Om störsignalens frekvens till någon del ligger inom radarns frekvensområde kommer störsignalen att höja brusnivån i radarn. Effekten brusstörningen har på radarn är alltså att brusnivån höjs. Då radarn letar efter mål kräver den ett visst signal-brus-förhållande för att målet ska kunna detekteras. Om brusnivån höjs tillräckligt mycket kommer alltså målekon att drunkna i bruset.

En enkel repeterstörare finns som tar emot en radarsignal och sedan skickar ut kopior av radarsignalen med viss tidsfördröjning. Repeterstöraren är enkel i den mening att tidsfördröjningen endast gör att målen förskjuts radiellt ut från radarsensorn. Mer sofistikerade repeterstörare finns utvecklade som möjliggör även förskjutning i vinkel genom att analysera radarsensornas sändmönster. Dessa finns dock inte modellerade i EWSim i dagsläget. I radarn tas störsignalerna emot från repeterstöraren och behandlas på samma sätt som om det vore signaler från skrovet. Detta betyder att en brusstörsändare även kan dölja signaler från en repeterstörsändare.

Radarstörsändaren kan störa både spaningsradar och eldledningsradar.

2.6.4 Radarvarnare

En modell av radarvarnare har tagits fram till EWSim. I radarvarnaren kan man ställa in tröskelnivå, frekvensområde, vinkelområde samt vinkelnoggrannhet. Varnaren interagerar med radarsignaler och om signalen kan detekteras tas data ur signalen fram. I dagsläget används varnaren i ett VMS där radarstörsändare automatiskt aktiveras om radarvarnaren ger varning. Radarvarnaren används alltså som en radarmottagare som tar emot radarsignalen så att den kan analyseras i störsändarens signalprocessor. Rent modellmässigt är radarvarnaren uppbyggd på samma sätt, d v s radarvarnaren är en radarmottagare, fast med ytterligare egenskaper.

Radarvarnaren kan aktiveras av radarsignaler från spaningsradar, eldledningsradar eller från radarstörsändare.

2.6.5 Remsor

Remsfällning finns och fungerar på liknande sätt som för facklor (se 2.5.6) men med RCS-information (Radar Cross Section) som funktion av tid och frekvens istället för de typiska egenskaper som facklor har.

2.6.6 Radaroperatör

I EWSim finns mycket enkla modeller av radaroperatörer implementerade. Dels finns en spaningsradaroperatör som skickar målkoordinater till alla sina eldenheter för de mål som befinner sig under en viss höjd och närmare än ett visst avstånd. I dagsläget finns inga urvalsmöjligheter för vilka eldenheter som är kända för spaningsradarn. Målkoordinaterna sänds därför ut till alla eldenheter som finns. En lika enkel modell av operatör för eldledningsradar finns som skjuter mot sin följepunkt om radarn är i följemod och målet som den följer är under en viss höjd och närmare än ett visst avstånd. Gränserna för höjd och avstånd går att ställa in från NetScene.

Radaroperatören möjliggör att en duell kan genomföras med färre mänskliga deltagare eftersom radarn då sköter sig själv. Dock är modellen av operatörerna väldigt enkla. Ett första steg i att utveckla mer komplexa modeller av radaroperatörer är taget i [RROP].

2.7 Dynamiskt Duellverktyg Radiosystem

2.7.1 Allmänt om radiosystem

Ett radiomeddelande överförs genom att modulera en bärvåg. Några exempel på olika modulationstyper är FM (frekvensmodulering) och AM (amplitudmodulering). För att försvåra upptäckt, avlyssning och störning kan sändningen utnyttja någon bandspridningsteknik, t ex frekvenshopp eller direktsekvensspridning.

Det begrepp som oftast används för att fastställa om en kommunikationslänk är av tillräcklig kvalitet kallas SNR (Signal-to-Noise Ratio, *signal till brus förhållande*). Detta är kvoten mellan i mottagaren mottagen signaleffekt (S) och i mottagaren närvarande brus (N). Bruset härrör från många olika källor, men kan delas in i externt brus som leds in via antennen och internt brus som genereras i mottagaren.

De frekvensband som normalt används för taktisk radiokommunikation inom Försvarsmakten är kortvågsbandet (HF, 1.6-30 MHz) och truppradiobandet (VHF, 30-88 MHz). För denna kommunikation finns utrustning som stödjer både röst- och datasändningar, t ex Ra763 (HF) och Ra180 (VHF). Se Figur 32.



Figur 32 Radio 180, för röst- och datakommunikation på truppradiobandet.

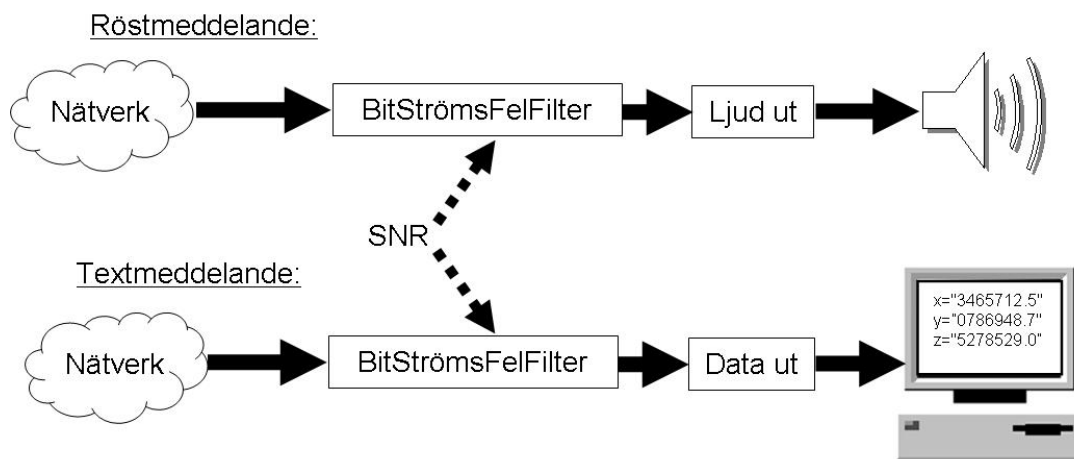
2.7.2 Radiosystem i EWSim

Radiomodellen i EWSim är generisk. Vilken verklig radio den motsvarar bestäms av satta parametervärden. Modellen konfigureras i NetScene, och styrs sedan under simuleringens gång från radiosystemets användargränssnitt i EWSim. Den funktion som hittills simulerats motsvarar en Ra180 med fixfrekvenssändning.

Radiomeddelandena i EWSim kan vara antingen tal eller data. Operatören av ett radiosystem kan kommunicera med en operatör på ett annat radiosystem via röst med hjälp av ett headset. En datasändning kan exempelvis vara en sändning som överför måldata via en digital radiolänk till annan plattform. Baserat på kommunikationslänkens kvalitet presenteras det transmitterade röstmeddelandet i mottagaren med mer eller mindre adderat brus och de digitala datasändningarna med högre eller lägre teckenfelshalt.

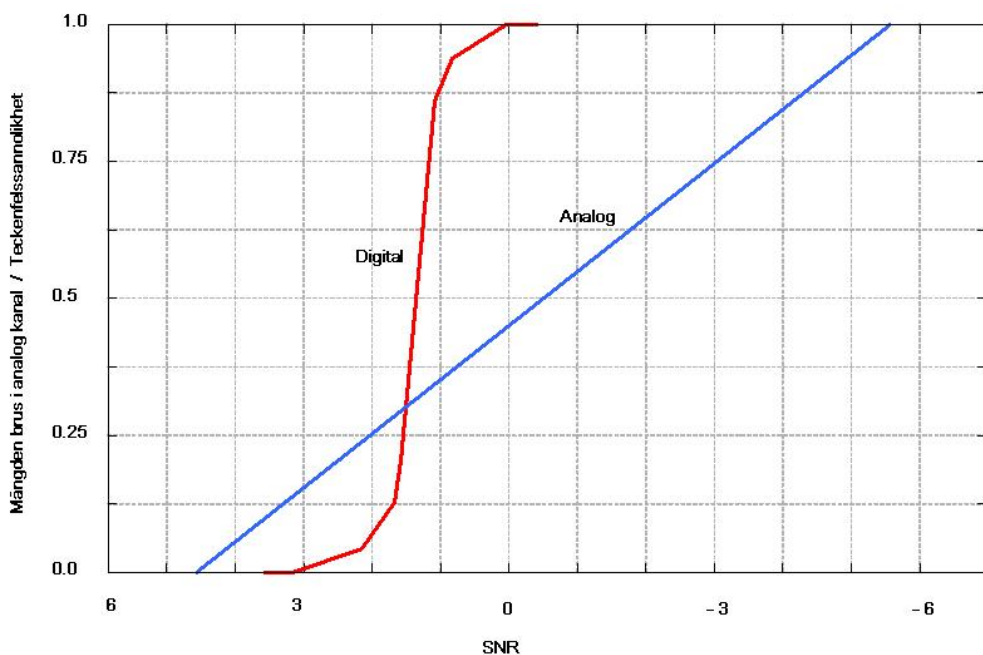
I det simulerade radiosystemet sker beräkning av SNR i mottagaren. Den starkaste sändaren med parametrar som överensstämmer med mottagaren räknas som nyttosignal. Alla andra

sändare som på något sätt påverkar mottagaren ses som störningar som summeras ihop med det allmänna bakgrundsbruset till en bruseffekt. Kommunikationslänkens beräknade SNR avgör hur meddelandet presenteras i mottagaren. En bitfelshalt motsvarande ett visst SNR injiceras i radiomeddelandet via ett digitalt bitfelsfilter innan de transmitterade ljudsampler för röstkommunikationen och bitströmmen för den digitala datasändningen återskapas hos mottagaren, se Figur 33. För ytterligare detaljer kring detta, se [VOIP1].



Figur 33 Hos mottagaren påverkas det mottagna meddelandet med hjälp av ett bitströmsfelfilter innan röst- och datameddelandena återskapas. Mängden fel som bitströmsfelfiltret introducerar beror på radiokanalens SNR.

Ett visst SNR-värde påverkar det mottagna meddelandet med en viss teckenfelssannolikhet innan det återskapas. Förhållandet mellan beräknat SNR och den teckenfelssannolikhet som introduceras av bitströmsfelfiltret i mottagaren visas i Figur 34. Den analoga kurvan har erhållits genom egna kalibreringar medan den digitala har tagits från ett tidigare arbete utfört på S1 i Enköping [S1DIG].



Figur 34 Schematisk figur över teckenfelsannolikhet och mängden brus i analog kanal som funktion av SNR för digital resp. analog kommunikation.

Skillnaden i kurvornas karaktäristik beror framför allt på att vid digital kommunikation kan enstaka fel i kommunikationen korrigeras av mottagaren med hjälp av felrättande koder. När kanalen blir alltför dålig räcker dock inte felrättningen till vilket leder till en mycket snabb ökning av teckenfels sannolikheten. Motsvarande graf för analog kommunikation har ett betydligt flackare utseende, vilket innebär att kanalen försämras gradvis med försämrat SNR-värde. Figuren ovan ger en kvalitativ bild över hur förhållandet mellan SNR och kommunikationslänkens kvalitet är för en digital respektive en analog radiokanal. För ytterligare information se [VOIP1].

I Parametrar

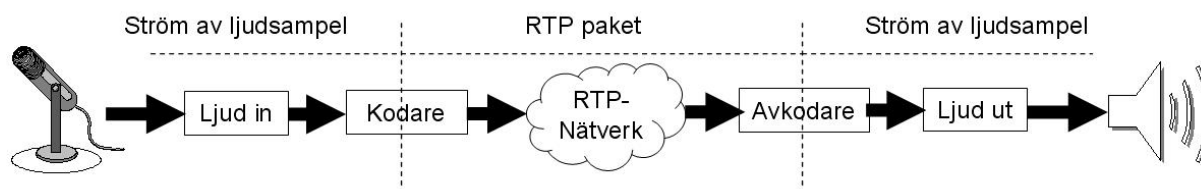
Radiosystemen bygger på parametrar från *BaseEntity*. Parametrar som inte sätts från *BaseEntity* är frekvens, uteffekt samt modulation. Dessa kan ändras via användargränssnittet i EWSim. I NetScene finns dessutom en parameter som beskriver om en VoIP-session (Voice Over Internet Protocol) ska skapas för det aktuella radiosystemet eller inte. Om användaren väljer att inte skapa en VoIP-session så kommer endast digital kommunikation att vara möjlig i EWSim.

II Användargränssnitt i EWSim

Radiosystemets användargränssnitt består av en dialog där frekvens, uteffekt, samt modulation kan ändras. Dessutom finns det en knapp för att initiera respektive avsluta röstsändning.

III Röstsändningar

För att sända röstmeddelanden i EWSim skapas en så kallad VoIP-session. Denna teknik använder sig av RTP-paket (Real-time Transport Protocol) för att skicka ljudströmmen till mottagarna i realtid, se Figur 35. VoIP-sessionen sätts upp och styrs med hjälp av HLA. [VOIP2]



Figur 35 Schematisk bild över ett röstmeddelandes väg från sändare till mottagare.

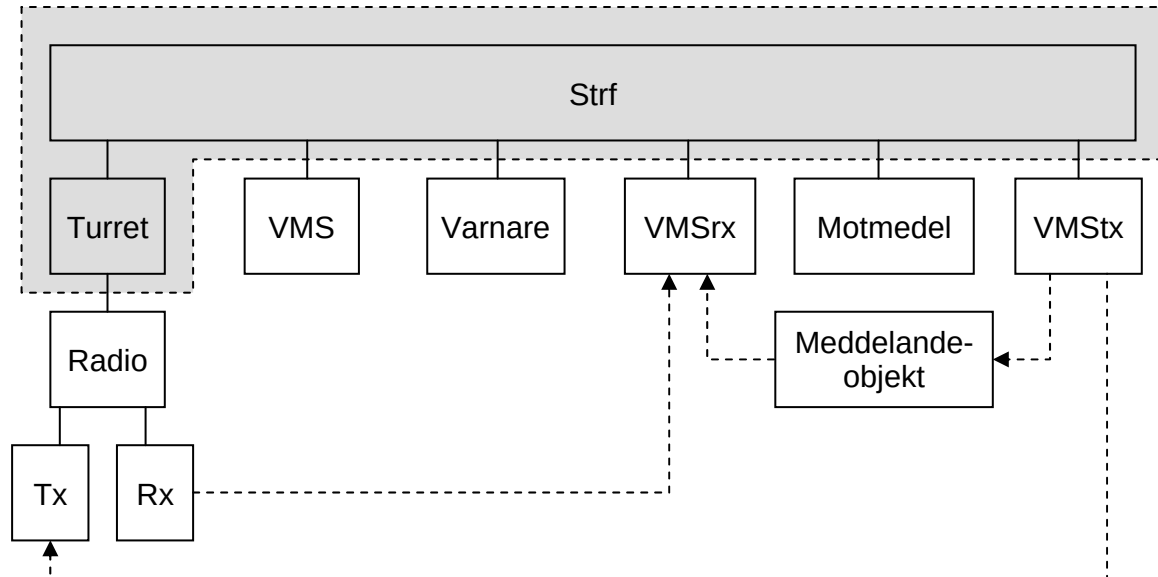
IV Digital kommunikation

Ett av syftena med EWSim är att kunna studera olika scenarier multispektralt och även studera samverkan mellan olika plattformar. Ett sådant exempel är skickandet av en robotskottsvarning till närliggande system, vilket sker per automatik från robotskottsvarningssystemet. Varningen är ett exempel på digital kommunikation. Vilket radiosystem som robotskottsvarnaren använder sig av specificeras i NetScene.

Med VMS i ett nätverk kan varningar som uppkommer på en plattform förmedlas till övriga enheter inom ett förband. Varningen skickas via HLA genom att skapa ett meddelandeobjekt som kan upptäckas av andra plattformars mottagare. Mottagaren kontrollerar med radiokanalen om meddelandet kommer fram och bestämmer i så fall vilken kvalitet meddelandet håller.

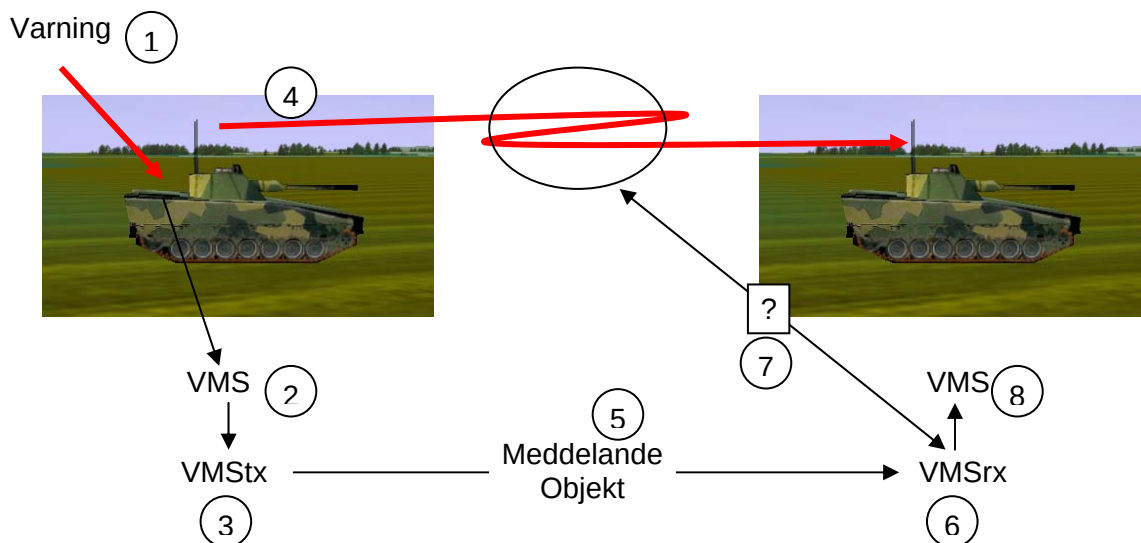
Figur 36 visar hur ett VMS kan konfigureras för varning via radio på ett stridsfordon (vid andra typer av plattformar byts det gråfärgade området ut, t ex mot en helikopter). VMS:et konfigureras med varnare och motmedel och ett skript talar om för systemet vilka motåtgärder

som skall vidtas vid varning från en eller flera specifika varnare (se kapitel 2.8.1 för mer information). I detta sammanhang behandlas en varning mottagen via radio som vilken varning som helst och varning utsänd via radio betraktas av systemet som en motåtgärd. En koppling till ett radiosystem ombord på plattformen gör att den överförda informationen kommer att påverkas av radiokanalens kvalitet.



Figur 36 Ett varnare och motverkanssystem (VMS) på ett stridsfordon som har möjlighet att skicka och ta emot varningar från andra plattformar via radio. Tx = sändare och Rx = mottagare.

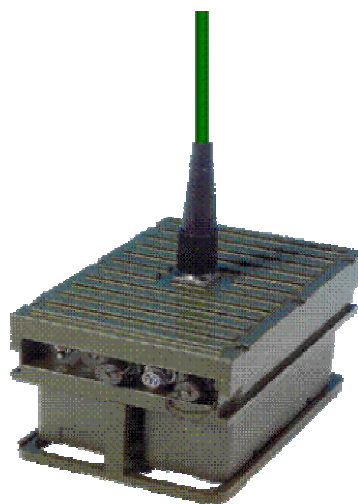
Händelseförloppet vid varning via radio illustreras i Figur 37. ① En varning kommer in till den ena plattformen (denna varning kan t ex vara från en robotskottvarnare, en radarvarnare eller en laservarnare). ② Varningen tas om hand av VMS:et som ③ ger en order till VMS-sändaren att skicka ett meddelande. VMS-sändaren ④ initierar en radiosändning och ⑤ skapar ett meddelandeobjekt. ⑥ Meddelandeobjektet upptäcks av VMS-mottagaren som vid upptäckt ⑦ kontrollerar radiokanalen (sker via radiomottagaren) för att se vilket signal-till-brus (störning)-förhållande (SNR) denna kanal har. Vid dålig mottagning kommer bitfel att introduceras till det mottagna meddelandet innan det ⑧ skickas vidare till VMS-systemet för eventuell motåtgärd.



Figur 37 Händelseförlopp då varningar förmedlas via radio.

2.7.3 Allmänt om radiostörsystem

Radiostörsystem används för att störa motståndarens radiokommunikation och kan delas in i två huvudtyper, när- och fjärrstörsändare. Närstörelaren har begränsad effekt och livslängd. Den står nära sitt mål och stör rundstrålning. Fjärrstörelaren står långt borta och använder rikt-antennerna. Den har i princip obegränsad effekt och livslängd. Störningen kan i båda fallen antingen ske bredbandigt med vitt brus eller kanalvis (smalbandigt). Exempel på verkliga system för fjärr- och närstörelare är MOPS (Modulär PlattformStörning) respektive TARAX [TARAX]. Se Figur 38.



Figur 38 Närstörelaren TARAX.

2.7.4 Radiostörsystem i EWSim

Ett radiostörsystem är egentligen bara en särskild typ av radiosystem. Den generiska modellen för ett störsystem är densamma som för ett vanligt radiosystem. Funktionen styrs av parametervärden, t ex att modulationen är vitt brus istället för FM. Det radiostörsystem som hittills simulerats i EWSim har via parametervärden satts att efterlikna en förenklad TARAX med förmåga att störa bredbandigt med vitt brus inom frekvensområdet 30-88 MHz. Systemet

konfigureras i NetScene, och styrs sedan under simuleringens gång från ett användargränssnitt i EWSim.

Rent simuleringstekniskt kan en störare betraktas som en vanlig radiosändare. Skillnaden ligger endast i att den transmitterade effekten från en störsändare innehåller brus istället för information. Störsignalen kommer därför endast att bidra till N-delen vid beräkandet av en kommunikationslänks SNR-värde. I mottagaren vägs alltså samtliga sändningar och stör-sändningar ihop vid beräkandet av SNR-värdet. Samma grafer som visades i avsnitt 2.7.2 kan alltså fortfarande användas för att beskriva förhållandet mellan SNR och mängden brus i kanalen eller teckenfelsannolikheten.

Radiostörsystemets användargränssnitt liknar radiosystemets. Där kan frekvensen, uteffekten, samt modulationen på störningen ändras. Dessutom finns det en knapp som initierar och stänger av störningen.

2.7.5 Vågutbredningsberäkningar

I dagsläget finns två möjligheter att beräkna vågutbredning för kommunikation. Den ena är en enkel frirymdsberäkning där hänsyn endast tas till frekvens och avstånd mellan sändare och mottagare. I den andra mer avancerade modellen används delar av vågutbredningsbiblioteket Detvag-90® [DETVAG]. Detvag-90 har utvecklats på Institutionen för Informationsöverföring på FOI och används bland annat i WRAP [WRAP] och Freke-Tavast [F-T]. Den Detvag-modell som används i EWSIM är kvadratrotmodellen. Modellen kombinerar en sfärisk-jord-modell med en kniveggsmodell (3 eggar) och tar hänsyn till både höjd- och terrängdata, se Figur 39. Modellens giltighet är till viss del beroende av antennhöjder och terrängens beskaffenhet, men kan generellt sägas ligga mellan några MHz upp till några GHz.

Terrängdata översätts under beräkningen till konduktivitet och relativ dielektrisk permittivitet. Datat läses in i datorns primärminne då en simulering startas, vilket gör att beräkningarna är mycket snabba, c:a 10 ms för en 10 km förbindelse med 50 m upplösning.

I modellen ingår endast beräkningar längs med en terrängprofil. Flervägsutbredning via t ex studsar i bergssidor tas inte hänsyn till.



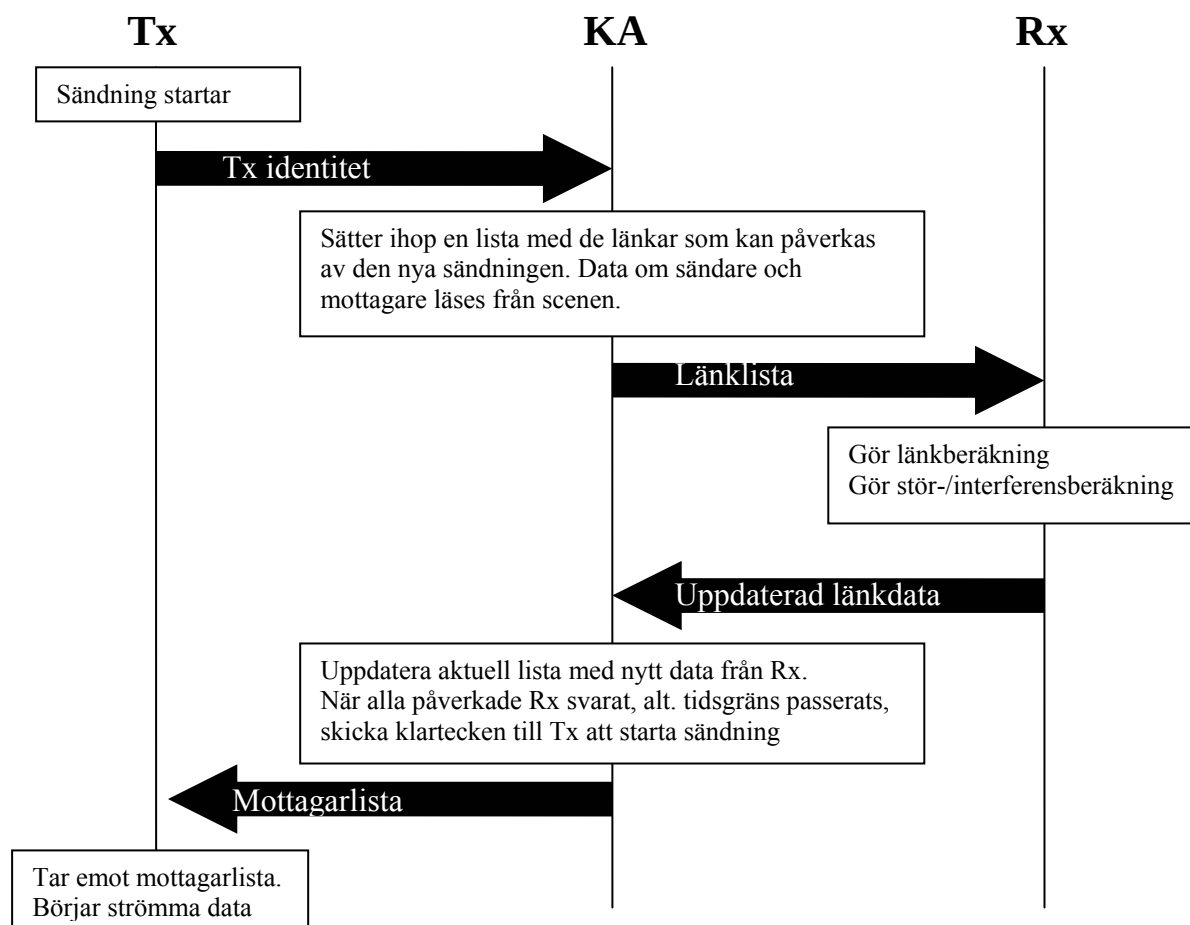
Figur 39 Kniveggsmodellen med de tre dominerande eggarna i en terrängprofil.

2.7.6 Kanaladministratör

Antalet möjliga förbindelselänkar stiger snabbt med antalet kommunikationsutrustningar. För att hålla reda på alla dessa länkar har en kanaladministratör (KA) utvecklats. KA kan även användas för motsvarande typer av länkar inom t ex radar. KA är framtagen för att få följande förmågor:

- Bättre översikt och enklare datahantering.
- Minskat antal beräkningar genom återanvändning av redan beräknade länkar.
- Loggning av länkar och förbindelsekvalitet.
- Minskad dubbellagring av data.

KA består framför allt av två listor, en historiklista (HL) och en aktuell lista (AL). HL är en logg över avslutade förbindelser, inkluderande data om sändare, mottagare och förbindelselänken. AL beskriver de förbindelser som är aktiva för tillfället. båda dessa listor uppdateras kontinuerligt under simuleringen. I Figur 40 ges en schematisk bild över hur KA fungerar då en sändning initieras från sändaren.



Figur 40 Exempel på kanaladministratörens roll: Händelsekedja då en sändning startas.
KA = kanaladministratör, Tx = sändare och Rx = mottagare.

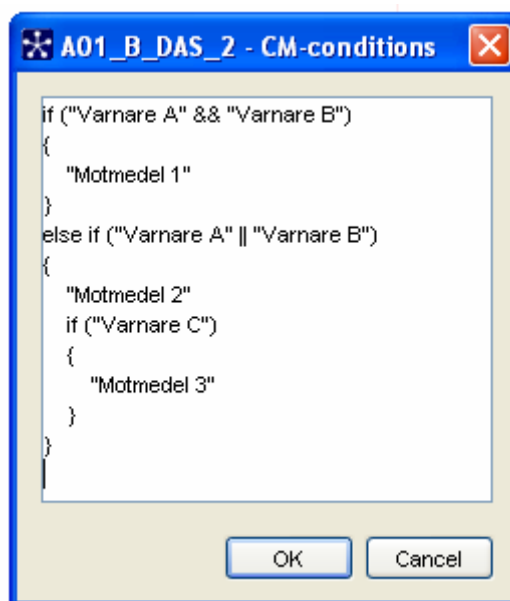
Informationen i HL och AL lagras i form av länkobjekt, där ett länkobjekt innehåller data om inställningar på sändare och mottagare samt beräknade värden för förbindelselänken, t ex signalkvalitet. Den information som KA behöver för att sätta ihop länkobjekten läses från scenen. Observera att KA är ett instrument för att hantera data om signalen, själva innehållet i meddelandet hanteras inte.

2.8 Dynamiskt Duellverktyg Systemmodeller

2.8.1 VMS-logik

Detta avsnitt handlar om sammankopplingen av varnare och motmedel vilka tillsammans utgör den aktuella plattformens VMS (varnare- och motverkanssystem). Olika typer av varnare och motmedel har beskrivits tidigare i rapporten. Något kortfattat kan man säga att varnarnas uppgift är att upptäcka de hot som dyker upp och registrera riktningen som de närmar sig från. Utifrån denna riktning motverkas hoten efter bästa förmåga med de motmedel som finns att tillgå, t ex genom att kasta rök eller facklor eller genom laser-, radio- eller radarstörning.

Aktiveringen av motmedlen måste i de flesta fall ske mycket snabbt (högst ett fåtal sekunder) för att ge plattformen en rimlig överlevnadschans. Det finns mycket att vinna på en automatisk aktivering av motmedel som är anpassade till det givna hotet. I EWSim sker en logisk sammanvägning av registrerade varningar för att generera en lämplig motåtgärd. Denna logik är konfigurerbar i NetScene, i en enhet som kallas *DAS* (efter engelskans Defensive Aids Suite). Logiken ges i form av en textsträng som kopplar ihop id för varnare med id för motmedel i en logisk satsstruktur (lik den i C++). Ett exempel på detta ges i Figur 41.



Figur 41 Varnare och motmedel kopplas ihop i en logisk struktur.

Satserna avkodas med speciella nyckelord:

if, else if, else, { }, " ", &&, ||, !, ()

`if` och `else if` testar logiska uttryck som ska omges av parenteser och byggs upp av:

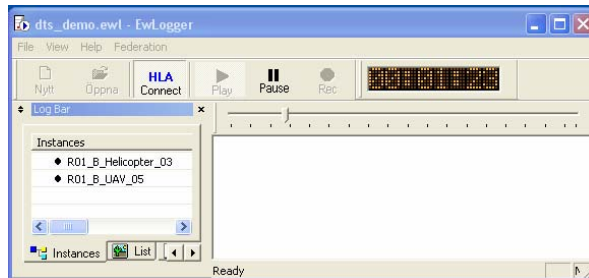
- Id för varnare som anges inom " ". När det logiska uttrycket evalueras omvandlas dessa till värdena *sant* eller *falskt*. Om varnaren finns på plattformen och har genererat en varning så genereras värdet sant, annars falskt.
- De logiska operatorerna OCH (&&), ELLER (| |) och NOT (!), vilka är logiska operationer i enlighet med den boolska algebran.
- Parenteser som visar i vilken ordning uttryck ska evalueras. Om inga parenteser anges har ! högst prioritet, följt av && och sist | |.

I exemplet i Figur 41 är den första `if`-satsen sann om varnarna med id "Varnare A" och "Varnare B" tillhör den aktuella plattformen och har gett varning från samma riktning.

Om ett givet logiskt uttryck är sant genomförs operationerna inom klamrarna { } som ska följa direkt efter. I exemplet kommer motmedel med id "Motmedel 1" att aktiveras (såvida det finns ett sådant motmedel på den aktuella plattformen). På samma sätt aktiveras "Motmedel 2" om någon av "Varnare A" eller "Varnare B" gett varning. "Motmedel 3" aktiveras om dessutom "Varnare C" varnat.

2.9 Loggningsverktyg, EWLogger

EWLogger är ett verktyg för att lagra, analysera och återuppspela en HLA-simulering. Det går att köra EWLogger som konsolapplikation, windows-applikation eller integrerat i en HLA-federat. Användargränssnittet för EWLogger visas i Figur 42.



Figur 42 Användargränssnitt för EWLogger.

EWLogger kör hela tiden i bakgrunden och loggar kontinuerligt de data som utbyts över HLA. Den fungerar snarlikt en "bandspelare" med funktioner som play, rec och pause. Vid återuppspelning, kan man med en timeslider snabbt hoppa till en önskad tidpunkt i simuleringen och fortsätta uppspelningen ifrån den tidpunkten. Ett flikfönster med en instansvy visar aktiva objekts status.

2.9.1 Filformat, objektlagring

En logg består av tre filer, projektfil (ewl) med översiktlig information om körningen, deltafil med HLA-förändringar i tidsordning samt en keyframefil som gör att man enkelt kan läsa upp alla objekts tillstånd i ett givet ögonblick. Allt lagras med hjälp av HLA-encoders för att göra det möjligt att enkelt läsa filerna under alla operativsystem som MOSART stödjer (Windows XP, Linux, Sun Solaris).

2.9.2 Design

Baskomponenterna för EWLogger är skrivna för att dels kunna integreras i andra applikationer dels för att kunna kompileras under de operativsystem som MOSART stödjer. All loggning sker i en separat tråd för att påverka simuleringens tidsteg så lite som möjligt. Utöver ett grundläggande API för loggning så finns även ett ramverk som följer observer pattern för uppdatering av multipla vyer (förberedelse för framtida utbyggnad).

2.9.3 Framtida utbyggnad

En framtida utbyggnad av loggningsverktyget skulle kunna inkludera:

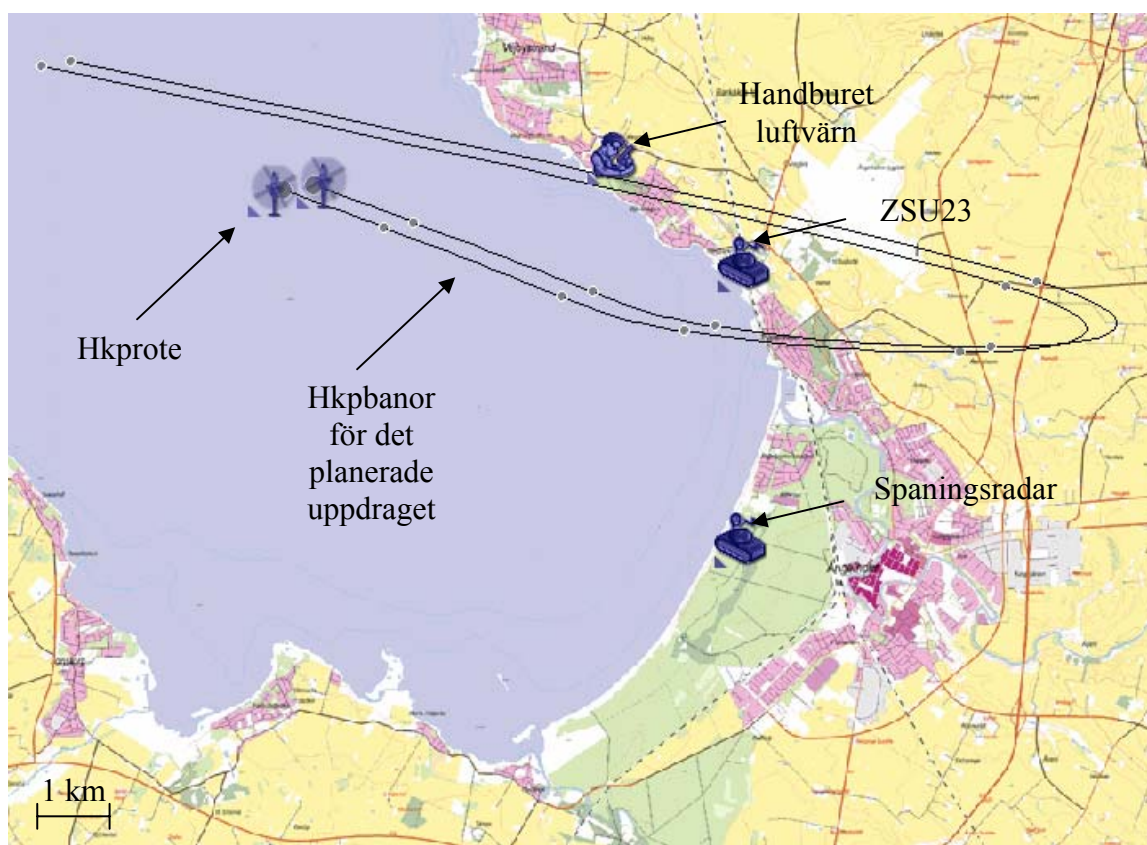
- Möjlighet att starta en ny simulering från en önskad punkt i en inspelning. En ny simulering ska då börja exekveras med förutsättningar som de såg ut vid denna punkt vid inspelningstillfället.
- Fler analysvyer och grafer.
- Kommentarer knutna till en viss tidpunkt (HLA-objekt).
- Möjlighet att köra inspelade scenarier med nya parametrar för utvärdering.
- Federation Manager-funktionalitet, för att underlätta körningar.

3 Exempel på simulerade scenarier

I det här avsnittet ges några exempel på hur EWSim kan användas. Ett grundscenario med ett blått lag och ett rött lag har satts upp. Det blåa lagets mål är att hämta upp nödställda inne på rött område, vilket skall efterlikna en CSAR⁶-insats. Ett flertal variationer på grundscenariot, avseende vilka moduler som ingår i scenariot, har simulerats. Förutsättningarna för de båda lagen varierar därför mellan de olika presenterade exemplen. I samtliga fall har exekveringen delats upp på flera federater.

3.1 Scenarieomgång 1

Scenario 1 skildrar en situation mellan blått lag bestående av två hkp14 och rött lag bestående av en MANPADS-skytt (handburet luftvärn), en spaningsradar samt en luftvärnskanon med eldledningsradar, ZSU23. Helikoptrarna flyger i rote utmed förutbestämda banor och enheterna i rött lag är placerade utmed strandkanten, se Figur 43.



Figur 43 Scenario 1 där två helikoptrar i rote flyger in till område med spaningsradar och två olika typer av luftvärn.

Bakgrunden till scenariot är att blått lag har till uppgift att genomföra en CSAR-operation och hämta upp nödställda. Blå sida har ingen kännedom om vilken fientlig närvaro som finns i området och har inga motmedel i beredskap.

Rött lag har grupperat längs strandkanten. Spaningsradarn har möjlighet att ge målinvisning till både ZSU23 och MANPADS.

⁶ Combat Search And Rescue

3.1.1 Ingående entiteter

Här följer en beskrivning av de ingående entiteterna i scenariot. Modellerna är parametersatta generiska modeller och speglar därför inte ett specifikt system. Genom lämpligt val av parametrar kan önskat system efterliknas.

I Helikopter 14

Helikoptrar går i rote enligt förutbestämd bana.

II MANPADS-skytt

MANPADS-skytten har en fire-and-forget-robot som kan få invisning från spaningsradarn. Roboten är utrustad med en korrelationsmålföljare.

III Spaningsradar

Spaningsradar som har möjlighet att skicka målkoordinater både till sin eldenhet, ZSU23, och till MANPADS-skytten.

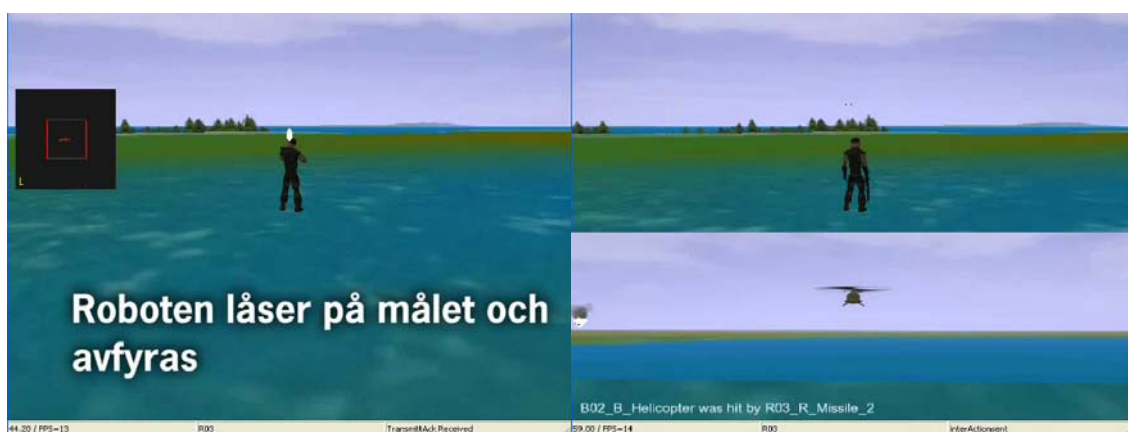
IV ZSU23

ZSU23 kan ta emot målkoordinater från spaningsradar. Om ZSU23 lyckas låsa på ett mål och upprätta följning kan den avfira projektiler. Räckvidden är ca 2,3 km.

3.1.2 Scenario 1:1

I scenario 1:1 skildras situationen där en rote bestående av två helikoptrar, utan motmedel, kommer in mot ett område där spaningsradar kan upptäcka dem. Spaningsradarn kan invisa en luftvärnskanon av typen ZSU23 eller ett handburet luftvärn. Båda typerna av luftvärn står placerade så att de har fri sikt till helikopterroten när de blir invisade av spaningsradarn. Invisningen sker med datakommunikation.

Under simuleringen av scenariot upptäcks målet av spaningsradarn som invisar ZSU23 och det handburna luftvärnet. Vid första invisningen är helikoptrarna utanför räckvidden för ZSU23 men tillräckligt nära det handburna luftvärnet som skjuter iväg en missil. Utan motmedel blir en av helikoptrarna i roten bekämpad av roboten.



Figur 44 Robotskytt skjuter handburen robot mot en helikopter i rote (till vänster). Roboten träffar den ena helikoptern (till vänster i bilden nere till höger).

Den andra helikoptern flyger vidare och spaningsradarstationen kan invisa på nytt. Vid detta tillfälle är helikoptern inom ZSU23:ns räckvidd och kan bekämpas av denna.



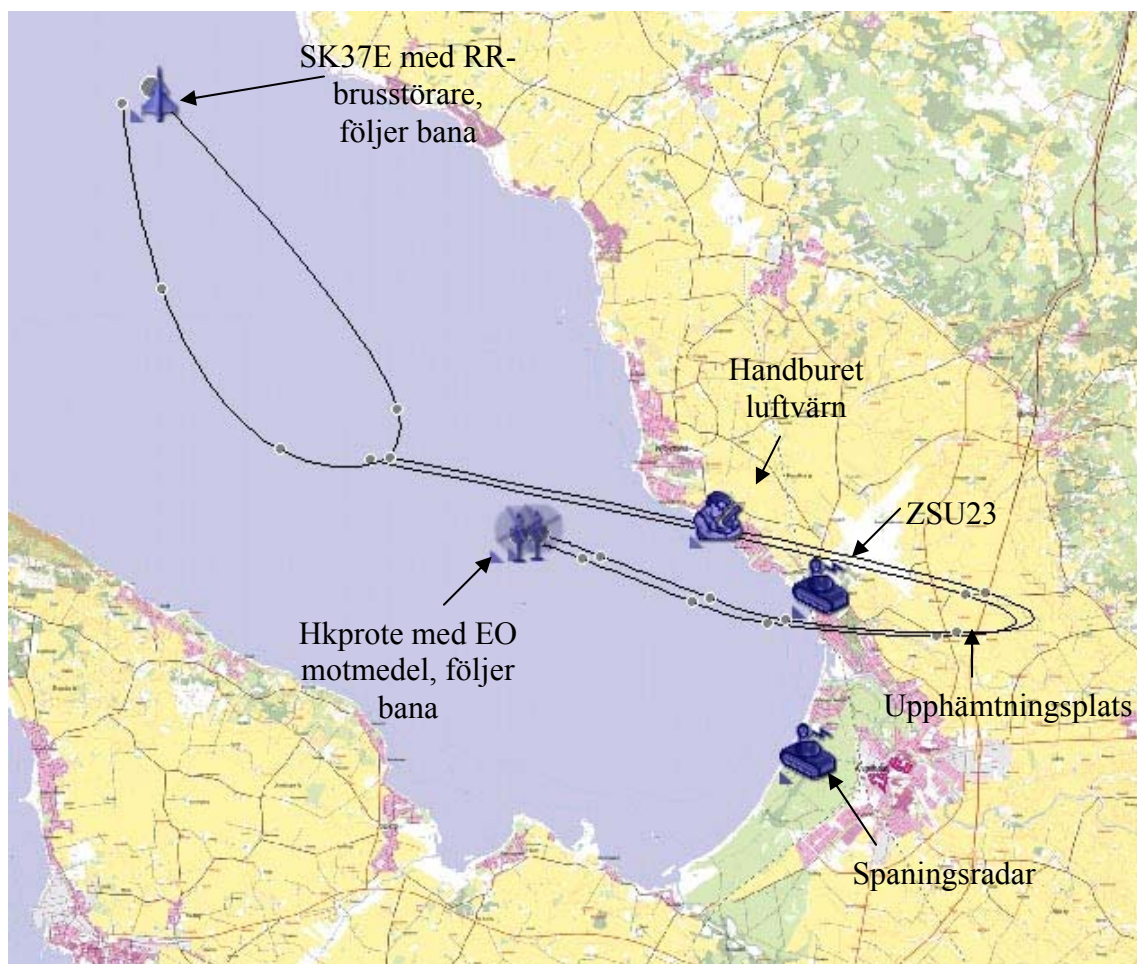
Figur 45 Den andra helikoptern blir bekämpad av projektiler från ZSU23.

3.1.3 Scenario 1:2

Scenario 1:2 är en variant av det tidigare scenariot. Det är fortfarande en helikoterrote utan motmedel som flyger in i ett område med spaningsradar, en ZSU23 och ett handburet luftvärn. Skillnaden i detta fall är att eldenheterna inte är optimalt grupperade utan får via radio order om att förflytta sig till rätt position innan invisning ges. I scenariot hinner bara det handburna luftvärnet omgruppera sig för verkan. När denna är på plats skickas bekräftelse på radio och invisning sker via datakommunikation. Båda helikoptrarna blir bekämpade.

3.2 Scenarieomgång 2

Scenario 2 skildrar en situation mellan blått lag bestående av två hkp14 samt ett SK37E och rött lag bestående av en MANPADS-skytt, en spaningsradar samt en ZSU23. Helikoptrarna är utrustade med elektrooptiska motmedel och flyger i rote utmed en bana. SK37E har en radarbrusstörare och följer även den en bana. Enheterna i rött lag är placerade utmed strandkanten. Uppställningen visas i Figur 46.



Figur 46 Scenario 2 där två helikoptrar i rote flyger in till område med spaningsradar och två olika typer av luftvärn.

Bakgrunden till scenariot är att blått lag har till uppgift att genomföra en CSAR-operation och hämta upp nödställda. Man har ingen kännedom om vilken fientlig närvaro som finns och väljer därför att gå in skyddade av radarstörning i form av bakgrundsbrus.

Rött lag har grupperat längs strandkanten. Spaningsradarn har möjlighet att ge målinvisning. För att undgå upptäckt arbetar spaningsradarn i passiv mod för att ibland gå över till aktiv mod för att minimera sändningstiden. MANPADS-skytten har till uppgift att spana ut över viken och har stående eldtillstånd.

3.2.1 Ingående entiteter

Här följer en beskrivning av de ingående entiteterna i scenariot. Modellerna är parametersatta generiska modeller och speglar därför inte ett specifikt system. Genom lämpligt val av parametrar kan önskat system efterliknas.

I Helikopter 14

Helikoptern kan utrustas med ett VMS som består av en IRST som varnardel och antingen DIRCM eller facklor som motmedel.

II MANPADS-skytt

MANPADS-skytten har en robot med retikelmålsökare och endast visuella spaningsmöjligheter.

III Spaningsradar

Spaningsradar som har möjlighet att skicka målkoordinater till sin eldenhet, ZSU23.

IV ZSU23

ZSU23 kan ta emot målkoordinater från spaningsradarn. Om ZSU23 har lyckats låsa på ett mål och upprättat följning kan den avfyra projektiler. Räckvidden är ca 2,3 km.

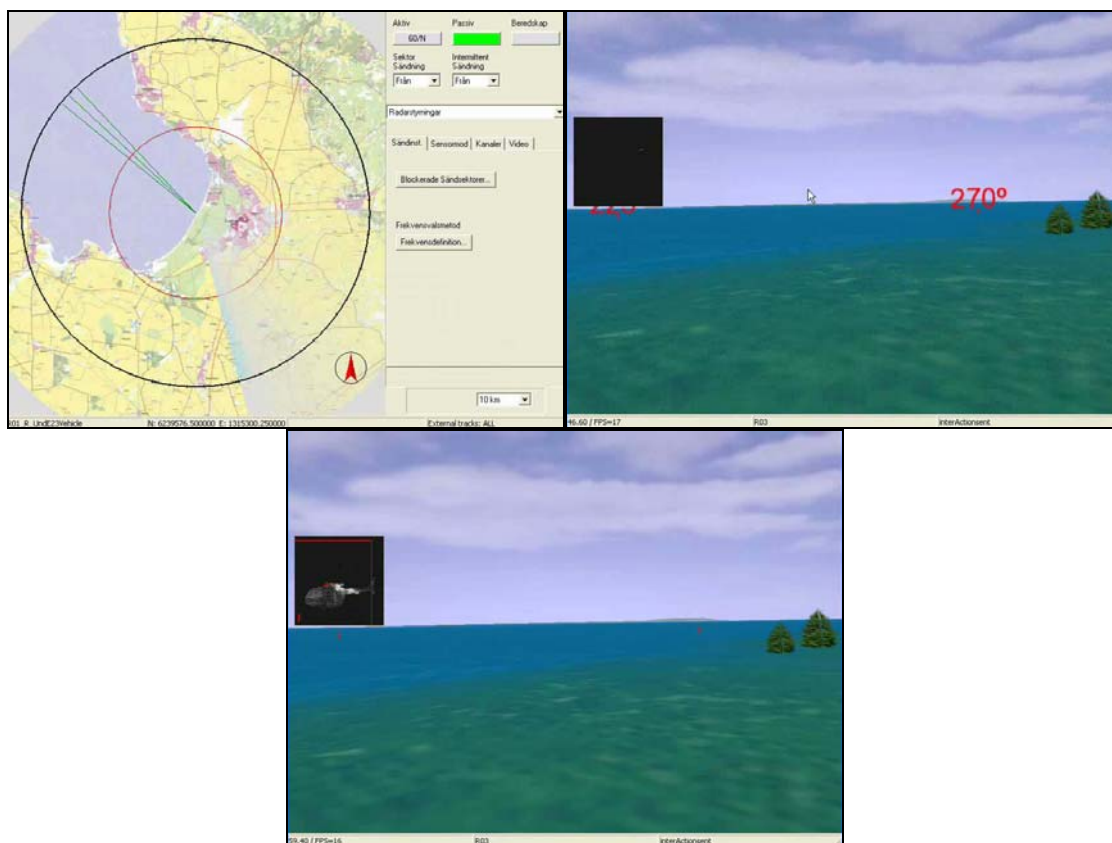
V SK37E

Flygplanet SK37E är utrustat med en radarstörsändare av brusstörningstyp.

3.2.2 Scenario 2:1

I scenario 2:1 är spaningsradarn passiv för att minimera upptäcktsrisken. Två helikoptrar utan motmedel flyger in för att plocka upp nödställda soldater. Helikoptrarna skyddas av radarbrusstörning från ett flygplan som ligger och stör i bakgrunden. Vid inflygningen upptäcks helikoptrarna av en MANPADS-skytt som ser helikoptrarna komma. MANPADS-skytten avfyra en missil som bekämpar en helikopter, eftersom EO-motmedel saknades i detta fall.

Bildserie från förloppet visas i Figur 47.



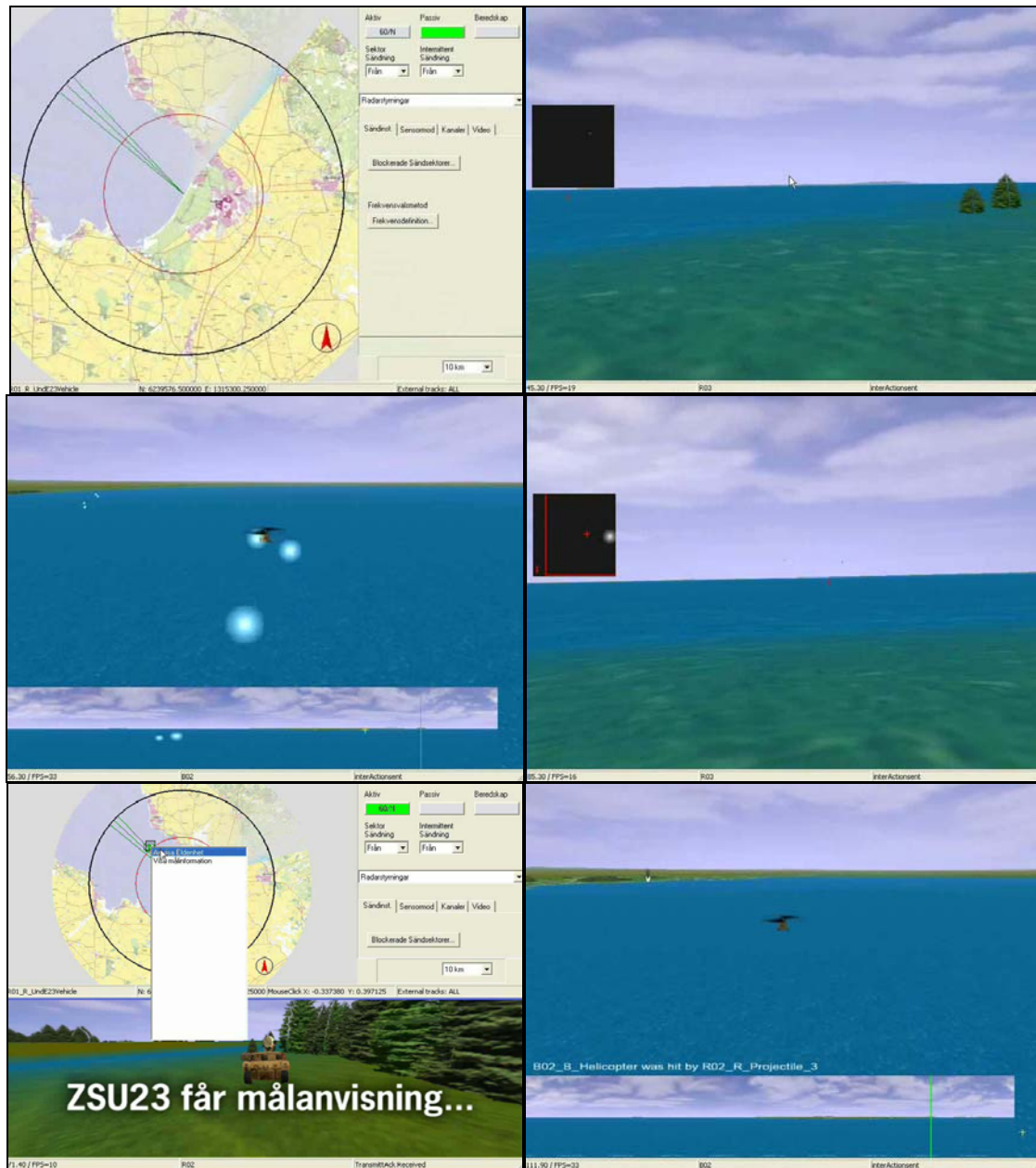
Figur 47 Spaningsradarn arbetar i passivt läge (bilden överst till vänster). MANPADS-skytt ser helikoptrar visuellt och låser på (bilden överst till höger). Inget motmedel finns och missilen träffar helikoptern som bekämpas (bilden nederst).

3.2.3 Scenario 2:2

I scenario 2:2 är spaningsradarn passiv för att minimera upptäcktsrisken. Två helikoptrar med VMS flyger in för att plocka upp nödställda soldater. Som varnare har helikoptrarna IRST och som motmedel facklor. Helikoptrarna skyddas av radarbrusstörning från ett flygplan som ligger och stör i bakgrunden. Vid inflygningen upptäcks helikoptrarna av en MANPADS-skytt som ser helikoptrarna komma. MANPADS-skytten avfyrar en missil. Missilen upptäcks av helikoptrarnas IRST som ger varning varpå fackelfällning aktiveras. Facklorna hakar av missilen som missar.

Som taktik övergår spaningsradar till aktiv mod för att kontrollera att inga mål finns. Eftersom helikoptrarna råkar flyga utanför det brusstörda stråket upptäcks de av radarn som invisara målen till eldenhet. Eldenheten låser på och avfyrar mot helikoptrarna som bekämpas.

Bildserie från förloppet visas i Figur 48.

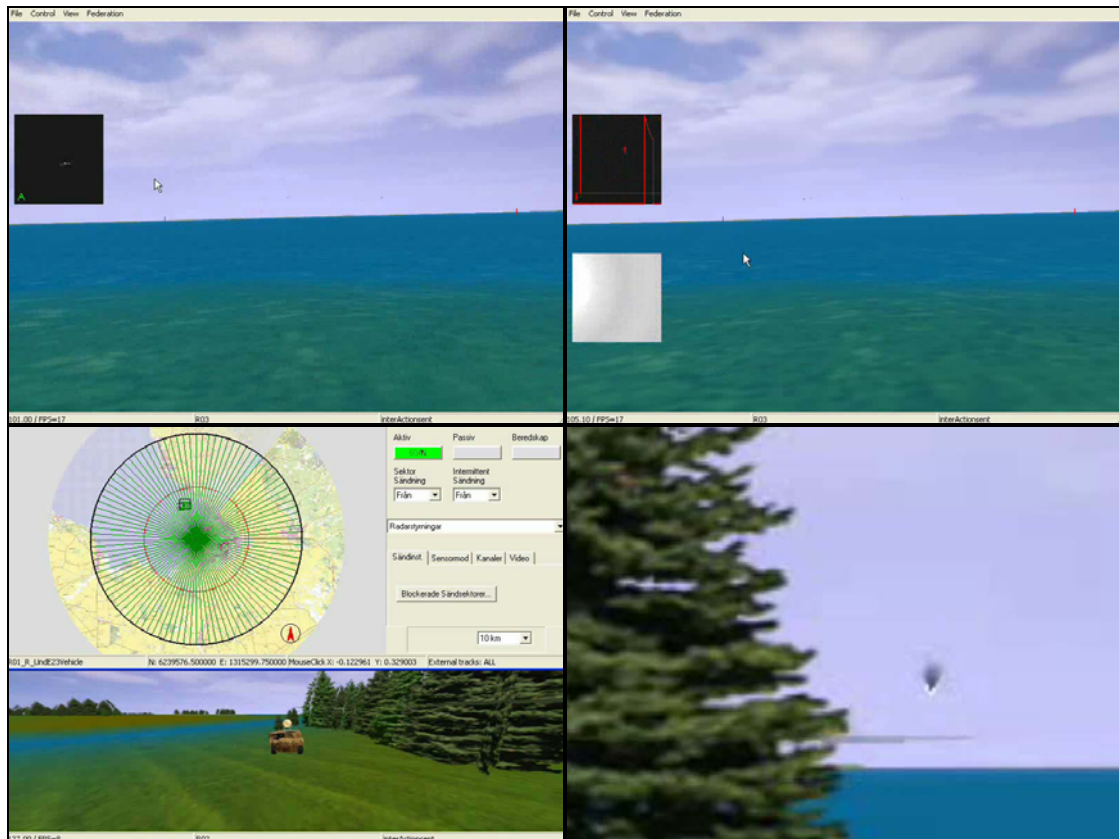


Figur 48 Spaningsradarn arbetar i passivt läge (bilden överst till vänster). MANPADS-skytten upptäcker helikoptrarna och låser på (bilden överst till höger) och avfyrar en missil. Helikoptrarnas VMS detekterar missilen och fäller facklor som motmedel (bilden i mitten till vänster). Målsökaren hakar på facklorna i stället för helikopter (bilden i mitten till höger) och missilen missar. Radarn övergår till aktiv mod och upptäcker helikoptrarna. Måлкоординater skickas till eldenhet (bilden nederst till vänster). Helikopter bekämpas av eldenheten (bilden nederst till höger).

3.2.4 Scenario 2:3

Scenario 2:3 skiljer sig från 2:2 endast genom att facklorna ersätts av laserstörning (DIRCM). Precis som i 2:2 lyckas EO-störningen haka av missilen från MANPADS-skytten. Även här upptäcks helikoptrarna av spaningsradarn som invisar målen till eldenhet. Eldenheten låser på och avfyrar mot helikoptrarna som bekämpas.

Bildserie från förloppet visas i Figur 49.



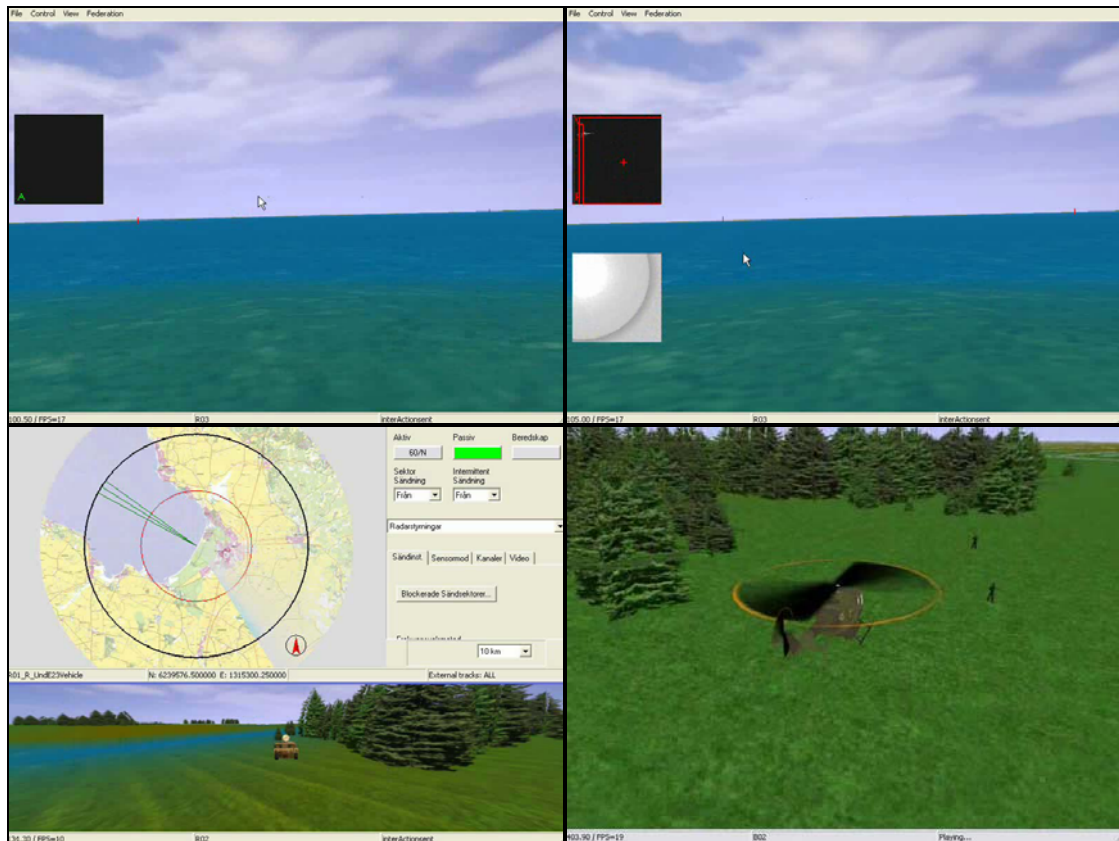
Figur 49 MANPADS-skytten upptäcker helikoptrarna, låser på och avfyrar missil (bilden överst till vänster). DIRCM bländar missilen som hakas av (bilden överst till höger). Spaningsradarn går till aktiv mod. Brusstöraren ligger så nära att brus fås i både i sid- och backlober. Trots det detekteras målen eftersom de ligger inom genombrottsavståndet. Målkoordinater skickas till eldenhet som avfyrar (bilden nederst till vänster). Helikoptrarna bekämpas av eldenheten (bilden nederst till höger).

3.2.5 Scenario 2:4

I scenario 2:4 är spaningsradarn passiv för att minimera upptäcktsrisken. Två helikoptrar med VMS flyger in för att plocka upp nödställda soldater. Som varnare har helikoptrarnaIRST och som motmedel DIRCM. Helikoptrarna skyddas av radarbrusstörning från ett flygplan som ligger och stör i bakgrunden. Vid inflygningen upptäcks helikoptrarna av en MANPADS-skytt som ser helikoptrarna komma. MANPADS-skytten avfyrar en missil. Missilen upptäcks av helikoptrarnasIRST som ger varning varpå laserstörning aktiveras. Missilen hakas av och missar sitt mål.

Spaningsradarn fortsätter i passiv mod. Helikoptrarna upptäcks inte av radarn och kan fortsätta in för att plocka upp de nödställda.

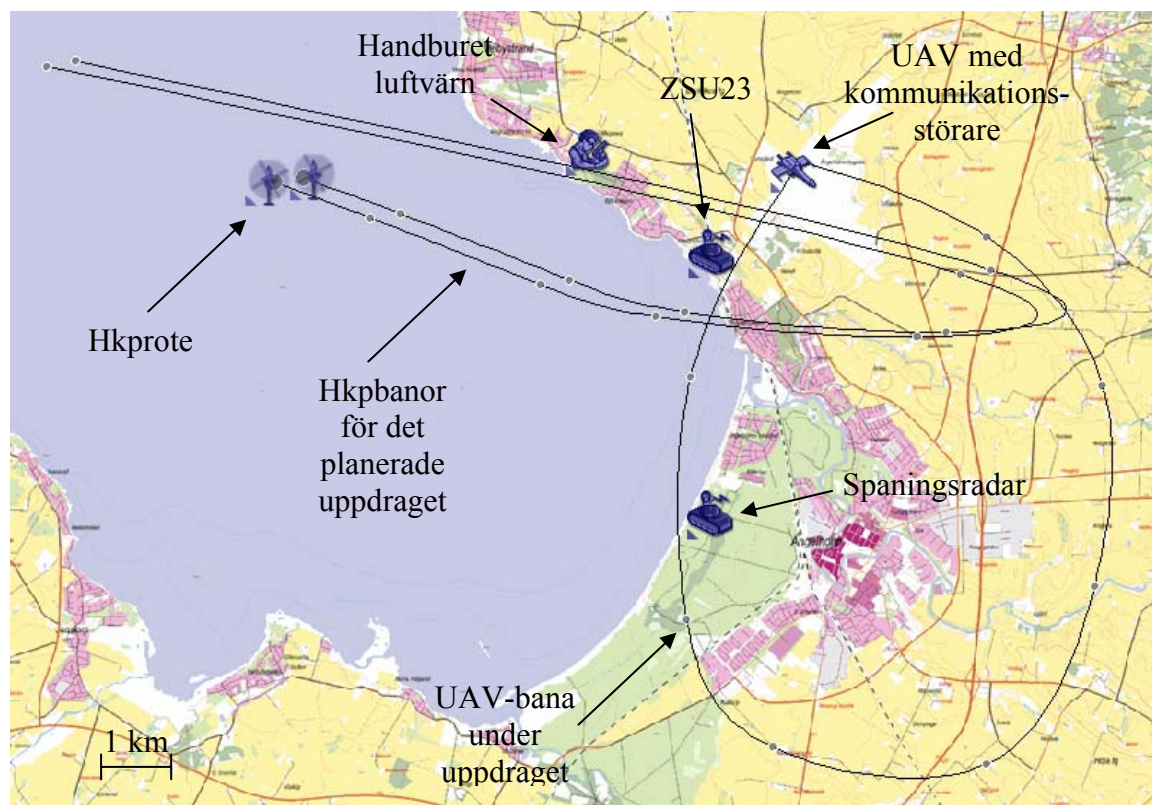
Bildserie från förloppet visas i Figur 50.



Figur 50 MANPADS-skytten upptäcker helikoptrarna och låser på (bilden överst till vänster). Helikoptrarnas VMS detekterar missilen och DIRCM aktiveras som motmedel (bilden överst till höger). Målsökaren bländas och missilen hakas av. Radarn arbetar i passiv mod och upptäcker därför inte helikoptrarna (bilden nederst till vänster). Helikoptrarna kan fortsätta in och plocka upp de nödställda (bilden nederst till höger).

3.3 Scenarieomgång 3

Scenario 3 skildrar en situation mellan blått lag bestående av två hkp14 samt en UAV med kommunikationsstörare och rött lag bestående av en MANPADS-skytt, en spaningsradar samt en ZSU23. Helikoptrarna flyger i rote utmed förutbestämda helikopterbanor, UAV flyger också längs en förutbestämd bana och enheterna i rött lag är placerade utmed strandkanten, se Figur 51.



Figur 51 Scenario där två helikoptrar i rote flyger in i område med spaningsradar och två olika typer av luftvärn. Till helikoptrarnas hjälp finns en UAV i området som kan störa ut motståndarens kommunikation.

Bakgrunden till scenariot är att blått lag har till uppgift att genomföra en CSAR-operation och hämta upp nödställda. Man har ingen kännedom om vilken fiendlig närvaro som finns och väljer därför innan uppdraget påbörjas att låta en UAV utrustad med kommunikationsstörare cirkulera i området.

Rött lag har grupperat längs strandkanten. Spaningsradar har möjlighet att ge målinvisning till både ZSU23 och MANPADS.

3.3.1 Ingående entiteter

I Helikopter 14

Helikoptrar går i rote enligt förutbestämd bana.

II MANPADS-skytt

MANPADS-skytten har en fire-and-forget-robot som kan få invisning från spaningsradar. Roboten är utrustad med en korrelationsmålföljare.

III Spaningsradar

Spaningsradar som har möjlighet att skicka målkoordinater både till sin eldenhet, ZSU23, och till MANPADS-skytten.

IV ZSU23

ZSU23 kan ta emot målkoordinater från spaningsradarn. Om ZSU23 lyckas låsa på ett mål och upprätta följning kan den avfira projektiler. Räckvidden är ca 2,3 km.

V UAV

UAV:n cirkulerar i området och stör med en TARAX-lik störare när kommunikation upptäcks eller har, som i scenario 3:1, störaren på kontinuerligt.

3.3.2 Scenario 3:1

I scenario 3:1 flyger en rote med två helikoptrar in i ett område där spaningsradar kan upptäcka dem. Spaningsradarn kan invisa en luftvärnskanon av typen ZSU23 eller ett handburet luftvärn. Båda typerna av luftvärn står placerade så att de har fri sikt till helikopterroten när de blir invisade av spaningsradarn. Invisningen sker med datakommunikation via en radiokanal. Det som försvårar för spaningsradar och luftvärn är att en UAV med kommunikationsstörutrustning cirkulerar i området. Denna aktiveras innan helikoptrarna kommer inom bekämpningsbart avstånd. Datakommunikation mellan spaningsradar och eldenheter slås ut och när spaningsradarn försöker invisa eldenheterna misslyckas detta då inga meddelanden når fram via radio.

3.3.3 Scenario 3:2

Scenario 3:2 är en variant av scenario 3:1. I detta fall ska dock en verbal kommunikation via radio ske först för att eldenheterna ska omgruppera sig till strandremsan där de kan verka mot helikopterroten. Störaren går i detta fall igång när kommunikation upptäcks av UAV:n eller dess operatör. Inga meddelanden går fram och helikoptrarna kan verka utan att bli nerskjutna.

4 Tillämpningar

Ett av syftena med detta projekt är att resultatet används inom andra projekt. Under utvecklingen av EWSim har det uppkommit ett flertal användningsområden där EWSim-modeller har kunnat utnyttjas. Dessa tillfällen har projektet sett som en tillgång för att på så sätt se behoven som finns. Ramverket har genomgått en tvåstegsutveckling där den första varianten var dåligt generaliserad och ej heller byggde på den standardiserade RPR FOM:en men var en bra start och gick att återanvända till det fortsatta mer generaliserade ramverket.

4.1 Nuvarande tillämpningar

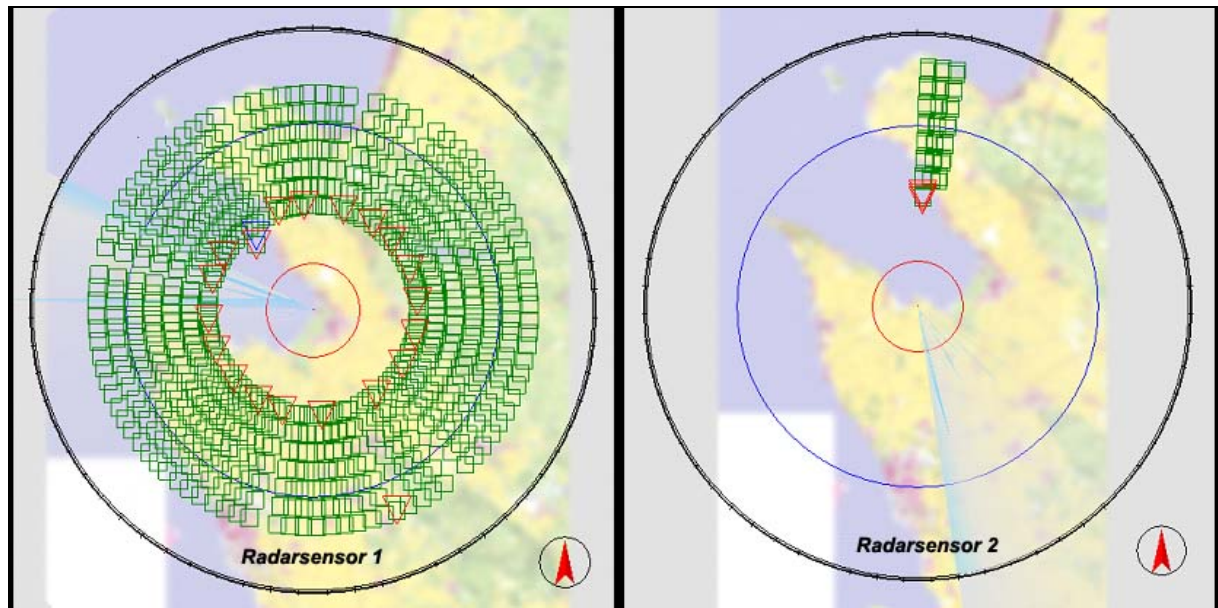
Trots att ramverket inte är klart finns i dagsläget fyra applikationer som bygger på delar av EWSim.

4.1.1 Datafusion i sensornätverk med fokus på telekrig

Projektet Datafusion i sensornätverk med fokus på telekrig (DST) (Strategisk fo-kärna) har under 2005 börjat studera om datafusion är intressant att använda för att minska störkänslighet hos sensornätverk. I ett första försök har radarfallet studerats då luftvärnet har visat intresse för denna form av störundertryckning. Tanken är att falska mål representeras olika på olika sensorer medan de sanna målen överensstämmer i position och rörelsemönster hos olika sensorer. Genom att fusionera data från flera sensorer hoppas man kunna sortera bort de falska målen.

För att genomföra ett första test har radarmodellen i EWSim utnyttjats. Ett scenario bestående av två radarsensorer och ett störflygplan med DRFM-störare⁷ togs fram i NetScene. Flygplanet följde fördefinierade banor och radarsensorerna var markfasta. Radarsensorerna var aktiva under genomförandet och följde målet med målspårsföljning. De målspår som varje radar skapade distribuerades över nätverket så att datafusionsalgoritmen kunde ta hand om dem. Efter datafusionen skickades de fusionerade målspåren ut över nätverket så att radar-sensorerna kunde ta emot och presentera dem i användargränssnittet. I användargränssnittet presenteras rådata (mål som ses men inte följs) som gröna kvadrater. Målspår presenteras som trianglar, ihåliga röda om de är från den egna sensorn, ihåliga blå om de är från en annan sensor och ifyllda lila om de är fusionerade. Bilder från ett försök visas i Figur 52.

⁷ Digitalt RadioFrekvent Minne – en teknik som används för att digitalt spela in en radarsignal för att sedan kunna repetera den med viss tidsfördröjning.



Figur 52 Bilder från försök med datafusion som störundertryckning. Sensorns egna målspar visas som tomma, röda trianglar. Målspar från annan sensor visas som tomma, blå trianglar.

Målsparföljaren är inställd på att endast skapa 10 målspar, d v s om 10 målspar finns kommer inga nya att skapas. I Figur 52 ser man endast egna och annan sensors målspar för radarsensor 1 och endast egna målspar för radarsensor 2. Fusionsalgoritmen har inte tagit fram fusionerade målspar, men man kan se att trots att sensor 1 är totalt utstörd och följer mål runt om har sensor 2 endast mål i en riktning. Det sammanslagna resultatet gör att många falskmål kan diskrimineras och större säkerhet uppnås för det korrekta målet.

Resultatet av det genomförda första testet rapporteras under december 2005.

4.1.2 VMSSIM

För att studera och öka kunskapen om duellen mellan VMS på stridsfordon och olika hotssystem, har en simuleringsmodell med EWSim-ramverket som bas utvecklats under hösten 2003. En förbättrad version utvecklades under 2004. Denna utveckling har skett på uppdrag av FMV för markstridsskolans *studieförsök VMS strf*.

I simuleringsmodellen kan ett stridsfordon (strv122 eller strf90) konfigureras med ett VMS. Dessutom kan egenskaper för fordonet i form av acceleration, rotation, mm ställas in. VMS består av varnare (laser eller UV), motverkan och systemfunktioner. Inställningar av systemfunktioner kopplar varning till motverkan, ställer in systemtider och bestämmer om motverkan skall ske automatiskt, semiautomatiskt eller manuellt. Motverkan kan bestå av rök, moteld, manöver eller av att ett textmeddelande visas för användaren. Ett hotssystem i form av ett annat stridsfordon eller en pv-robot kan konfigureras. För användaren kan olika vyer konfigureras, se Figur 53.



Figur 53 Vy hämtad ur simuleringsmodellen för VMS stridsfordon. Uppe till vänster ser vi VMS-fordonet bakifrån. Uppe till höger och nere till vänster är två vyer från skytten på VMS-fordonet (det ena är en IR-vy). Nere till höger syns VMS-fordonet från hotets vy. Den lilla rutan markerad med varning visar att en varning har uppfattats av fordonets VMS och att det är en laseravståndsmätare som mätt in fordonet. Den röda sektorn i denna ruta visar den sektor där laservarning mottagits.

4.1.3 Störning av multisensorsystem

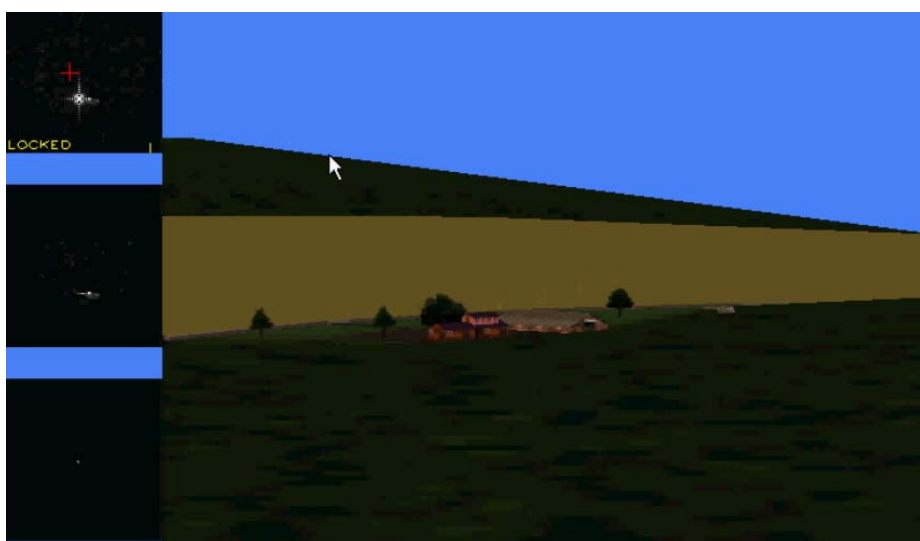
Inom ett FoT projekt på FOI, Störning av multisensorsystem, studeras möjligheten att störa en robot vars målsökare använder en 35 GHz-radar kombinerat med en bildalstrande IR sensor inom våglängdsområdet 8-9 μm . I de scenarier som studerats avfyras denna robot från en helikopter på ett avstånd av 6 km från ett stridsfordon. Roboten går sedan på konstant höjd mot detta stridsfordon. Både ostörda närmandeförlopp och närmandeförlopp där multispektral rök kastas ut har simulerats. Sensordata för radar och IR räknas ut i separata program och datafusion görs sedan på dessa data. IR-data för dessa simuleringar har tagits fram med en modifierad version av VMSSIM (se avsnitt 4.1.2). Förändringarna innebär att robotar kan skjutas från helikopter och att de kan gå längs förbestämda robotbanor. Även stridsfordon kan gå längs förbestämda banor, som nu kan synkroniseras med robotens rörelse. Dessutom kan motmedelsinsats startas automatiskt efter en viss tid från robotavfyring. Figur 54 visar en simulerad bildsekvens med rökkastning från stridsfordon.



Figur 54 Bilder från en simulerad sekvens där ett stridsfordon (BMP1-apc) kastar rök. Den vänstra bilden är utan rök, den högra bilden innehåller fullt utvecklad rök och den mellersta bilden innehåller ett initialt skede av rökutvecklingen. Bilderna är i detta fall skapade med en sensor på fixt avstånd och med elevationsvinkeln $\sim 23^\circ$ till målet.

4.1.4 VMS HKP LFT

Denna applikation simulerar optroniska målsökande missiler mot en helikopter utrustad med VMS-utrustning och hade från början endast facklor som motmedel. Nu när även DIRCM ingår i EWSim så har den tidigare applikationen VMS HKP FT fått LFT som sista förkortning och står för Laser- och FackelTaktik. Programmet är levererat till Hkpflj. Applikationen togs fram med den första varianten av EWSim där endast optronikdelen fanns med, se Figur 55.



Figur 55. Skärmdump från VMS HKP LFT med störd målsökarbild uppe till vänster, ostörd målsökarbild i mitten och DIRCM-systemets följning av hotet nere till vänster. Stora bilden till höger är en översiktsvy.

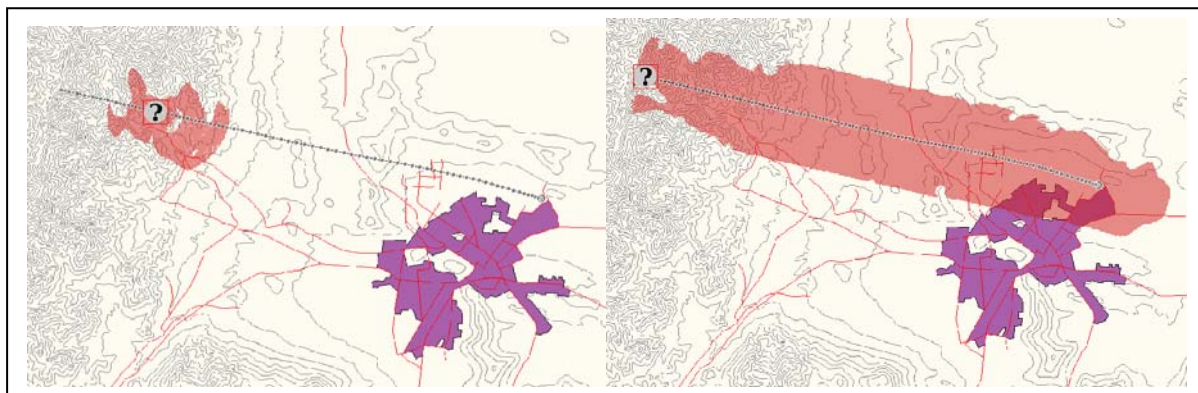
4.1.5 VMS FTG LFT

Inom projekten VMS fartygsförband (FoT) och Viktor (del i samlingsbeställningen CLVHM från FMV) har VMS HKP LFT utvecklats och anpassats till fartygsfallet istället för helikopter. Den innehåller dessutom en trådstyrd PV-robotmodell och istället för facklor används rök.

4.1.6 TAAKII

I studien ”TAAKII - Telekrigaspekter vid Asymmetrisk Krigföring vid Internationella Insatser” [TAAKII] har hot av asymmetrisk karaktär som kan uppstå vid internationella insatser studerats, med huvudsyftet att utveckla en metodik för analys och värdering av dylika situationer. Studien har avgränsats till asymmetriska vapen och asymmetriska slagfält med fokus på telekrigaspekter. För att konkretisera problemen har ett par tänkbara hotscenarier diskuterats. Diskussioner har i huvudsak skett kring två scenarier: ett markbaserat, ”skydd av transport”, vilket utspelar sig i urban miljö, samt ett luftbaserat, ”start/landning vid flygplats”, med flygplatsen i Kabul som konkret exempel. Även markscenariot ”insats mot folkmassa” har diskuterats kort. En sammanställning av problem och föreslagna åtgärdsförslag har presenterats utifrån ett antal givna mikrosituationer i de behandlade scenarierna.

För att stötta värderingen av asymmetriska scenarier har ett antal modifieringar gjorts i de befintliga verktygen. En brygga har utvecklats för att knyta det kommersiella verktyget ACSL, som huvudsakligen används i projekt Teknisk Hotsystemvärdering, mot verktyget EWSim/NetScene, som utvecklas i projekt Duellsimulering Telekrig. Bryggan har använts för att knyta en robotmodell av ett MANPADS i ACSL till simuleringsmiljön i EWSim med dess omvärldsbeskrivning och möjligheter till planering i NetScene. Kartdata över Kabul har införts i EWSim/NetScene, genererade flygbanor från F7:s flygsimulator har konverterats och lästs in och beräkningar av möjliga pålåsningsavstånd för ett LvRb-system med IR-målsökare har tagits fram och införts i simuleringsmiljön. Figur 56 visar hur NetScene presenterar ett fotavtryck, i terrängen omgivande Kabul, av den möjliga pålåsningssektorn för ett specifikt hotrobotsystem. Fotavtryck kan antingen visas för den aktuella flygplanspositionen eller som en sammanlagd yta (union) av fotavtryck längs flygbanan.



Figur 56 Bilden till vänster visar en ögonblicksbild av fotavtrycket (det ljusröda området) då flygplanet befinner sig vid frågetecknet i bilden. Den högra bilden visar det sammanlagda fotavtrycket för hela startsträckan.

4.1.7 TALISMAN

TALISMAN är i dagsläget en applikation för telekrig inom kommunikationsområdet. En del av applikationen, radiooperatören, utnyttjar EWSim-ramverket och interagerar med medspelarna via ett radiogränssnitt. Radion sitter på en stridsvagnsplattform.

En andra del av applikationen, störaren, kan utifrån sitt störgränssnitt avlyssna och störa radiooperatörernas kommunikation. I gränssnittet kan frekvens, bandbredd och uteffekt ändras. Även typ av störform kan väljas, brus- eller audiopsykstörning. Störaren använder i dagsläget inte det gemensamma ramverket, men kommunicerar med radiooperatörs-applikationen via HLA.

4.2 Planerade tillämpningar

För att stödja utvecklandet av Ledningskrigföringssimulatoren (LKS) kan EWSim-ramverket användas för att simulera telekrig i ett ledningsnätverk. Detta för att genom simuleringar ge en ökad förståelse för hur ledning fungerar i en miljö som inkluderar både traditionellt telekrig och data- och nätverksoperationer. Kommunikationen mellan noderna lyfts från att enbart behandla länken mellan två noder till att även simulera access- och routingprotokoll i ett nätverk. På detta sätt möjliggörs nätverkssimulering och principstudier av hur nätverket påverkas av störning samt hur nätverket skall agera för att få den radiosignatur som minimerar upptäcktsrisk. Verksamheten är ännu i sin linda och många frågor återstår att besvara, t ex hur verkliga meddelanden skall överföras/förvanskas och hur snabba trafikförlopp som t ex handskakning i en trafikuppkoppling skall simuleras för att kunna köras i realtid.

5 Diskussion

Simulering av telekrigsdueller är ett kraftfullt verktyg för värdering av telekrig. Detta kan användas för utveckling av teknik och taktik samt utbildning då dagens försvar har begränsade resurser för utbildning av förband i telekrigföring, eftersom antalet tillfällen för övningar och praktiska prov är begränsade. Det framtagna simuleringsramverket gör det möjligt att simulera scenarier med många typer av telekrigssystem, och därmed kan man få den övergripande förståelsen för var svagheter och styrkor med enskilda system finns. Scenariessimulering kan dessutom stödja studier om hur ett tekniskt taktiskt uppträdande bör se ut. Verkliga övningar och försök till stöd för sådana studier är svåra, dyra och ibland omöjliga att genomföra, då sådana försök har mycket begränsade möjligheter till att använda skarpa hotsystem samt att störa sändningar.

Detaljerade studier av enskilda system lämpar sig inte i scenarier. Denna djupare analys utförs lämpligen med detaljerade modeller av ett specifikt system där modellen stimuleras med simulerade signaler som t ex varieras i en batchkörning. Om simuleringarna utförs på båda nivåerna ger det både de övergripande systemegenskaperna i ett större sammanhang samt en detaljerad förståelse för ett specifikt systems prestanda på apparatnivå.

Detta dokument beskriver ett antal moduler som kan kombineras för simulering och värdering av telekrigsdueller, vilket kan stödja utveckling och kravsättning samt förståelse för samverkande telekrigssystem. I rapporten visas exempel på scenarier som kan simuleras. Scenarierna kan tyckas vara ganska enkla men innehåller många av de typer av hotsystem och telekrigssystem som är relevanta för det framtida försvaret inom alla våglängdsband. Tittar man närmare på scenarierna så har de ca fyrtio modeller av system som samverkar eller motverkar varandra. Scenarierna är körda som flera federater på tre till fyra datorer i ett nätverk. Modulerna kan kombineras och placeras på alla typer av plattformar såsom stridsfordon, helikoptrar, UAV:er, flygplan, båtar och fartyg. Detta gör att sammansatta förbands telekrigföringsförmåga samt sårbarhet för telekrig kan simuleras.

En klar styrka med simuleringsramverket är att det är lätt att återanvända simulerade plattformar som redan är konfigurerade, eftersom dessa finns beskrivna i en fil vilken helt enkelt kan återanvändas till nya objekt. Detta gör att det är enkelt att skala upp scenarier med flera farkoster som använder de utvecklade modulerna. Analys av resultat från simuleringar där komplexiteten är på samma nivå som i de simulerade scenarierna som visas i kapitel 3, är inte helt enkel då det inträffar många olika händelser som är beroende av varandra och ger olika utfall av simuleringen. Detta är något som det nya FoT-projektet ”Duellsimulering framtida telekrigsinsatser” kommer att utveckla metodik för, bl a visualiseringar i grafer och återuppspelningar från loggade parametrar samt möjligheten att återuppta simuleringarna från en viss tidpunkt men med en annan parameteruppsättning. Idag kan bara vissa parametrar loggas men eftersom all källkod finns tillgänglig finns möjligheten att logga allt, vilket är en förutsättning för värdering.

Att använda de framtagna simuleringsverktygen för värdering som de ser ut idag bör genomföras av personer med kunskap om modellernas begränsningar då risken annars finns att fel slutsatser kan dras. Tidigare versioner av några av modellerna har använts för att studera hur telekrigsmateriel ska kunna utnyttjas taktiskt och vilka systemparametrar som begränsar det taktiska utnyttjandet hos system, vilket kunnat användas vid upphandling och kravställning. Detta går att göra som förut men nu på ett mer generaliserat sätt samt att man

nu kan skala upp subscenarier till en större helhet och därmed få en mer fullständig bild av hur system kompletterar varandra eller skulle kunna komplettera varandra.

Validering av modellerna sker kontinuerligt då det finns andra modeller eller data från fältförsök att jämföra med. Modellerna av system är generiska och blir inte hemliga förrän de är parametersatta med hemlig information. En validerad parametersatt modell av ett hotsystem blir därför ofta hemlig. Signaturer av plattformar är data som oftast är hemlig. För signatordata finns metoderna för att ta in signatursatta modeller implementerade, men att ta fram signaturer är inget som hör hemma i detta projekt.

Med EWSim finns nu möjligheten att sätta upp scenarier som kan stödja värdering av några mot några i enskilt användande eller som värderingsduell där man kan bilda lag som kan duellera.

6 Fortsatt arbete

Det kommande projektet ”Duellsimulering framtida telekrigsinsatser” har som mål att demonstrera exempel på duellsimuleringsverktyg som kan användas som hjälpmedel för bland annat planering och värdering av telekrigsinsatser vid internationella operationer samt att vidareutveckla EWSim med integrerade nätverkslösningar för samverkande sensor- och telekrigsfunktioner i olika våglängdsområden i dueller några mot några. Simuleringsresultat från modellerna kommer att kunna utnyttjas för tk-systemstudier inför internationella operationer. Delmål i det kommande projektet kommer att vara följande:

- Utveckla metodik och modeller i kundnära samverkan för värdering av tekniska telekrigsdueller inom kommunikation, radar, och optronik.
- Ta fram metodik för värdering av telekrig i scenarier med olika militära enheter och multispektralt samverkande system.
- Stödja FM i frågor avseende telekrigssystem och telekrigvärdering.

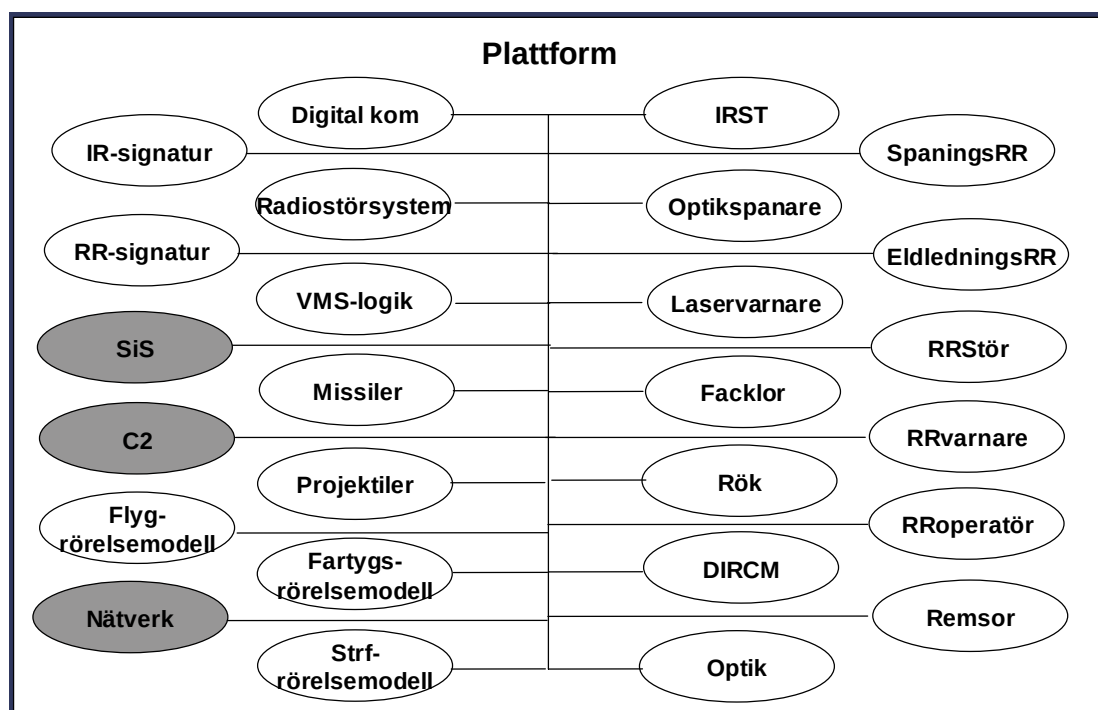
7 Sammanfattning

Huvudmålet för projektet har varit att ge möjligheter till att utreda hur man optimerar försvarets telekrigskapacitet genom samverkan av system inom optronik-, radar- och kommunikationsområdet, såväl för verkan som för skydd.

Projektet har tagit fram metodik samt omsatt denna i EWSim där nu möjligheten finns att genomföra multispektral systemvärdering av telekrig. Att detta går visas i kapitel 3 som visar scenarier där system samverkar multispektralt och därmed är huvudmålet med projektet uppfyllt.

Att sätta upp ett scenario med plattformar som har telekrigutrustning är förhållandevis lätt. Scenarier kan byggas genom att på ett kartblad dra in andra scenarier, plattformar eller system som finns beskrivna i filer. Detta gör det enkelt att bygga ett nytt scenario genom att återanvända gamla scenarier som delar i det nya. Simuleringsmiljön använder HLA vilket innebär att andra modeller med HLA förhållandevis lätt kan använda sig av EWSim och vice versa, vilket ger stor dynamik inför framtiden.

En något förenklad bild av de modeller som plattformar kan konfigureras med återfinns i Figur 57. Varje plattform kan duellera med andra plattformar i dynamiska dueller. Resultatet från duellen kan därefter återuppspelas och analyseras.



Figur 57 Schematisk bild av de modeller som plattformar kan konfigureras med; sensorer, vapen, telekrig, signaturer och rörelser. De gråmarkerade är inte färdigutvecklade ännu men kommer snart att finnas.

8 Kunskapsöverföring och nyttiggörande

Kunskapsöverföring och nyttiggörande från projektet har skett vid ett flertal tillfällen och på olika nivåer, anpassade till mottagaren. Förutom rapporter och konferensbidrag har projektets resultat använts vid ca 20 studier och utbildningar. Dessutom har ca 50 föredragningar och demonstrationer genomförts.

8.1 Konferensbidrag

- L Festin, "Simulation of Electronic Warfare in HF Communication", Nordic HF 2004, Fårö, Sweden, in proceedings, FOI-S--1452--SE, Augusti 2004.
- N Appleby, E Johansson, "Realistic Data/Speech in Radio Communication Simulation", Nordic HF 2004, Fårö, Sweden, in proceedings, FOI-S--1453--SE, Augusti 2004.
- M Petersson, "Real-time DIRCM system modelling", SPIE Optics/Photonics in security and defence, London, U.K., FOI-S--1476--SE, Augusti 2004.

8.2 Rapporter och Memon

- U. Andersson, "Rosettskannande målsökare - funktion och analys", FOI-rapport FOI-R--0833--SE, Mars 2003.
- L. Bergström, P. Klum, M. Nordin, K. Rixon, "Tyngdpunktsföljning – en förenklad modell av radarföljning", FOI-rapport FOI-R--0938--SE, September 2003.
- L. Tydén et al, "Lägesrapport. Duellsimulering med nätverksbaserade sensor- och telekrigfunktioner", FOI-Memo 2708, December 2003.
- M. Petersson, "Utveckling av en laserstörmödel (DIRCM)", FOI-Memo 2709, December 2003.
- N. Appleby, "Freke-Tavast 1.3", FOI-Memo 827, Mars 2004.
- N. Appleby, E. Johansson, F. Forslund, "Åskådliggörande av olika signalmiljöer baserat på avancerade kommunikationsmodeller med realistisk återgivning", FOI-rapport FOI-R--1308--SE, September 2004.
- M. Petersson, "Implementering, simulering och verifiering av en laserstörmödel (DIRCM) i ett realtidsramverk", FOI-rapport, FOI-R--1337--SE, September 2004.
- U. Andersson et al, "Statusrapport av arbete med att utnyttja lantmäteriets terrängklassificering för IR/VI terräng", FOI-Memo 1075, Oktober 2004.
- L. Tydén et al, "Lägesrapport. Duellsimulering med nätverksbaserade sensor- och telekrigfunktioner", FOI-Memo 1085, December 2004.
- P. Klum, Å. Andersson, "GENPOD", FOI-rapport FOI-R--1414--SE, December 2004.
- L. Tydén et al, "Integrerad EO duellmodell", FOI-rapport FOI-R--1724--SE, September 2005.
- M. Nordin, P. Klum, U. Berggrund, "Modellering av störd radaroperatör i EWSim", FOI-rapport FOI-R--1720--SE, September 2005.
- M. Verona et al, "TAAKII - Telekrigvärdering vid Asymmetrisk Krigföring vid Internationella Insatser", FOI-rapport FOI-RH--0467--SE, November 2005.
- L. Tydén, "Slutmålsdemonstration Duellsimulering Telekrig", FOI-Memo 1526, November 2005.

9 Referenser

-
- [DETVAG] B. Asp, G. Eriksson, and P. Holm, "Detvag-90® -- Final Report", FOA-rapport FOA-R--97-00566-504--SE (1997).
- [OPTSIM] C. Hedberg, L. Tydén, C. Wigren, "Generell metod för simulering av elektro-optiska telekrigdueller", FOA-rapport FOA-R--99-01160-616--SE (1999).
- [EWSIM] C. Hedberg, L. Tydén, C. Wigren, "EwSim - Electronic Warfare Real Time Simulation in the Visual and Infrared Wavelength Range", FOI-rapport FOI--R--0709--SE (2002).
- [MOSART] A. Törne, T. Horney, M. Brännström, P. Hörling, L. Tydén, "Projektutnyttjande MOSART", FOI-Memo 1128 (2004).
- [ENTITY] <http://www.sisostds.org/dis%2Ddd/entity/>
- [ESOPTR] H. Andersson, C. Hedberg, M. Petersson, L. Tydén, C. Wigren, "Integrerad EO duellmodell", FOI-rapport FOI-R--1724--SE, (2005).
- [IREO] J. S. Accetta, D. L. Shumaker, *The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook*, Executive Editors SPIE Optical Engineering Press, (1993), Volym 7, sid 337-339.
- [STRFF] P. Klum, C. Wigren, M. Pettersson, G. Bolander, G. Olsson, "VMS-funktion i nätverk för stridsfordonsförband, några typfall", FOI-rapport FOI-R--1328--SE (2004).
- [TAAKII] M. Verona et al, TAAKII - Telekrigvärdering vid Asymmetrisk Krigföring vid Internationella Insatser, FOI-rapport FOI-RH--0467--SE (2005).
- [OM] L. Berglund, G. Kindvall (redaktörer), *FOI orienterar OM Telekrig*, Nummer 5 (2005).
- [NEMESIS] <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/systems/an-aaq-24.htm>
- [DIRCM] M. Petersson, "Implemetering, simulering och verifiering av en laserstörmödel (DIRCM) i ett realtidsramverk", FOI-rapport, FOI-R--1337--SE (2004).
- [LASER] C. Wigren, O. Gustafsson. "Implementering av laserstörmödel", FOI-rapport FOI-R--0249--SE (2001).
- [STRÖ] L. Uhlin, B. Ericson. "Ströljus i optiska system – Karakterisering av känslighet för laserstörmödel", FOA-rapport FOA-R--95-00206-3.1--SE (1996).
- [RRTRACK] L. Bergström, P. Klum, M. Nordin, K. Rixon, "Tyngdpunktsföljning – en förenklad mödel av radarföljning", FOI-rapport FOI-R--0938--SE (2003).
- [GENPOD] P. Klum, Å. Andersson, "GENPOD", FOI-rapport FOI-R--1414--SE (2004).
- [RROP] M. Nordin, P. Klum, U. Berggrund, "Modellering av störd radaroperatör i EWSim", FOI-rapport FOI-R--1720--SE (2005).
- [VOIP1] N. Appleby, E. Johansson, F. Forslund, "Åskådliggörande av olika signalmiljöer baserat på avancerade kommunikationsmödel med realistisk återgivning", FOI-rapport FOI-R--1308--SE (2004).

-
- [S1DIG] S. Ahlgren, "Utveckling av störformer för HF-bandet", S1/Fo47, Tekniska enheten, Versionskontor Telekrig (1999).
- [VOIP2] N. Appleby, E. Johansson, "Realistic data/speech in radio communication", Nordic HF 2004, Fårö, Sweden, FOI-Konferensbidrag, FOI-S--1453--SE (2004).
- [TARAX] www.trltech.co.uk
- [WRAP] AerotechTelub, <http://www.wrap.se>
- [F-T] N.Appleby, "Freke-Tavast 1.3", FOI-Memo 04-827 (2004).