

LARS TYDÉN, PETTER BIVALL, PER BRÄNNSTRÖM,
MAGNUS DAHLBERG, PETER KLUM, LINUS HILDING,
MATTIAS VERONA, LEIF FESTIN, CALLE ROSENQUIST,
HANNA ANDERSSON



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 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, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Lars Tydén, Petter Bivall, Per Brännström,
Magnus Dahlberg, Peter Klum, Linus Hilding,
Mattias Verona, Leif Festin, Calle Rosenquist,
Hanna Andersson

Slutrapport för projektet dynamisk duellsimulering telekrig

Titel	Slutrapport för projektet dynamisk duellsimulering telekrig
Title	Final report for the project dynamic duel simulations of electronic warfare
Rapportnr/Report no	FOI-R--3301--SE
Rapporttyp/ Report Type	Användarrapport
Sidor/Pages	36 p
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2011
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	FM
Projektnr/Project no	E53338
Godkänd av/Approved by	Mikael Sjöman
FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI, Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för Informationssystem	Information Systems
Box 1165	Box 1165
581 11 Linköping	SE-581 11 Linköping

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden

Sammanfattning

Rapporten sammanfattar projektet *Dynamisk duellsimulering telekrig* inom Forskning och teknikutveckling (FoT) Telekrig från 2009 till och med 2011. Projektet har haft ett övergripande mål att demonstrera duellsimuleringsverktyg som kan användas som hjälpmedel vid utveckling av stridsteknik och taktik vid framtida telekriginsatser. Detta har genomförts genom att ramverket EWSim (Electronic Warfare Simulation interface model) för distribuerade telekrigssimuleringar använts och vid behov har nya modeller integrerats och utvecklats. Ramverket består av tre delar:

- *Scenarioplanering och konfiguration (NetScene)* där olika plattformar (t.ex. stridsvagnar och helikoptrar) konfigureras med olika komponenter (t.ex. sensorer och vapen). Dessutom kan räckviddsberäkningar utföras.
- *Dynamisk duell*, där i ett scenario ingående delar interagerar i en simulerad miljö. Den simulerade tiden kan gå i realtid, snabbare än realtid eller långsammare än realtid.
- *Utvärdering*, där dueller kan återuppspelas och loggade data analyseras.

Ramverket möjliggör att komplexa scenarier kan utvärderas i dueller där radar, optronik och kommunikation ingår tillsammans med telekrig.

En radarsignalspaningsutrustningmodell som även kan hantera bibliotek är något som länge funnits behov av. Därför har en modell utvecklats som består av en radarvarnare för detektion av inkommande radarsignaler samt ett hotbibliotek för klassificering och identifiering av aktuell emitter ur den detekterade signalen. Informationen kan sedan användas för att ta fram en åtgärdsorder, varefter en motverkanskanal utföra störning mot hotet. Hela denna kedja ingår i modellen av ett generiskt varnare- och motverkanssystem som modellerats i samverkan med FoT projektet *Framtida behov inom VMS*. I det generiska VMS systemet har även övriga modeller i EWSim integrerats såsom optikspanare och bländlaser mm.

Ett annat område som metodik har tagits fram för är att med signalstyrkemätande mottagare beräkna en position för en sändare med okänd uteffekt. Detta är en intressant teknik då det kan innebära att man med enkla antenner och mottagare kan positionera sändare och skulle kunna vara en del i en framtida mjukvaruradio. En studie har även genomförts för hur kombinerade data från olika spaningssystem kan slås samman. Detta har resulterat i en karta som visar sannolikheten att målen står på en viss position. En modell för High Frequency (HF)-radio har efterfrågats i planeringsverktyget och nu lagts till. Den tar med data om tidpunkt på dygnet, årstidsvariation och solaktivitet i beräkningen av räckvidden.

Det planeringsverktyg som tidigare utvecklats har kompletterats med tabellerad aspektvinkelberoende data för radar- och infraröd signatur på plattformar. Denna nya funktionalitet har använts under den årligen återkommande övningen FOCUS som luftvärnet och flygvapnet genomför där verktyget visat radarers räckvidd mot specifika plattformar under inverkan av störning i både 2D och 3D.

Under perioden har EWSim vidareutvecklats till att använda lägesangivelser i WGS84 referenssystemet och projektet har dessutom hämtat hem en databas över hela jorden med bl.a. höjddata i ett rutnät på 30m från NASA.

Sedan tidigare finns möjligheten att i EWSim att använda bildgenerering med stort intensitetsomfång för simulering av elektrooptiska sensorer med motmedel. Tekniken, som brukar kallas för High Dynamic Range (HDR), innebär intressanta möjligheter för flera olika simuleringar. I Hardware-in-the-Loop (HWIL) simulatorer med verklig hårdvara i loopen så måste simulatorm gå realtid för att erhålla riktiga resultat, vilket ställer höga krav på de ingående modellernas tidsprestanda. Under 2010 togs det fram en metod med parallella beräkningar som utnyttjar processorkraften i moderna grafikshorts processorer som gör att det går att använda sig av HDR i HWIL-

simuleringar. Ett behov som finns sedan en längre tid tillbaks är att kunna värdera telekrig mot en aktiv radarrobot samt en modern bildalstrande IR-robot och av den anledningen har ett inledande arbete med att skapa modeller som kan göra detta påbörjats och kommer att slutföras samt användas i efterföljande projekt.

Inför Hkp10b:s införande i Afghanistan simulerades taktiska flygbanor genom ett aktuellt bergspass där räckvidder för hot och sensorer beräknades och visualiserades. Detta underlag användes sedan vid Operational Evaluation (OPEVAL) och ansågs vara mycket värdefullt för att kunna fatta beslut att använda flygbanorna. I samverkan med projektet *Framtida behov inom VMS* har ett generiskt VMS demonstrerats i ett stridsfordonsscenario och ett marint scenario. Systemet kan efterlikna alltifrån komplexa fartygssystem med operatörer i loopen, till ett enklare helautomatiskt system på en mindre plattform. I simuleringarna kommer EWSim:s unika värderingsmöjligheter för hela telekrigsmiljön i ett och samma scenario till användning. Projektet har i och med de här nämnda resultaten uppnått det uppsatta slutmålet att demonstrera duellsimuleringsverktyg som kan användas som hjälpmedel vid utveckling av stridsteknik och taktik vid framtida telekriginsatser

EW COMARMS var ett förstudieprojekt i European Defence Agency (EDA) -regi som projektet drivit i syfte att se om det är möjligt att definiera en modulär hård- och mjukvaruarkitektur. Förstudien har gett ett antal värdefulla insikter kring modularisering, modellbeskrivning samt behov och design av nya modeller men en fortsättning i EDA-regi är inte trolig.

Det som utvecklas i projektet är baserade på egen kod samt öppen källkod (t.ex. programvara utgiven under LGPL licens) vilket innebär att det inte finns några licenskostnader för att distribuera programvarorna inom FM. Därmed kan distribution av programmen ske betydligt enklare än om de vore licensberoende. Dessutom ger det möjlighet att kontroller och laborera med hela systemet.

Nyckelord: Simulering, telekrig, elektrooptik (EO), radar, kommunikation, HLA, federation, EWSim, EWPlan, IR, HDR

Summary

This report summarizes the project Dynamic duel simulations of electronic warfare simulation in the research and development (R & T) program for Electronic warfare from 2009 to 2011. The project has had an overall objective to demonstrate duel simulation tools that can be used for the development of combat techniques and tactics for future electronic warfare operations. This was implemented by the use of the EWSim (Electronic Warfare Simulation interface model) framework for distributed electronic warfare simulations and, if necessary, new models were integrated and developed. The framework consists of three parts:

- *Scenario planning and configuration* (NetScene) where different platforms (such as tanks and helicopters) can be configured with various components (eg sensors and weapons) and, in addition, the scope of calculations are performed.
- *Dynamic duel*, where in one scenario, the components interact in a simulated environment. The simulated time can go in real time, faster than real time or slower than real time.
- *Evaluation*, where duels can be replayed and logged data can be analyzed.

The framework allows complex scenarios to be evaluated in duels where radar optoelectronics and communications are included simultaneously with electronic warfare.

In collaboration with R & T project *Future needs in the VMS* the modeling of a generic warning and countermeasure system for self-protection has been implemented. The system can mimic everything from complex ship systems with the operator in the loop to a simpler fully automated system on a smaller platform. A model of a radar signal equipment has been developed and can be included in the generic VMS. The project has started to create a model of a new active radar missile and of a modern imaging IR missile. There is also a new framework for robot models in EWSim. Methodology for using signal strength measuring receivers to calculate the position of a transmitter with unknown output has been developed within the project and catches much attention. A study of combining data from different surveillance systems has resulted in a map showing the probability that the target is in a certain point. We have developed new models for radar and infrared signature on platforms in the planning tool. This has been used during the annual exercise that Air Defense and Air Force implements called FOCUS. Also implemented are new visualizations of surface coverage in 3D showing the sensor ranges with the effect of electronic warfare. A Model for High Frequency (HF) radio has been added to the planning tool. This model includes data regarding time of day, the moon's position and solar activity in the range calculations. Hkp10b's introduction in Afghanistan lead us to study simulations where tactical air tracks through a mountain pass on the site and ranges of threats and sensors were visualized. This was then presented at the Operational Evaluation (OPEVAL) and was considered very valuable to be able to decide to use the flight paths.

EW COMARMS was a feasibility study project directed by the European Defence Agency (EDA), that this project pursued in order to see if it is possible to define a modular hardware and software architecture. The pilot study has generated a number of valuable insights about modularization, model description and requirements and design of new models but a continuation of the EDA-project is not probable.

During the period EWSim was further developed to use the specification in the WGS84 reference system and the project has also got a database across the globe, including elevation data in a grid of 30m from NASA. A methodology for using imaging with high dynamic resolution and parallel computing in the Hardware In The Loop simulations have been developed.

The project source code is based on custom code and open source software (eg software released under LGPL license) which means that there are no licensing fees for distributing software in the AF. Thus, distribution of programs be made more easily than if they were licensed addition. Moreover, the use of open source software allows us the freedom to experiment and verify the entire system.

Keywords: simulation, electronic warfare, electro-optic (EO), radar, communications, HLA, federation, EWSim, EWPlan, infrared, HDR

Innehållsförteckning

1	Inledning	9
1.1	Metod	10
1.2	Läsanvisning	11
2	Genomförda aktiviteter	12
2.1	Scenario- och planeringsverktyg.....	12
2.1.1	Vidareutveckling av signaturmodeller för plattformar	12
2.1.2	Täckningsdiagram i 3D	13
2.2	Kortvågskommunikation	14
2.3	Generiskt varnar- och motverkanssystem	14
2.3.1	Signalspaningsutrustning radar	15
2.3.2	Störutrustning radar	15
2.3.3	Grafisk vägledning för operatörer av VMS-utrustade plattformar	16
2.4	Generisk modulär robot	16
2.5	Positionering genom signalstyrkemätningar	17
2.5.1	Kombinerade kommunikationsspaningssystem	19
2.6	Egenpositionering	19
2.7	Modellering av frekvenshoppande emitterar.....	20
2.8	Satellitkommunikation	21
2.9	Ljusmodell med högdynamiskt omfång	21
2.10	Terräng.....	21
2.10.1	WGS84.....	22
2.10.2	Samarbete med NASA om kartfunktioner.....	22
2.10.3	Automatisk terränggenerering	23
2.10.4	Tilläggsinformation i kartor.....	23
2.11	Utvärdering av helikoptertaktik.....	24
2.12	FOCUS övning	25
2.13	EW COMARMS.....	26
2.14	NetScene Plan Edition	27
3	Kunskapsöverföring och nyttiggörande	31
4	Diskussion	33
5	Fortsatt arbete	35
	Referenser	36

1 Inledning

Denna rapport sammanfattar verksamheten i projektet *Dynamisk duellsimulering telekrig* (DDT) som bedrivits inom Forskning och Teknikutveckling (FoT) Telekrig från 2009 till och med 2011 och är en fortsättning på det tidigare projektet *Duellsimulering framtida telekriginsatser* (Tydén et al., 2010a) men mer inriktat på planeringsverktyg.

Verksamheten i projektet ämnar komma FM till nytta genom att:

- Stödja utveckling och kravsättning på samverkande telekrigssystem.
- Öka förståelsen för nyttan av samverkande system.
- Modeller utvecklade i projektet kan användas som planeringsverktyg inför fältprov, övningar och vid internationella operationer.
- Möjliggöra utbildning i telekrigföring på olika plan för framtida beredskap i konfliktsituationer.
- Skapa modeller som ger tillfälle att öva och utveckla telekrig där det annars inte är möjligt på grund av tid, sekretess eller personsäkerhet.

För att kunna påvisa nyttan med projektet har ett mål varit att demonstrera duellsimuleringsverktyg som kan användas som hjälpmedel vid utveckling av stridsteknik och taktik vid framtida telekriginsatser.

Behovet av samverkande telekrigssystem är en följd av att nutida och framtida militära operationer är kombinationer av radar- (RR) och elektrooptiska (EO) system som samverkar med hjälp av radiokommunikation eller över fasta nät. Dessa system som mer utnyttjar information från enskilda sensorer öppnar även för nya möjligheter för telekrig.

I en elektronisk stödverksamhet (ES), kan den sammanslagna informationen ge en betydligt bättre bild av vad som sker och sannolikt kommer att ske och hur man effektivast verkar, jämfört med om denna sammanslagning enbart sker hos den personal som hand har systemen eller hos överordnade. Skydd mot motståndares telekrigföring (elektronisk protektion, EP) och även verkansinsatser (elektronisk attack, EA) kan genomföras effektivare i samverkande system, med följden att skydd och attacker utförs med större verkan.

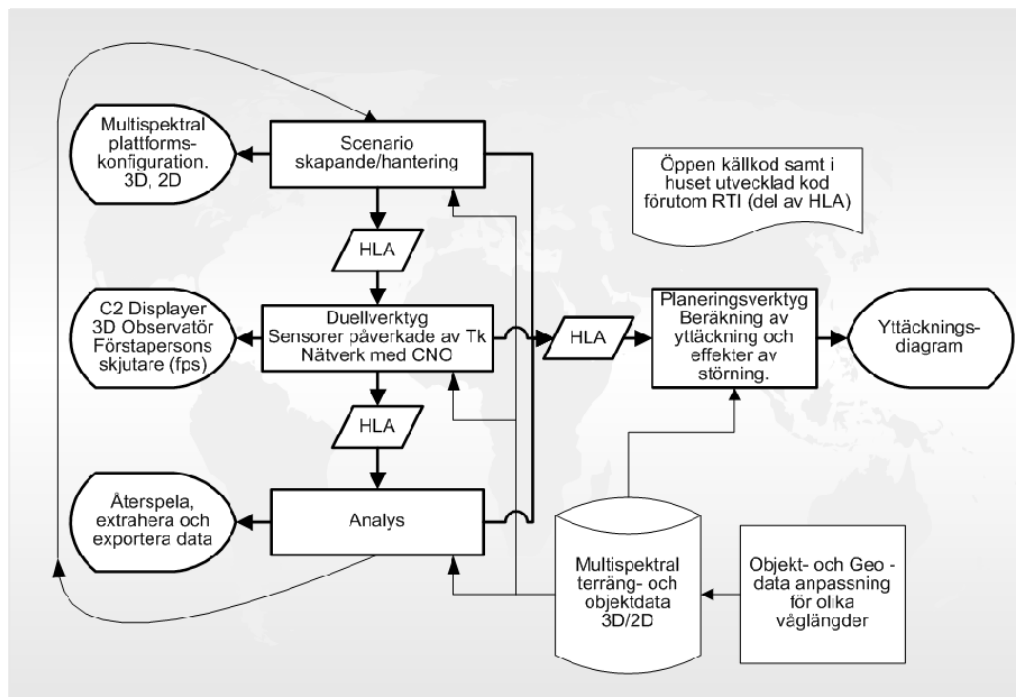
1.1 Metod

Simulering är en vanlig metod för att studera hur användning av telekrig kan påverka händelseförlopp i ett scenario, och det är även den metod som vi primärt använt i det rapporterade projektet. En simulerad miljö gör det möjligt att testa system som man inte har fysisk tillgång till, och även system som inte existerar men kan komma att utvecklas och användas i framtiden. Effekten av sådana system kan därmed värderas. Simuleringsmodellerna har även fördelen att de kan användas som planeringsverktyg.

Ett simuleringsramverk är en nödvändighet i ett projekt som detta där ett flertal modeller behöver fungera tillsammans i genomförandet av en simulering. Detta projekt har därför använt och vidareutvecklat det i tidigare projekt skapade ramverket Electronic Warfare Simulation interface model (EWSim) för distribuerade telekrigssimuleringar, till vilket modeller integrerats och nyutvecklats. Ramverket består av tre delar, se Figur 1:

- *Scenarioplanering och konfiguration*, där olika plattformar (t.ex. stridsvagnar och helikoptrar) konfigureras med komponenter som t.ex. sensorer och vapen. Dessutom kan räckviddsberäkningar utföras.
- *Dynamisk duell*, där är ett scenario med ingående plattformar interagerar i en simulerad miljö. Den simulerade tiden kan gå i realtid, snabbare än realtid eller långsammare än realtid.
- *Utvärdering*, där dueller kan återspelas och loggade data analyseras.

Ramverket möjliggör utvärdering av komplexa duellscenarier där radar, optronik och kommunikation ingår samtidigt, och då speciellt med bäring på telekrig. Data distribueras mellan modellerna med hjälp av High Level Architecture (HLA) enligt standarden IEEE 1516-2000 (IEEE, 2000).



Figur 1. Ramverket och dess ingående delar.

1.2 Läsanvisning

Rapporten beskriver den genomförda verksamheten och resultat där:

- Kapitel 2 redovisar resultat från projektet i korta drag i respektive avsnitt där varje avsnitt är fristående. Kapitlet börjar med att beskriva de modeller i EWSim-ramverket som utvecklats under åren och avslutar med några exempel på hur dessa använts.
- Kapitel 3 redovisar kunskapsöverföring och nyttiggörande i form av rapporter och tillämpningar vid övningar och insatser.
- Kapitel 4 diskuterar resultaten.
- Kapitel 5 avslutar rapporten med förslag till fortsatt arbete.

2 Genomförda aktiviteter

EWSim-ramverket innehåller många delar som tillsammans kan användas för simulering och värdering av telekrig. Aktiviteterna som utförts i projektet har resulterat i nya förmågor och funktionalitet i detta ramverk.

I detta kapitel beskrivs inte hur de olika delarna kommer in i ramverket utan istället funktionaliteten som tillförs. Om intresse finns för hur någon del mer i detalj fungerar eller hur det går att använda i olika sammanhang hänvisas läsaren till referenserna eller att ta kontakt med någon av författarna.

2.1 Scenario- och planeringsverktyg

EWSim's scenarioverktyg NetScene används för att konfigurera scenarion bestående av plattformar med olika utrustning utplacerade på en karta samt för att planera plattformarnas förflyttningar och uppträdande. NetScene kan användas fristående för att planera och spela upp scenarion eller i en federation tillsammans med andra applikationer till vilka ett scenario kan distribueras vid start av en simulering. Inom projektet har verktyget vidareutvecklats genom bland annat införande av ikoner som följer standarden APP-6A, förbättrade rörelsemodeller för plattformar samt förbättrade verktyg för nätverkskonfiguration. Dessutom har det lagts till stöd för scenarion bestående av flera scenariokomponenter som kan editeras separat samt funktionalitet för att kunna hämta in data från externa källor såsom Global Positioning System (GPS) och Automatic Identification System (AIS). Inhämtad extern data kan sedan användas för att visa exempelvis befintlig flygtrafik i ett område eller bygga upp rutter i scenarion från loggade rutter.

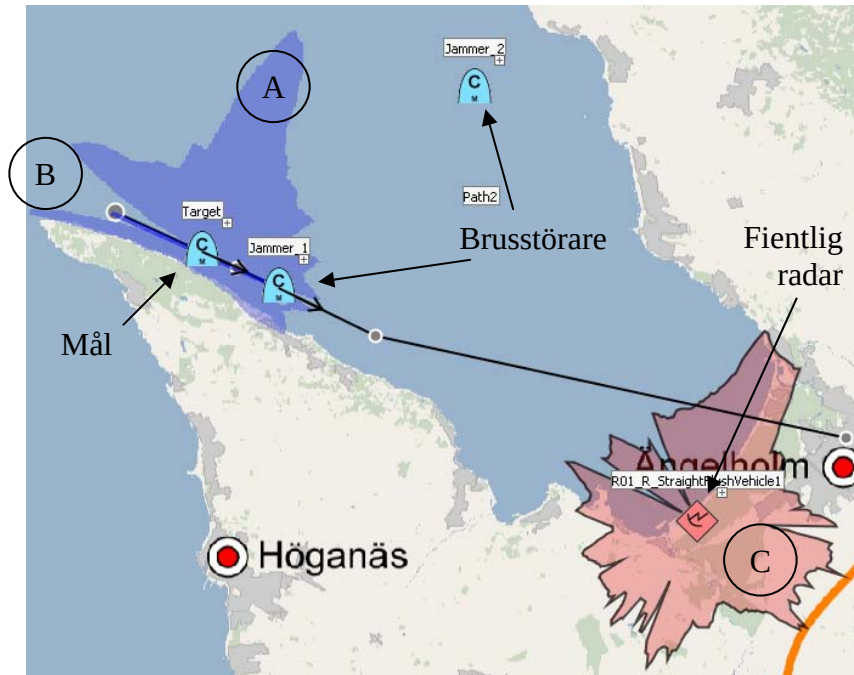
Planeringsverktyget EWPlan (Tydén et al., 2010b) är en insticksmodul till NetScene och innehåller modeller för telekrig och dess visualisering i form av täckningsdiagram. Verktyget bygger på samma plattform som NetScene och kan användas vid scenarioredigering, under och efter duellsimulering eller helt fristående. EWPlan, liksom NetScene, bygger på parametersatta modeller och blir hemlig först då modellerna parametersätts med hemliga data. Utveckling av EWPlan som gjorts inom projektet består bland annat av förbättrad terrängmodellering vid räckviddsberäkningar, modellering av radarantennar med hjälp av antenndiagram och möjlighet att visualisera plattformars synlighet för valbara sensorer utmed en rutt. Dessutom har plattformars signaturmodeller vidareutvecklats och möjligheten att visa täckningsdiagram i 3D lagts till, vilket presenteras under egna rubriker nedan.

2.1.1 Vidareutveckling av signaturmodeller för plattformar

Täckningsdiagram för radartäckning har vidareutvecklats vad gäller radarmålärea. Tidigare antogs ett mål ha en konstant målärea med valbart värde, men nu kan målärean även läsas ut från en signaturtabell. Tabellen innehåller målärea beroende på vinkel mellan radar och mål, radarfrekvens och polarisation. Figur 2 visar radartäckningsdiagram som använder sig av vinkelberoende målsignatur och inverkan av störare.

IR-signaturer läses på samma sätt som för radar genom tabellslagning. Denna har vidareutvecklats så att signaturer nu kan läsas även från tabeller som tar hänsyn till fler parametrar än enbart vinkel. Dessa parametrar kan vara exempelvis hastighet, höjd över marken eller aktuell typ av hot. Även modelleringen av IR-hot har vidareutvecklats med parametersättning som underlättar för konfigurering av skarpa system.

En variant av verktyget med hemliga skarpa data för signaturer för några plattformar har utvecklats så att verktyget ska ge relevanta resultat för FM.



Figur 2. Yttäckningsdiagram för radartäckning där målet visar olika stor radarmålyta vid olika azimutvinklar. Blått område visar var radarn kan placeras för att upptäcka målet medan rött område visar olika positioner där målet kan bli upptäckt av radarn.

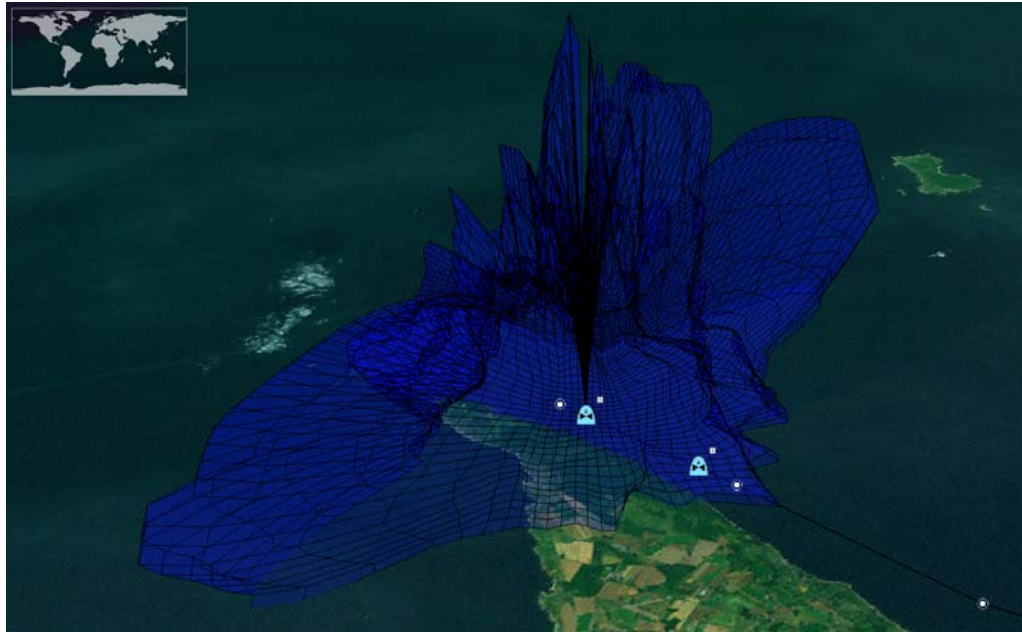
A) En radar placerad inom det blå området vid **A** belyser flygplanet under den vänstra vingen och kommer därför få ett starkt radareko.

B) En radar placerad vid **B** blir däremot störd av en brusstörning från Jammer_1.

C) Om målet befinner sig vid **C** med samma riktning som i figuren visar den upp flygplanets utblås samtidigt som brusstörrarna inte ligger i radarns huvudlob och blir därför lätt att upptäcka av den fientliga radarn.

2.1.2 Täckningsdiagram i 3D

För att bättre visualisera störverkan har yttäckningsdiagrammen utvecklats för att göra beräkningar och visualisering i tre dimensioner. Dessa diagram återanvänder alla modeller från dess motsvarande 2D-versioner vilket betyder att t.ex. RR-signaturmodellen fungerar även här, se Figur 3. Liknande 3D-diagram kan visas för våra täckningsdiagram för räckvidder inom EO, dvs. laser, optikspanare, laservarnare samt påläsningsavstånd för infraröda (IR) hot, se (Tydén et al, 2010b).



Figur 3. Täckningsdiagram i 3D för möjliga positioner för en radar för att upptäcka målet med vinkelberoende målsignatur, jämför Figur 2.

2.2 Kortvågskommunikation

Kortvågskommunikation (2 – 30 MHz) används för kommunikation över stora avstånd. Kortvåg benämns även High Frequency (HF). Det som framförallt skiljer HF från vanlig trupp-radiokommunikation på Very High Frequency (VHF) -bandet är att HF-vågor studsar i den övre atmosfären, jonosfären, och på så vis kan ha mycket längre räckvidd. Beräkningen av räckvidd för HF-system kräver bland annat data om tidpunkt på dygnet, dag på året och solaktivitet. En modell för HF har tidigare utvecklats på FOI (Johansson, Appleby & Festin, 2008). Denna modell har kopplats in i planeringsverktyget.

Parallellt med utvecklingen har samtal förts med kommunikationsexperten inom FOI för att ramverket ska få en modell för moderna HF system som HF2000. HF2000 kan köras i automatisk mod vilket gör att systemet automatiskt ur en given frekvensdatabas väljer en HF frekvens som ger ett fungerande samband. I Sverige finns ett hundratal markstationer utplacerade över landet för att hjälpa till att skapa en HF länk mellan HF2000 systemen.

2.3 Generiskt varnar- och motverkanssystem

Ett varnar- och motverkanssystem (VMS) är en integrerad lösning för egenskydd och har till uppgift att upptäcka och varna för hot samt motverka dessa. För att upptäcka hot använder man en uppsättning sensorer anpassad för de hot som önskas upptäckas, t.ex. en radarvarnare för att upptäcka och varna för spaningsradarer. För att motverka hot kan telekrig, vapenverkan eller taktiska åtgärder användas.

I samverkan med FoT-projektet *Framtida behov inom VMS* (Berglund, Rosenquist & Hilding, 2011) pågår arbete där EWSim används för modellering av ett generiskt VMS-koncept där målet är att kunna använda samma ramverk för VMS på olika plattformar och inom olika försvarsgrenar.

Kravet på det generiska systemet är att kunna efterlikna verkliga system, alltifrån komplexa fartygssystem med operatörer i loop, till ett enklare helautomatiskt system på en mindre plattform. Idén är att man har en central VMS-logik som kombinerar en rad olika sensorer för att ta fram en optimerad insats mot detekterade hot.

EWSim har anpassats för användning av operatörer på plattformar utrustade med VMS. Nu får varje operatör en delad lägesbild från en central lägesbild där all sensorfusion sker. En operatörsenhet kan styras av en människa via EWSim:s användarinterface eller delvis kontrolleras via fördefinierat händelseschema som utförs under simuleringen.

En VMS-operatörs roll är bl.a. att ta beslut om de åtgärder som automatiskt föreslås av systemet. Det är av stor vikt att informationen som kommer från VMS presenteras på ett bra sätt. Arbetet med denna grafiska presentation för operatör har fortsatt för det speciella fallet med markgående terrängfordon, se avsnitt 2.3.3 för mer information.

2.3.1 Signalspaningsutrustning radar

Som en del av det generiska VMS utvecklas en modell av en radarsignal-spaningsutrustning. En radarsignalspaningsutrustning består av en radarvarnare för detektion av inkommande radarsignaler samt ett hotbibliotek för klassificering och identifiering av aktuell emitter ur den detekterade signalen. Informationen kan sedan användas för att ta fram en åtgärdsorder, varefter en motverkanskanal utför störning mot hotet.

Den befintliga modellen av en radarvarnare har utökats med möjligheten att lägga till en hotklassificerare som kan klassificera en emitter baserad på uppmätta signaldata. Hotklassificeraren består av ett emitterbibliotek, en matchningsalgoritm och en uppsättning av listor där registrerade emitterar kan lagras, en s.k. aktiv emitterfil (AEF).

Emitterbiblioteket beskriver alla tänkbara emitterar och deras emittermoder. Biblioteksdata som används i simuleringen kan antingen läsas in från verkliga bibliotek eller vara ansatt. En, av radarvarnaren, detekterad signal jämförs mot befintliga emitterar i den aktiva emitterfilen. Om emittern enligt följealgoritmen detekterats sedan tidigare, används signalen för att uppdatera AEF. Signaler som inte registrerats sedan tidigare hanteras av en matchningsalgoritm som med hjälp av biblioteksdata tar fram lämpliga kandidater på emitterar. Här kan även en tidsfördröjning simuleras för att motsvara fördröjningar som existerar i ett verkligt system. Klassificerade emitterar placeras sedan i lämplig lista i den aktiva emitterfilen baserat på t.ex. hotnivå. En operatör har möjlighet att manuellt redigera informationen i AEF.

Emitterar i AEF som uppfattas som en varning skickas vidare till den centrala VMS-logiken, och på så sätt ger det underlag från radarsidan till den samlade hotbilden innan åtgärdsorder tas fram. En kopplad motverkanskanal kan sedan utföra störning mot hotet. Även en direktkanal är implementerad där en förbestämd störinsats kan påbörjas direkt om den detekterade signalen uppfyller ett antal fördefinierade kriterier. Detta för att undvika tidsfördröjningar i samband med ett prioriterat hot. Om sedan en insatsorder kommer avbryts direktåtgärden och ersätts av den nya ordern.

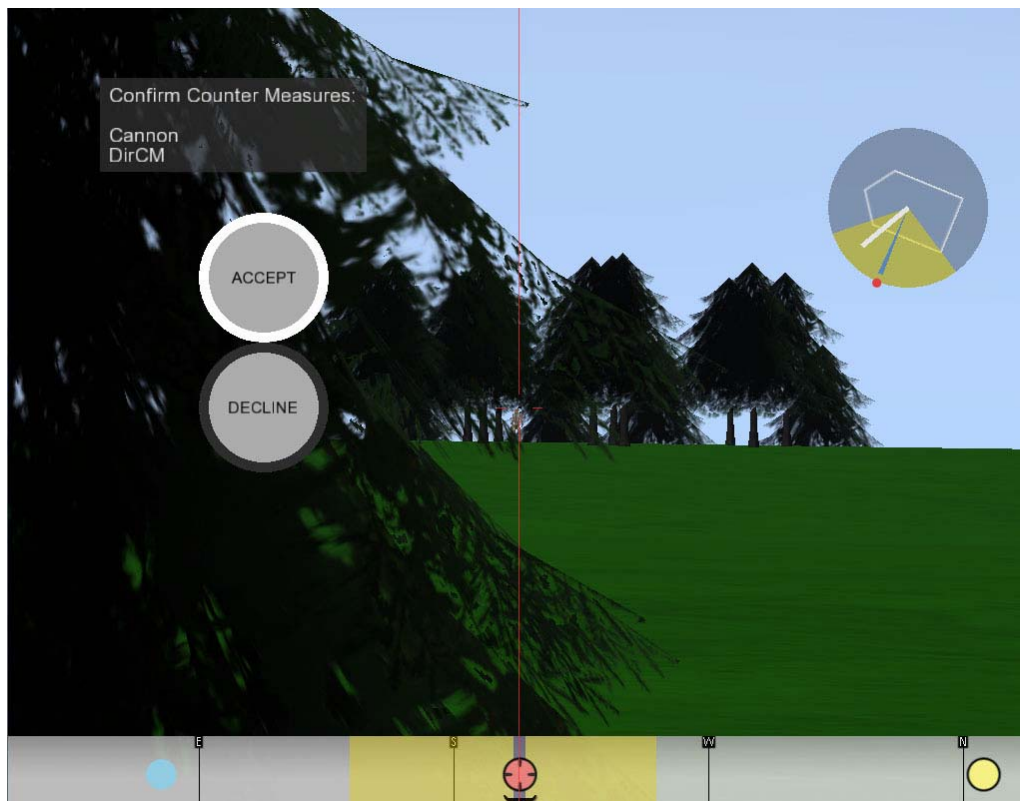
2.3.2 Störutrustning radar

Kopplat till en radarsignalspaningsutrustning finns en störutrustning för störning mot identifierat hot. Sedan tidigare finns modeller av brusstörare och störare med digitalt radiofrekvent minne (DRFM) implementerade, där den senare kan användas för att generera falskmål.

De befintliga modellerna av en brusstörare och DRFM-störare har utökats för att passa in i den nya strukturen med en central VMS-logik. Störarmodellerna har utrustats med möjligheten till ett förenklat åtgärdsbibliotek där val av störmetod kan styras utifrån order från VMS-logiken. Modellerna laddas även med en fördefinierad störåtgärd som kan användas via aktivering av en direktkanal som används för en snabbinsats utan den tidsfördröjning som klassificeringsprocessen kan medföra. Möjligheten att även använda den gamla funktionaliteten, med fördefinierade störåtgärder utan koppling till en central VMS-logik, har behållits för bakåtkompatibilitet.

2.3.3 Grafisk vägledning för operatörer av VMS-utrustade plattformar

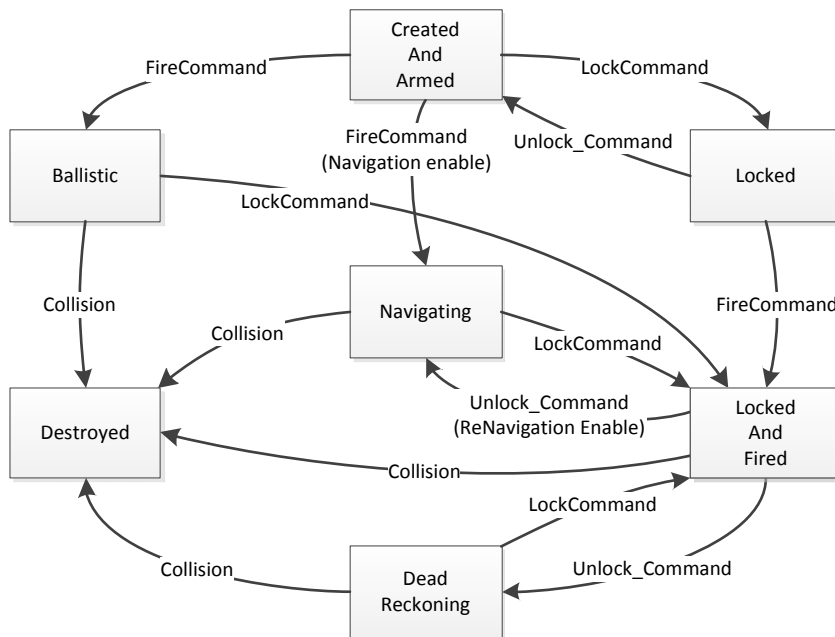
I många situationer är det inte lämpligt att tillåta VMS att per automatik verka för att avvärja uppkomna hotsituationer. Då är det viktigt att kunna stödja operatören för att kunna utföra bästa åtgärd, genom att presentera information från systemet på ett bra sätt. I angränsande projekt har man tidigare studerat fallet med markgående terrängfordon utrustade med VMS. I år har man funderat vidare på hur en vagnchef respektive skytt på ett bra sätt kan understödjas med information tillhandahållet av VMS. Informationen är tänkt att presenteras som överlagrade bilder på operatörens display, se Figur 4.



Figur 4. Simulering med EWSim, där information presenteras på ett elektrooptiskt sikte hos en vagnchef. Längst ner syns en 360 graders kompass, med lägesbilden presenterad. Uppe till höger visas en bild av hur vagnen, vapnet och siktet är orienterade. Även här är hotet markerat. I siktets vänstra halva visas ett förslag på åtgärder ifrån den centrala VMS-logiken. Operatören tar ställning till förslaget, och kan välja mellan att acceptera eller avböja automatisk åtgärd.

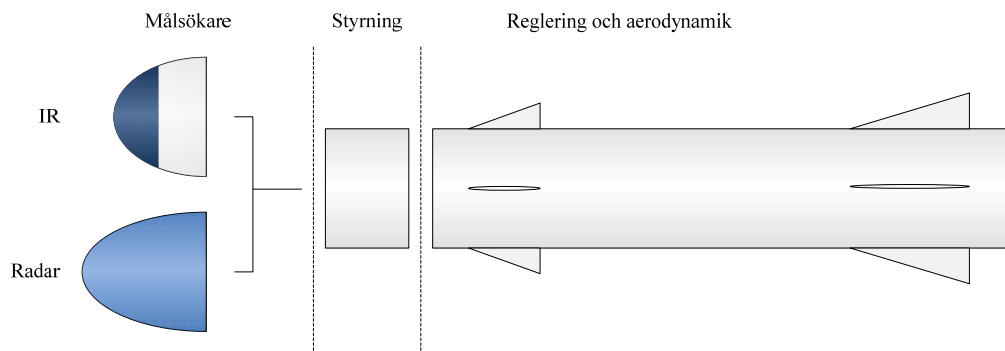
2.4 Generisk modulär robot

I projektet har arbete med att skapa en ny aktiv radar robot samt en modell av en modern bildalstrande IR-robot med nya förmågor genomförts. En design har tagits fram för en generisk robot som tillåter en stor flexibilitet. Mycket av designarbetet har skett i samband med modelljämförelser som genomförts i det internationella samverkansprojektet EW COMARMS, se kapitel 2.13. Figur 5 beskriver ett exempel på de övergripande funktionella tillstånd som en generisk robot kan hamna i.



Figur 5. Tillståndsmaskin för generisk robot med inre målinmätning.

För att effektivisera arbetet skapas ett nytt ramverk för robotmodeller i EWSim som kallas *Generic Modular Missile, GMM*. Inom ramverket blir det möjligt att byta ut funktionella delar av roboten, t.ex. kan en radarrobots aerodynamiska beteende och styrförmåga återanvändas i en IR-robot. I Figur 6 visas blockstrukturen när målsökare används. Dessa generiska block kan skapa en robot för att modellera önskade förmågor.



Figur 6. En specifik robot med önskade förmågor kan skapas av generiska komponenter tack vare att de följer ett givet gränssnitt som definieras av Generic Modular Missile. Används målsökare i roboten så kopplas den ihop med en styrprincip för att lämna en styrsignal. Regleringsfunktionen tar sedan styrsignalen och försöker uppfylla den. I reglering och aerodynamik modelleras sedan robotens rörelser och leder till en förändring i robotens tillstånd.

Implementering av det nya ramverket är planerat att påbörjas under 2012.

2.5 Positionering genom signalstyrkemätningar

Ekvationer för elektromagnetism visar att radio- och radarvågor som färdas över avstånd tappar effekt. Inom projektet har en metod utvecklats för att positionera en sändare genom att beräkna avstånd från mottagen signalstyrka (Festin, 2010). Metoden skiljer sig från befintliga metoder i att sändaren antas ha okänd utsänd effekt.

Att kunna positionera sändare utifrån uppmätta signalstyrkor är tilltalande såtillvida att det inte kräver speciella antenner och kraven på dataöverföringshastighet mellan sensorer är

låga. Om man dessutom kan använda radiostationer som inte används för aktiv sändning blir tillgången på sensorer stor.

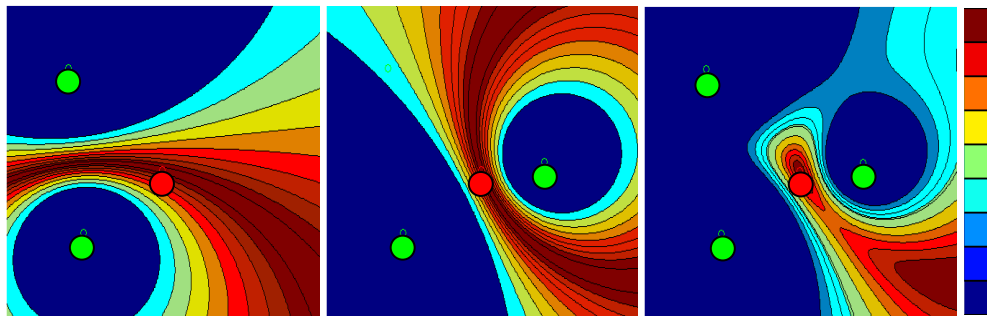
Genom att studera skillnaden i mottagen effekt kan, för varje mottagarpär, en effektkvot definieras. Två eller flera sådana effektkvoter ger, kombinerat med en enkel vågutbredningsmodell, skärningspunkter mellan cirkclar som sändarens troligaste geografiska läge. Värdet på effektkvoten kombineras med kunskap om den mottagna signalens statistiska egenskaper för att beräkna hur troligt det är att sändaren står i en viss punkt.

Signalens statistiska egenskaper definieras som skillnaden mellan det förväntade värdet som fås med utbredningsmodellen och verklighetens uppmätta signal. Med bra utbredningsmodeller och terränginformation av den upplösning vi har idag kan osäkerheten i effekt ligga kring 5-8 dB. Detta är en stor osäkerhet och har flera orsaker:

- Flervägsutbredning. En signal kan ta flera vägar från sändare till mottagare, t.ex. direkt eller via studs i mark eller sjö. När mottagaren tar emot en våg som färdats olika vägar kan signalen interferera med sig själv och skapa lokala förstärkningar eller dämpningar.
- Ej inräknad terrängpåverkan. En el-ledning kan störa mottagaren, fordon kan flytta sig eller något annat som vågutbredningsmodellen inte har förmåga att räkna med påverkar den mottagna signalstyrkan.

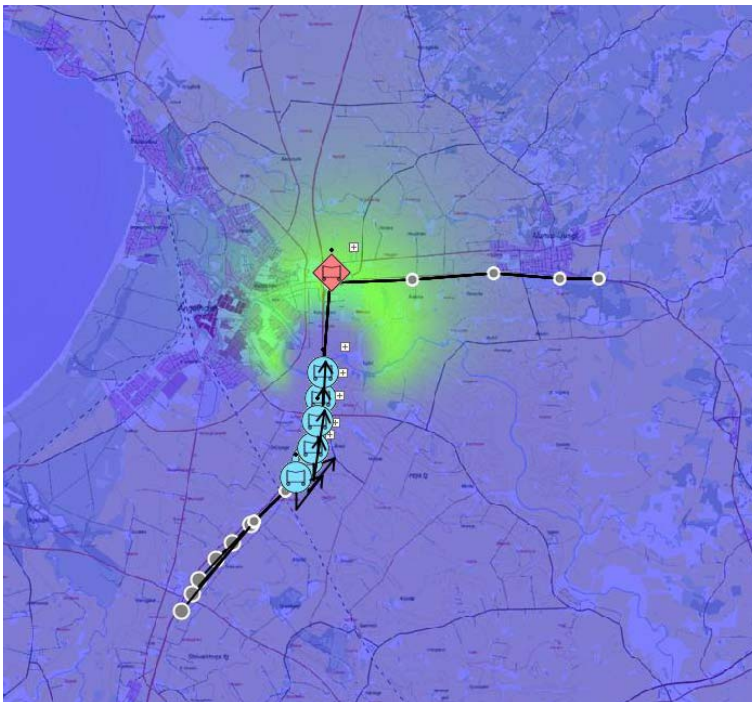
Att inkludera flervägsutbredning i beräkningarna är alltför beräkningstungt. Vi förutsätter att en mottagare är i rörelse eller mäter med flera antenner för att på så vis minska de lokala variationerna. I utvärderingen av metoden används 5.6 dB vilket kan vara ett rimligt värde i ett framtida system, däremot bör detta mätas upp och analyseras med tänkt utrustning.

Utvärderingen visar att många sensorer och korta avstånd generellt ger bra resultat (Festin, 2010). Figur 7 visar sannolikhetsfördelningen först med två olika mottagarpär och sedan det kombinerade resultatet för tre mottagare. Om ett fåtal mottagare används måste annan information utnyttjas för att få en tillförlitlig positionering av sändaren. För att kombinera flera fördelningar används en maximum likelihood (ML) (Gustafsson, 2010) metod som söker finna den position där det är störst sannolikhet att sändaren verkligen står.



Figur 7. Sannolikhetsfördelning för sändarens position givet signalstyrkor från två mottagare (vänster och mitt). Höger bild visar kombinerad fördelning. Sändarens verkliga position är markerad som en röd cirkel medan mottagarna är markerade med gröna cirkclar. Skalan till höger visar färgernas betydelse, varje steg motsvarar 10 %.

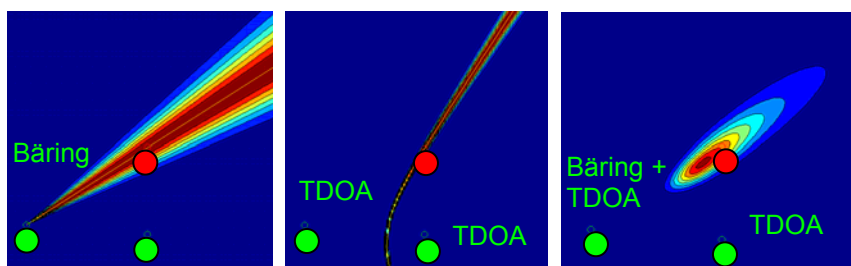
Ett exempel på tillämpning för ett signalstyrkemätande sensorsystem visas i Figur 8. Här sitter sensorerna på fordon i en kolonn. Ur uppmätta signalstyrkor kan man få en uppfattning om hur långt bort en sändare i vägens förlängning står.



Figur 8. Kolonn av sensorbärande fordon. Den röda kvadraten indikerar sändarens position. Grönfärgens intensitet indikerar den via signalstyrkor uppmätta sannolikheten att sändaren står i en given position.

2.5.1 Kombinerade kommunikationsspaningssystem

Olika typer av positioneringssystem har olika tillämpningar för att de är bra på olika saker. Genom att kombinera data från olika typer av system kan en bättre lägesbild uppnås. I en inledande studie låter vi varje system producera ett slags karta som visar sannolikheten att sändaren står i en viss punkt. Genom att sammanväga sådana sannolikhetskarter kan data från olika typer av positioneringssystem kombineras. Man får också direkt ett mått på positionens osäkerhet. I första hand har data från system som använder bäringar, skillnad i signalens ankomsttid (Time Difference Of Arrival, TDOA) och signalstyrkor studerats. Metoden medger även att data från andra källor som tillför information om sändarens position inkluderas, t ex basstations- eller terrängdata. Figur 9 visar exempel på sannolikhetskarter för bäring- och TDOA-mätande system. I exemplet har den ena sensorn möjlighet att mäta både bäring och TDOA.



Figur 9. Exempel på sannolikhetskarter. Vänster: Bäring, Mitten: TDOA, Höger: bäring kombinerat med TDOA.

2.6 Egenpositionering

Egenpositionering är en funktion som ibland kallas Blue Force Tracking (BFT). Egenpositioneringssystem används för att kunna följa egna enheters rörelser. Egna

plattformar bestämmer sin position med i första hand GPS och distribuerar sedan uppmätt position och hastighet mm till t ex en stab för sammanställning till en lägesbild.

Ett starkt motiv för att ha egenpositionering är möjligheten att säkrare skilja på vän och fiende i en stridsituation.

Det egenpositioneringssystem som används i Sverige är Stridsledningssystem bataljon (SLB) (Saab, 2005). Positionsförmedling med syfte att undvika bekämpning av egna enheter är en huvudtjänst i SLB.

Syftet med att införa egenpositionering i EWSim är framförallt att studera effekten av störning mot positioneringssystemet och distributionsnätet, men även att studera hur den som nyttjar ett egenpositioneringssystem avslöjar sig för fiendens signalspaningsenheter. En störning kan rikta sig antingen mot GPS-signalen eller mot distributionsnätet. En störning mot GPS-signalen medför att berörda enheter använder tröghetsnavigering som back-up. Staben får då fortfarande en uppdatering av position, men med sämre kvalitet än i det ostörda fallet. Om distributionsnätet störs, får inte staben någon uppdatering alls.

Vår modell har hämtat inspiration för funktion och visualisering från SLB, Force XXI Battlefield Command Brigade and Below (FBCB2) och APP-6A (US Department of Defence, 2005).

I Figur 10 visas exempel på hur egenpositionering visualiseras i EWSim.



Figur 10. Den vänstra bilden visar ett exempel på normalfallet då alla enheter har GPS-mottagning. De tre enheterna uppe till vänster rör sig ner mot högra hörnet på kartan, vilket indikeras med riktningsektörerna. Högra bilden visar hur det kan se ut när både civil och militär GPS har varit störd en längre tid. De gula blixtsymbolerna visar enheter med militär GPS som är störd. Övriga enheter har civil GPS och visar bara att de har tappat GPS-fix. Enheten längst ner till vänster saknar tröghetsnavigering och visar därför en klocka som indikerar att den senaste inrapporterade positionen börjar bli gammal. Övriga enheter har tröghetsnavigering. Beroende av kvaliteten på tröghetsnavigeringssystemet så visas större eller mindre osäkerhetscirklar.

2.7 Modellering av frekvenshoppande emitterar

Frekvenshopp (FH) är en teknik som sprider ut en radiosignal över tiden på olika kanaler genom att sända på en kanal i taget och därefter hoppa till nästa. FH används av flera olika orsaker. I civila tillämpningar handlar det oftast om ökad robusthet mot störningar. I militära tillämpningar handlar det om att försvåra följning, störning och avlyssning. FH kräver att de som ingår i ett FH-nät har tillgång till aktuella hoppmönster. I detta arbete simuleras detta mönster med en kod, samt ett eller flera möjliga hoppband. De enheter som har samma kod och samma hoppband kan kommunicera med varandra.

Det återstår en del arbete för att fullfölja FH-simuleringen, framförallt modellering av spaning och störning mot frekvenshoppande emitterar.

2.8 Satellitkommunikation

Vid internationella insatser är kommunikationsförbindelser via satellit viktiga därför att de medger säker bredbandig kommunikation över långa avstånd. För vårt simuleringssyfte kan två olika huvudtyper av kommunikation urskiljas. Dels en bredbandig satellitlänk som används för kommunikation med hemlandet och är en länk till Internet, samt dels handhållna enheter för talkommunikation inom ett insatsområde. Vi låter Inmarsat Broadband Global Area Network (BGAN) och Iridium utgöra förebilder för modeller av de två systemtyperna.

Syftet med dessa modeller är att ge en förståelse för hur olika typer av satellitkommunikationssystem fungerar i en telestörd miljö. Fokus ligger på markenheterna.

Den bredbandiga länken betraktas som en radiomässigt ”ostörbar kabel”, vilket motiveras av att parabolantennerna med stark riktverkan nyttjas och att det i praktiken är mycket svårt att uppnå störeffekt, då en framgångsrik störsändare måste befinna sig i parabolens huvudlob.

Den taktiskt mer intressanta handenheten modelleras som ett starkt förenklat Iridiumsystem. Den har handskakningstrafik och ett begränsat antal användbara frekvenser. Satelliters rörelse och trafiköverlämning (hand-over) mellan satelliter och celler modelleras ej. Möjlighet finns att spana mot och störa ut handenheten.

2.9 Ljusmodell med högdynamiskt omfång

Sedan tidigare finns möjligheten att i EWSim använda bildgenerering med stort intensitetsomfång. Tekniken, som brukar kallas för High Dynamic Range (HDR), innebär intressanta möjligheter för flera olika simuleringar. Ett område där man med HDR-tekniken kan uppnå mer realistiska modeller, är vid simulering av elektrooptiska sensorer och motmedel (t.ex. rök, facklor och lasrar). Dessa kan verka inom olika våglängdsområden, och ofta med ett stort intensitetsomfång.

I Hardware-in-the-Loop (HWIL) simulatorer med verklig hårdvara i looperna så måste simulatorn gå realtid för att erhålla riktiga resultat vilket ställer höga krav på de ingående modellernas tidsprestanda. Under 2010 togs det fram en metod för att använda sig av HDR i HWIL-simuleringar. Den specifika tillämpning som undersöktes var HWIL-simuleringar med en nyutvecklad mjukvarumodell för simulering av en IR-målsökarens retikel, optik och sensor samt generering av omvärldsdata i form av en högupplöst 2D-representation av en IR-scen med HDR.

Tidigare metoder för liknande simuleringar har använt förberäknade förenklade målrepresentationer för ett på förhand givet antal avstånd och riktningar. Detta har inneburit en begränsad precision, samt förenklingar med helt isotropa mål. Då den nya metoden innefattar behandling av en i realtid genererad bild utifrån en dynamisk 3D-scen, erhålls flera fördelar som t.ex. att målet får en korrekt spatial beskrivning. Simuleringen kan ta hänsyn till utbredda mål med varierande karakteristik över sina ytor. Tidigare har det varit svårt att med liknande metoder kunna hantera de strikta tidsprestandakrav som följer av att mjukvaran integreras med verklig hårdvara. För att klara dessa tidskrav, tillämpades nu tekniker som utnyttjar processorkraften i moderna grafikshorts grafikprocessor (Graphics Processing Unit, GPU). De är speciellt lämpliga för att åstadkomma parallell databearbetning med hög prestanda. Det passade bra för vår mjukvarumodell, där flera ingående delar kunde brytas ner till parallelliserbara beräkningsproblem.

2.10 Terräng

I många av tillämpningarna inom EWSim-ramverket är det en förutsättning att ha en bra representation av terrängen. Ett exempel är för visualisering av geografisk information,

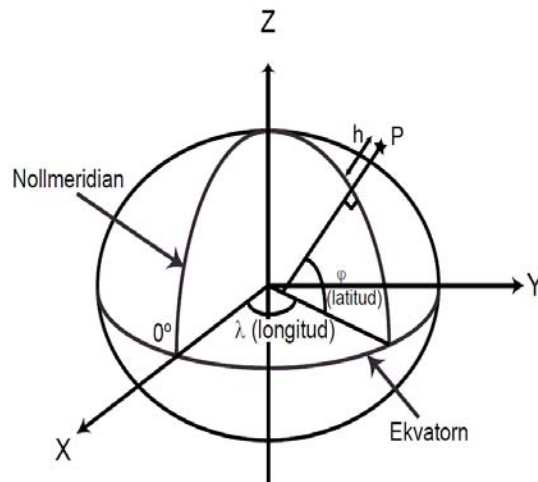
dels på kartnivå för strategiska och taktiska syften, och dels mer detaljerat nere på plattformsnivå, för exempelvis simuleringar med människa i loop. Utöver visualiseringsdelen så använder sig ett flertal telekrigmodeller av terrängen för beräkningar vid simulering. Exempel är vågutbredningsberäkningar för radiokommunikation.

Den utveckling som skett av våra verktyg gör att vi idag kan genomföra värderingar i områden var som helst i världen. Det gör att vi kan stötta Sveriges försvarsmakt i telekrigplanering och värdering i och inför internationella operationer.

2.10.1 WGS84

Geografisk information kan vara lagrad med ett flertal olika referenssystem. Mycket av den höjd- och marktäckningsdata vi har tillgång till, exempelvis från Lantmäteriet, är lagrat med World Geodetic System 1984 (WGS84).

WGS84 är en ursprungligen amerikansk standard för geografisk lägesangivning. Den specificerar ett geocentriskt koordinatsystem för jorden, en referensellipsoid för bestämning av positioners höjd, samt en geoid för bestämning av havsnivån, se Figur 11. Det är ett globalt referenssystem som använder samma modell för hela jorden. Dessutom kan koordinater i det av Lantmäteriet införda svenska referenssystemet SWEREF 99, betraktas som koordinater i WGS84 med en avvikelse på några decimeter (Lantmäteriet, 2011).



Figur 11. WGS84 beskriver ett kartesiskt (X, Y, Z) samt geodetiskt system (latitud, longitud, höjd), för positionsangivelser över hela jorden.

Under projektperioden har EWSim försetts med möjligheten att använda WGS84 för positionsangivelser i simuleringen. Tidigare versioner av EWSim har använt sig av koordinatsystemet RT90 som inte är giltigt över hela jorden. Denna förändring av EWSim har således gjort det möjligt att utföra simuleringar som är geografiskt förlagda till annan plats än Sverige och dess närområde.

2.10.2 Samarbete med NASA om kartfunktioner

Under 2010 påbörjades en process för ett samarbete med NASA för presentation av C2-funktioner i NASA:s ramverk World Wind (Bell et al., 2007). Beslut har nu tagits av regeringen att FOI får börja förhandla fram ett avtal (Försvarsdepartementet, 2011) som därefter ska beslutas av försvarsdepartementet. Målet är att få till en skrivelse som tillåter

synergieffekter mellan vår och NASA:s verksamhet så att NASA:s ramverk World Wind blir bättre lämpat för våra behov.

World Wind distribueras som öppen källkod och används av NetScene för att hämta data via nätverk. Kartdata används för visualisering och höjddata för beräkningar. Genom att använda standardprotokoll för dataöverföring kan data hämtas från alla servrar som följer standarderna. De protokoll som stöds idag är Web Map Service (WMS), Keyhole Markup Language (KML) och World Wind Tile Service, men det är även möjligt att läsa en del typer av Web Feature Service (WFS). Systemet använder grunddata från NASA som kan hämtas direkt från Internet alternativt installeras på en lokal server. Under våren 2011 hämtades data till en sådan server hem och det omfattar ca åtta terabyte med mark och höjddata som täcker nästan hela jorden.

2.10.3 Automatisk terränggenerering

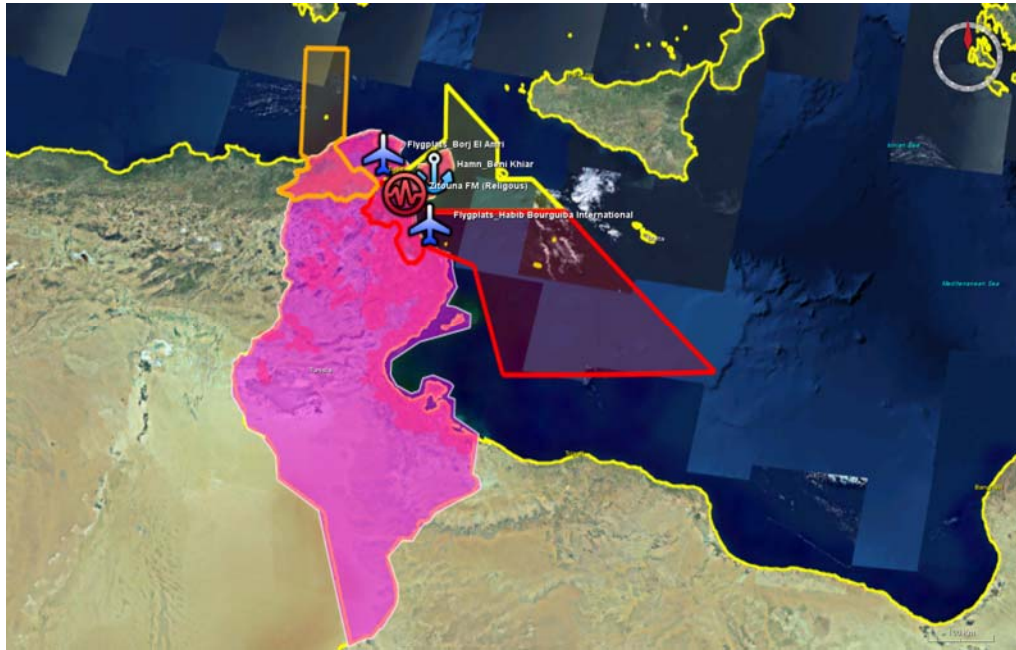
I inledande delen av projektperioden genererades en terrängmodell av hela Sverige uttryckt i WGS84. Rådata som användes kom från Lantmäteriet. Även extra detaljlager som skog och landets samtliga bebyggelse finns inlagt. Senare infördes stöd för att basera terrängmodellen på osgEarth som är öppen källkod. Detta har möjliggjort att man nu kan använda rådata för höjd och detaljlager som direkt input till EWSim, som under simuleringen genererar geometrin som behövs. Man slipper på så sätt att förgenerera ett speciellt terrängutsnitt inför en simulering. Förutsatt att man har relevant källdata för ett givet område, kan man således förlägga sin simulering dit.

Dataformat som direkt kan läsas av osgEarth är bl.a. Web Services i form av WMS och Tile Map Service (TMS). Det betyder att samma indata som används till World Wind i NetScene också kan användas till EWSim. Med relativt enkel vidareutveckling och viss databearbetning kan den data som erhållits från NASA-samarbetet göras tillgänglig under simulering till både EWSim och NetScene, ifrån en server på samma nätverk.

2.10.4 Tilläggsinformation i kartor

En vanlig funktion i geografiska informationssystem (GIS) är att utöver kartdata presentera tilläggsinformation i form av markörer vid viktiga platser, vägar, områdesgränser och dylikt. I planeringsverktyget kan denna typ av information presenteras genom inläsning av data som följer KML-standard (Wilson, 2008), se Figur 12.

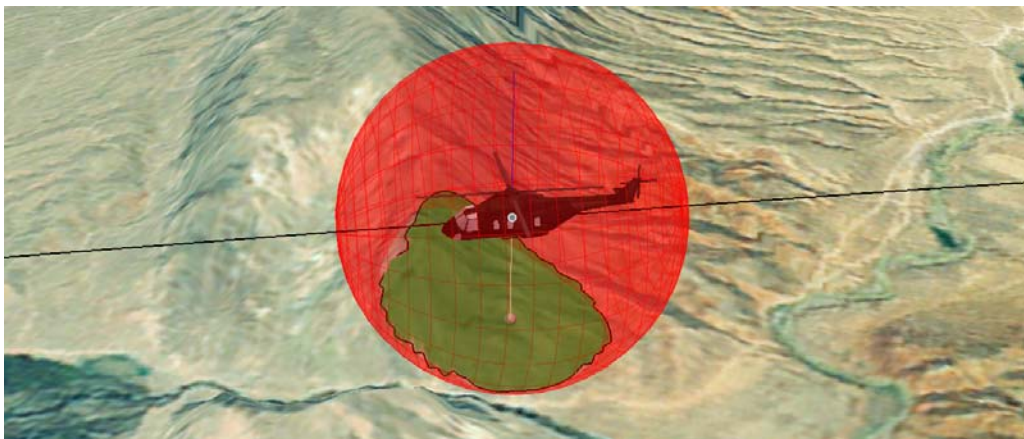
Det finns fritt tillgängliga verktyg för att skapa och redigera KML-filer, t.ex. mjukvaran Google Earth.



Figur 12. Markering med hjälp av KML på en karta. Områden som visar mobiltelefon täckning (rosa), politisk rörelse (lila), operationsområden (områden inom orange, gul och röda linjer) samt platsmarkeringar för radiostation, hamn och flygplatser.

2.11 Utvärdering av helikoptertaktik

Efter ett påtalat behov av planering för olika flygbanor med helikopter presenterades en kort demonstration av EWPlan med ett scenario utspelat i Afghanistan. I demonstrationen flög en helikopter genom ett bergspass och räckvidder för hot visualiserades på olika sätt, se Figur 13. Demonstrationen togs emot väl och på förfrågan utvärderades och visualiserades skarpa taktiska flygbanor i verktyget. En video av de taktiska flygbanorna i EWPlan användes sedan när dessa presenterades vid Operational Evaluation (OPEVAL). Ett förslag på ett transferprojekt för att utveckla EWPlan för planering av flygningar lämnades in under 2011 men har ännu inte beställts. Att stödja helikopterflottiljen i planering med avseende på telekrig ser vi som viktig verksamhet och vi kommer därför att jobba vidare med detta i den utsträckning det täcks in av befintliga beställningar.

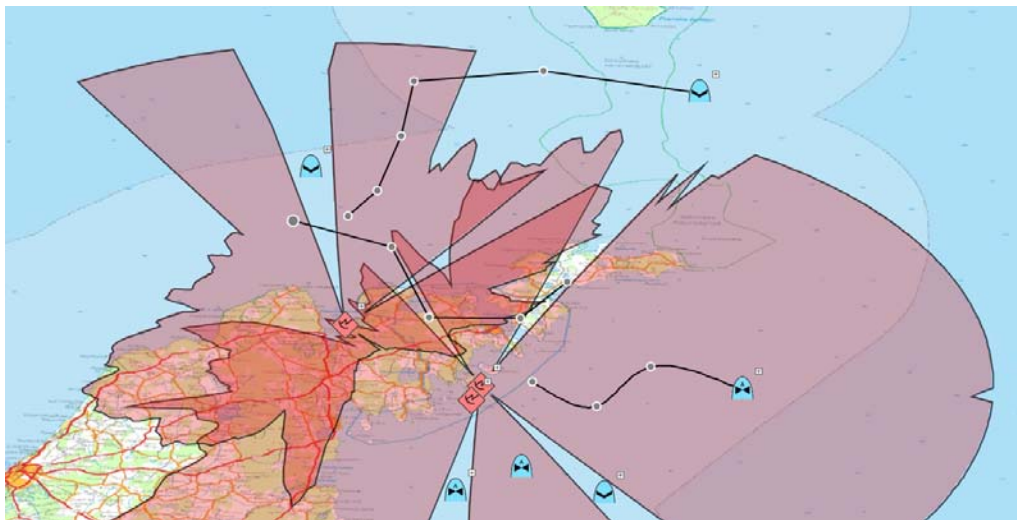


Figur 13. Helikopter som passerar genom ett bergspass i Afghanistan. Det röda området visar ungefärlig räckvidd för handeldvapen. Helikoptern är ej i verklig skala.

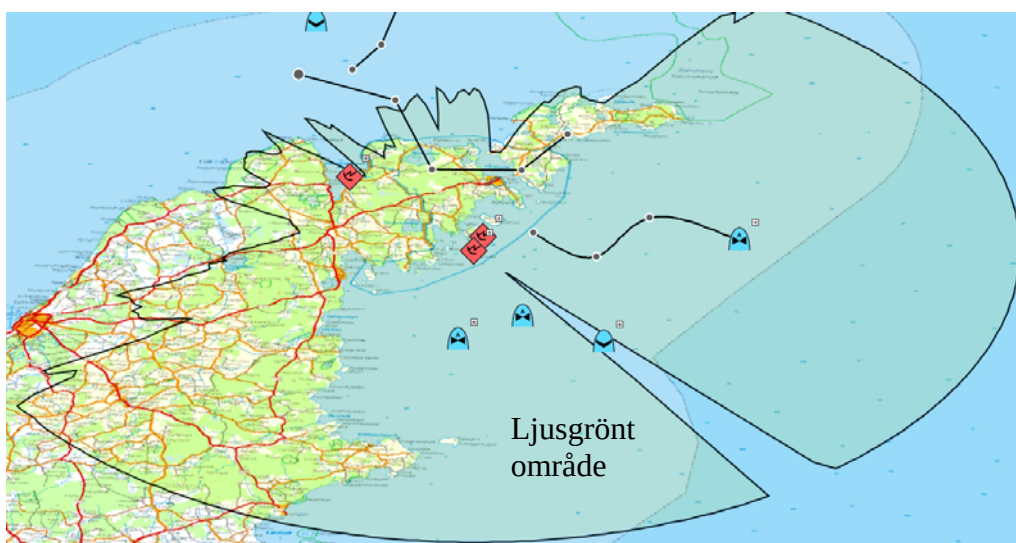
2.12 FOCUS övning

I anslutning till den årliga övningen mellan flygvapnet och luftvärnet kallad FOCUS gjordes några anpassningar baserat på användbarhetsförbättringar och förslag för Försvarmaktens Telekrig Stödenhets (FM TK SE) behov. NetScene sågs som ett bra verktyg för att planera och i utbildningssyfte visa övningsdeltagarna telekrigsaspekter inför övningen. Det verktyg som FM TK SE för närvarande använde till liknande syfte är inte tillräckligt flexibelt där ändringar i flygplaneringen inte kan förändras med kort varsel. NetScene är på det sättet mycket flexibelt och enkelt eftersom alla beräkningar sker direkt och inte måste förberedas.

FOCUS övningen genomfördes på Gotland och ett scenario med tre radarstationer, två UndE23 och en PS861 (Gerdle, 2004) togs fram. Ett antal olika radarstörare lades in med olika konfigurationer. Radarstörarna kan sedan kopieras och tas bort efter behov. En karta i lat-long-format (WGS84) genererades från vår FOI-interna kartserver så att planeringen kunde ske på en laptop utan Internetanslutning. Figur 14 visar yttäckning för de två UndE23 enheterna och Figur 15 visar yttäckning för PS861 enheten. Fem störare kan verka mot UndE23 varav en använder en riktad störantenn och en även kan störa PS861.



Figur 14. Rött område visar täckningsdiagram för två UndE23 på Gotland.



Figur 15. Ljusgrönt område visar täckning för en PS861 placerad på östra sidan av Gotland.

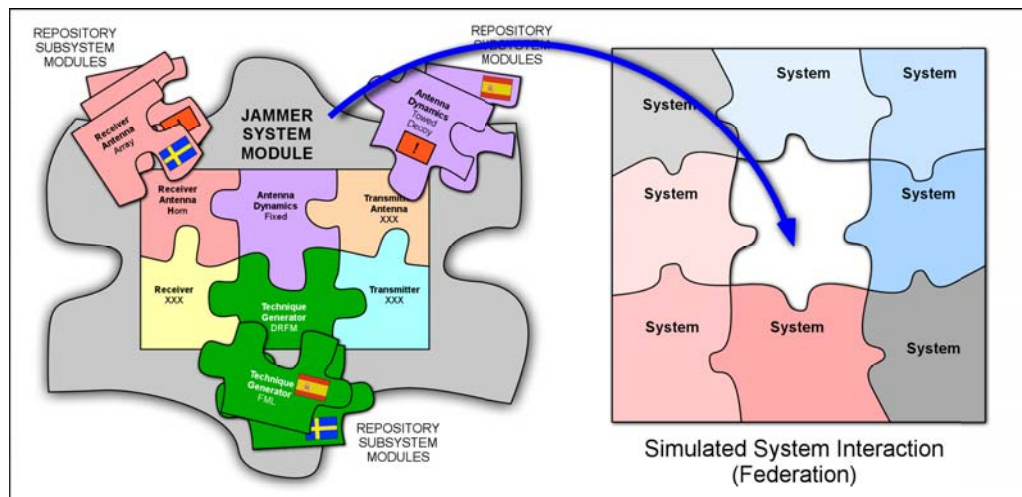
Antennendiagrammen förbättrades genom att inte bara använda fördefinierade funktioner som beskriver lobens utseende utan nu kan också funktionens parametrar sättas från gränssnittet. Detta innebär att antennerna fungerar mer dynamiskt och kan sättas till ungefärliga värden där tillgång till lobens utseende i tabellformat inte behövs eller kan ta tid att få fram.

2.13 EW COMARMS

I februari 2010 avslutades förstudien *Feasibility Study for the Electronic Warfare Common Modular Architecture for Mission Simulation (EW COMARMS)*. Förstudien var ett projekt inom European Defence Agency (EDA) med syfte att studera om det är möjligt att definiera en modular hård- och mjukvaruarkitektur för telekrigssimulering som kan minska utvecklingskostnader och utvecklingstider för framtida simuleringsmodeller, samt öka utbyttbarheten av modeller och moduler mellan forskningsorganisationer och företag inom Europa.

Förstudien pågick under 2009 och avslutades i början på 2010 med Sverige och Spanien som deltagare. Ett technical arrangement (European Defence Agency, 2009), som signerades i februari 2009, definierade innehållet i samarbetet och delade upp projektutförandet under ett år i fem arbetspaket.

Ett av de främsta resultaten från projektet är att en metodik har tagits fram som kan användas vid ett eventuellt framtida projektgenomförande. Metodiken innebär att modeller beskrivs på ett gemensamt sätt genom användande av BOM¹-standarden samt att ett antal strategier följs för att anpassa modeller till så kallade standardmodeller, vilka blir möjliga att dela. Ett annat resultat från projektet är att det inte är nödvändigt att använda sig av en gemensam simuleringsmiljö (ramverk) för att modeller ska kunna utbytas. Det är tillräckligt att modeller är utformade för användning i HLA-kompatibla framework, och sedan kan varje simulator som ska använda delade modeller använda önskat framework.



Figur 16. Systemmoduler konstrueras från utbytbara subsystemmoduler som har utvecklats enligt EW COMARMS interface definition för att användas i en federation med andra kompatibla systemmoduler.

För ett fortsatt EDA-samarbete anser vi att fler länder behöver involveras så att den framtagna metodiken kan utvärderas vidare och få en bredare förankring.

Utöver kännedom om problem som kan uppstå vid internationella samarbeten har förstudien gett projektet ett antal värdefulla insikter kring modularisering.

¹ BOM, Base Object Model, är en SISO-standard för att identifiera och beskriva konceptuella modeller samt interoperabilitet mellan dessa.

2.14 NetScene Plan Edition

I det här projektet ingår det som en deluppgift att stötta transferprojekt ledningskrigföringssimulatorens (LKS) med telekrigmodeller. De verktyg som tagits fram inom LKS har gått från att användas i en demonstrator till transferprojekt där verktygen har anpassats och vidareutvecklats till ett planeringsstöd i operativ stab med fokus på informationsoperationer (J3 INSS InfoOps). LKS planeringsverktyg bygger vidare på det gemensamma planeringsverktyg och scenarioverktyg som tagits fram inom demonstratorprojektet LKS och detta projekt. Det tidigare planeringsverktyget var kraftfullt och kapabelt att visualisera användbar data, men under dess utveckling låg inte fokus på användarvänlighet. Därför kom en ny version kallad NetScene PlanEdition att utvecklas i projektet *LKS Transfer*.

Utseendet på det nya verktyget utvecklades i nära samarbete med de tilltänkta användarna på J3 INSS InfoOps för att underlätta deras arbete med verktyget.

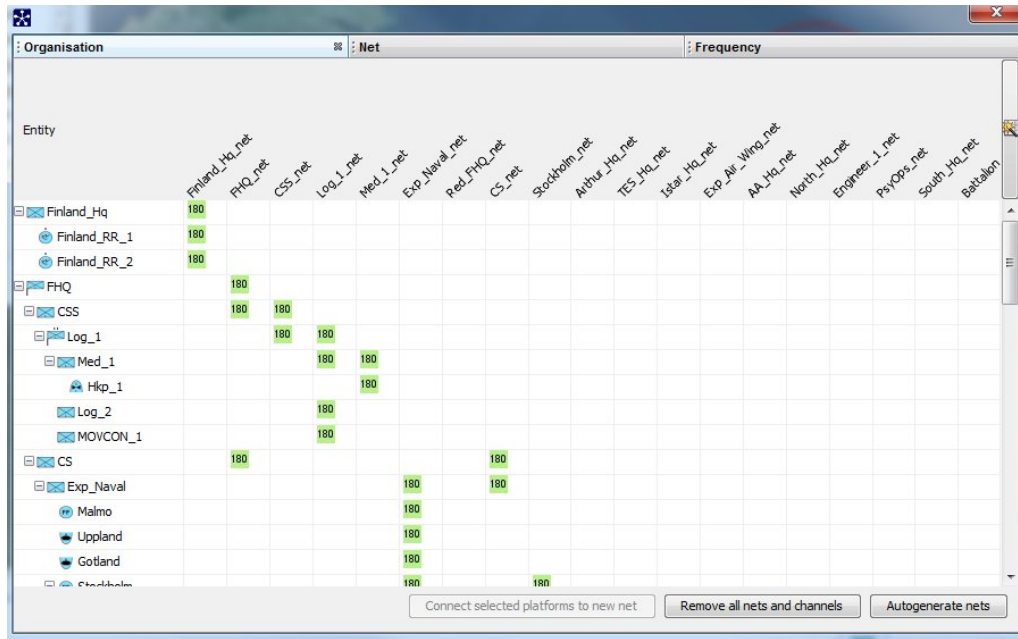
Verktyget är uppsatt för att användas i tre olika lägen. Create, Plan och Play. I varje läge får användaren tillgång till olika verktyg för att sätta upp och utvärdera ett scenario.

I *create-läget* (se Figur 17) kan användaren sätta upp scenariot. Till vänster i figuren ser vi katalogvyn, där användaren får en överblick över vad som kan läggas till scenariot i form av färdiga organisationer, plattformar och utrustning. I mitten av figuren ses kartvyn, och i kartvyn till vänster finns lagerhanteraren. Lagerhanteraren styr vilken information som visas just nu i kartvyn. Där kan användaren välja vilka lager som ska visas, exempelvis vill användaren i ett visst läge kanske endast se ett visst täckningsdiagram tillsammans med vissa enheter.

Det går även att importera och hantera KML-data (se Figur 12) och kombinera olika leverantörer av kartlager. Bland annat lager levererat av World Wind (se kapitel 2.10.2) och lager levererat av Carmenta (Carmenta, 2011).

I Figur 17 ses en kombination av en World Wind-karta med ett ovanpåliggande halvtransparent lager innehållandes ett sjökort. Om användaren vill ha mer information än så är det enkelt att slå av/på fler lager med lagerhanteraren (visas flytande på kartan i Figur 17).

Till höger i Figur 17 ses plattformsvyn. När användaren markerar en plattform fås information om denna i plattformsvyn. Där kan användaren även justera parametrar för utrustning på plattformen.



Figur 19. Konfigurering av samband

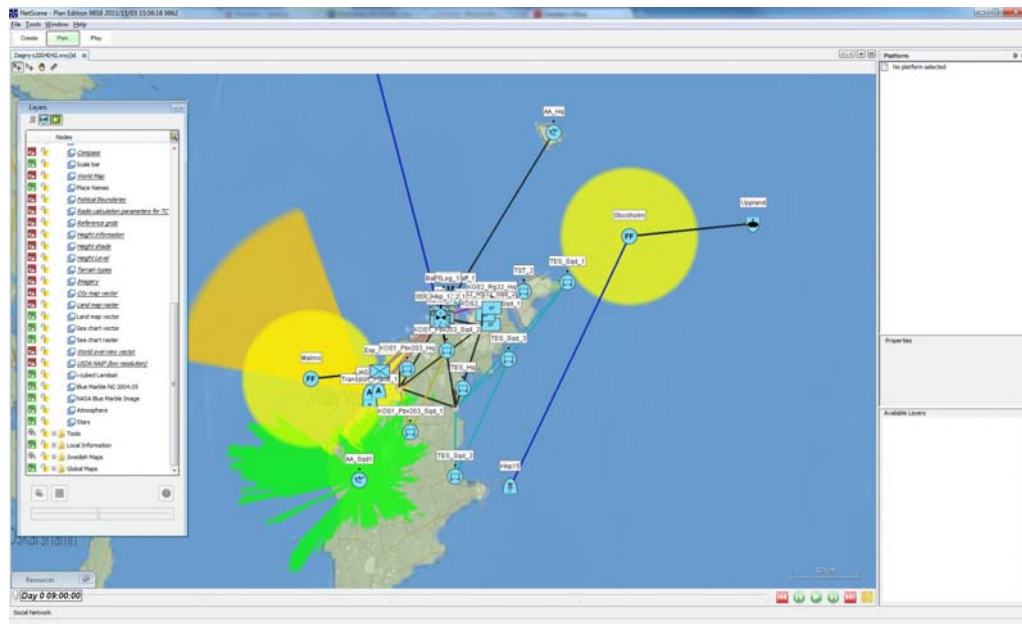
I *plan-läget* (se Figur 20) kan användaren planera scenariot. Här får användaren tillgång till en tidslinje (placerad längst ner) och kan välja hur enheterna ska agera vid olika tidpunkter i planeringen. Användaren får också stort stöd av verktygets koppling till Microsoft Project (se Figur 21). I Microsoft Project får användaren en uppfattning om vad de olika plattformarna gör vid ett visst skede i planeringen. Exempelvis kan en korvett vara upptagen med en förflyttning, då ser användaren att den resursen är upptagen för tillfället.

På så sätt kan användaren få en uppfattning om vilka resurser som krävs för att lösa en viss uppgift, som kan sträcka sig över en längre period.

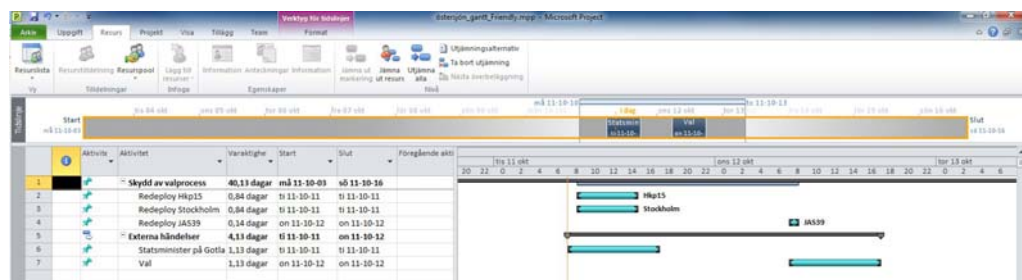
I mitten finns en kartvy av samma slag som den i *Create-läget*. Skillnaden är här att kartan är större eftersom användaren förväntas fokusera mer på det som händer i kartan när *plan-läget* används.

Till höger om kartan finns plattformsvyn, den är lik plattformsvyn som finns i *Create-läget*, men med skillnaden att täckningsdiagram går att skapa.

Täckningsdiagrammen är användbara för att visualisera hur plattformarnas agerande påverkar de andra plattformarna och mycket av denna funktionalitet har detta FoT projekt utvecklat.



Figur 20. NetScene PlanEdition i Plan-läget



Figur 21. Microsoft Project kopplat till NetScene PlanEdition

I *play-läget* får användaren möjlighet att spela upp det skapade och planerade scenariot, här ser man resultatet av det man gjort tidigare. Utseendet på *play-läget* är identiskt med *plan-läget*, men användaren har inte längre möjligheten att påverka skeendet genom att ändra plattformarnas uppgifter.

3 Kunskapsöverföring och nyttiggörande

Projektet har medverkat vid ett antal seminarier och utbildningar och tillhandahållit resurser i form av modeller och kompetens om telekrigmodeller till andra projekt.

Exempel på kunskapsöverföring och nyttiggörande:

- Stöd med verktyg för värdering och visualisering av taktiska flygbanor till OPEVAL för Hkp10 b inför införande i Afghanistan.
- Deltagit och föredragit vid kursverksamhet och Workshops på FOI.
- Projektet har ansvarat för FOI:s medverkan i EDA-projektet EW COMARMS som huvudansvarig för Sveriges medverkan som så kallad "Leading Nation".
- Stöd till FMV Fartygs utvecklingsverksamheter rörande skydd av fartyg inom radar, optronik och kommunikation.
- Stöttning med verktyg samt anpassning av dessa inför flygövningen FOCUS.
- Deltagande i FM/FMV systemstudier, utvecklings- och utbildningsverksamhet.
- Stötta transferprojektet Ledningskrigföringssimulatorens med telekrigmodeller.
- Internt inom FOI till projekten framtida behov inom VMS, samt VCVHM projekten som beställs inom försvarsmaktens materielsystem 443 m.fl.

Registrerade rapporter, konferensbidrag och demonstrationer

Här följer en lista med rapporter och demonstrationer som är diarieförda som leveranser från projektet, utöver dessa har ett flertal demonstrationer och föredragningar genomförts.

- Feasibility Study for the Electronic Warfare Common Modular Architecture for Mission Simulation, TECHNICAL ARRANGEMENT No B 0057 IAP2 ERG to ERG Arrangement No1 to the EUROPA MOU, 2009.
- Blue force tracking i EWSim. (FOI-R--2822--SE), (Metodrapport). 2009
- Positionering genom signalstyrkemätningar – Inledande teoretisk studie, FOI Memo 3315, oktober 2010.
- Lägesrapport 2009 - Dynamisk duellsimulering telekrig, (FOI-R--2868--SE), (Underlagsrapport), 2009.
- High dynamic range imaging i EWSim. (FOI-R--2773--SE), (Metodrapport), 2009.
- CD med Tk duellprogramvara. (FOI MEMO 2582), 2009.
- Redovisning av genomförd demonstration av hur duellsimulering kan stödja ett insatsförband. (FOI MEMO 2583), 2009.
- Planeringsverktyget EWPlan-v3.3, (FOI-R--3067--SE), 2010.
- Projektlägesrapport 2010, Dynamisk duellsimulering telekrig, (FOI-R--3068--SE), 2010.
- Redovisning av milstolpe kv3 2010 för projekt Dynamisk duellsimulering telekrig, FoT nr 922:08.(FOI MEMO 3300), 2010.
- Bemyndigande att förhandla avtal med Amerikas Förenta Stater, FOI-2011-38:8, 2010

- An Architecture of Distributed Simulation Control Tools – NetScene, 11F-SIW-026, 2011.
- CD med programvara för duellsimulering med Tk, (FOI Memo 3794), 2011.
- Demonstration duellsimulering med Tk, (FOI Memo 3795), 2011.
- Slutrapport för projektet dynamisk duellsimulering telekrig, (FOI-R--3301--SE), 2011.

Tidskriftbidrag under granskning

Två artiklar har även skickats in för granskning av tidskrifternas redaktörer och forskare inom området i fråga. Då dessa inte är formellt publicerade än, kan de hämtas ut efter önskemål.

- Real time hardware-in-the-loop simulation of reticle seekers using computer graphics and multi core techniques, skickad till Journal of Electronic Imaging, juni 2011
- Transmitter Location Using Signal-Strength Analysis, skickad till IEEE Transactions on Signal Processing, november 2011

4 Diskussion

Ramverket EWSim gör det möjligt att värdera hela telekrigsscenario, där den utvecklade simuleringsmetodiken och tekniken ger FM utökade och nya möjligheter att värdera teknik och taktik på flera nivåer. Simuleringsmiljön har fått många nya värderingsmöjligheter på kommunikationsområdet och hur telekriget påverkar informationsdomänen. Att simulera och värdera telekriget ger möjligheter att utveckla metoder och teknik där informationsutbytet i egna och motståndarens system kan kontrolleras och värderas för att studera hur man uppnår ett informationsövertag.

Den snabba utvecklingen på datorgrafikområdet har gjort det möjligt att med en ny teknik simulera elektrooptiska system som finns i målsökare och sikten, så att den dynamik som återfinns i sensorsignaler i verkligheten kan genereras i realtid. Detta innebär att inverkan av olika störningar och heta värmekällor som t ex laser, facklor och motorutblås kan simuleras på ett betydligt mer realistiskt sätt.

Att kunna positionera sändare utifrån uppmätta signalstyrkor är något som projektet tagit fram metoder för och visualiserat på ett sätt som gör det lätt att förstå både hur systemet fungerar och nyttan med detta. Detta har resulterat i stort intresse inom Försvarsmakten och en parallell mer experimentell verksamhet får på detta vis en utmaning att i försöksverksamhet se om de framtagna metodernas resultat går att återskapa. Dessa försök kommer sedan att återkopplas och kommer troligen att ge upphov till nya idéer och förfinade metoder hur detta kan åstadkommas. Även detta är exempel på hur projektet gjort precis det som efterfrågats.

Då ett mål för projektet har varit att demonstrera duellsimuleringsverktyg som kan användas som hjälpmedel vid utveckling av stridsteknik och taktik vid framtida telekriginsatser så har samverkan med projektet *Framtida behov inom VMS* skett. EWSim ger unika värderingsmöjligheter för hela telekrigsmiljön i ett och samma scenario och det är detta som projektet *Framtida behov inom VMS* använt sig av. Att planeringsverktyget EWPlan har använts för att visualisera det taktiska uppträdandet i en simulerad 3D miljö av terrängen med hotssystem och egna sensorer inför helikopteroperationer i Afghanistan visar att verktygen verkligen går att använda på avsett sätt d.v.s. vid utveckling av stridsteknik och taktik vid framtida telekriginsatser och till och med vid en OPEVAL. LKS Planeringsverktyg bygger i grunden på EWPlan och har vid användartester fått omdömet att det är ett bra verktyg som man vill använda i den riktiga operativa planeringen av telekrig även detta visar att de uppsatta målen uppfylls. Inför framtiden så finns förslag till hur en fortsättning på hur verktyget EWPlan skulle vidareutvecklas till att stötta planering av teknisk taktiskt uppträdande. Förslaget har tagits fram i samarbete med FM personal och därefter lämnats vidare till FM. Vid användandet av verktygen under FOCUS så ansågs verktygen vara bra för att planera samt i utbildningssyfte för att visa övningsdeltagarna telekrigsaspekter inför övningen.

Den utveckling som skett av våra verktyg gör att vi idag kan genomföra värderingar med terräng nästan var som helst i världen vilket gör att vi kan stötta Sveriges Försvarsmakt i telekrigplaner och värdering i och inför internationella operationer. Detta innebär även att det behövs tillgång till geografisk information för de områden som kan vara av intresse för Försvarsmakten. Med hjälp av kartdata vi fått från NASA över nästan hela jorden kan vi nu realisera planering och värdering av telekrig på rätt plats i tid.

I studierna som genomförts med simuleringsverktygen är en viktig del av resultat att detaljer i scenarier och taktisk användning måste preciseras innan det kan simuleras i ett scenario där saker verkligen sker i tid och rum. I den processen konkretiseras frågeställningarna och många till synes goda tankar vid konferensbordet blir uppenbart oralistiska i den simulerade "verkligheten". Många av de system som simuleras finns inte i operativt bruk och därmed finns inte systemparametrar eller de gränssytor som operatörerna ska interagera med utan dessa måste istället tas fram på annat sätt; från ämnesexperter, broschyrer, föredragningar eller artiklar. Detta gör sammantaget EWSim-

ramverket till en utmärkt verktygslåda att genomföra fördjupade studier av hur man tekniskt och taktiskt kan hantera nya typsituationer i scenarier med ny utrustning.

Projektet har i och med de här nämnda resultaten uppnått det uppsatta slutmålet att demonstrera duellsimuleringsverktyg som kan användas som hjälpmedel vid utveckling av stridsteknik och taktik vid framtida telekriginsatser. Dessutom har delmålen uppfyllts och till viss del överträffats då verktygen till och med kommit till nytta i operativ verksamhet.

EWSim och EWPlan är baserade på egen kod samt öppen källkod (t.ex. LGPL) vilket innebär att det inte finns några licenskostnader för att distribuera programvarorna inom FM. Därmed kan distribution av programmen ske betydligt enklare än om de vore licensberoende.

5 Fortsatt arbete

Då detta projekt är slut så för vi här vidare idéer och visioner som vi, inom projektet och i samtal med projektets intressenter, ser som intressanta till det efterföljande projektet Duellsimulering telekrig.

I efterföljande projekt är det viktigt att aktivt utforska nya och befintliga metoder och arbetssätt för att effektivisera och göra värdering med god kvalitet i systemstudier. Detta för att ge ett stöd i utveckling, användning och kravsättning på telekrigssystem och dess samverkan samt öka förståelsen av nyttan med dessa.

De framtagna modellerna och verktygen i detta projekt kan användas i väldigt många verksamheter och på flera nivåer där de ger möjlighet att öva och utveckla telekrig samt taktikanpassning under till exempel fältprov, övningar och insatser. Det nya projektet bör på ett adaptivt och smidigt sätt ta in nya behov som uppstår inom FM och se till att dessa kan fyllas med rätt verktyg med hjälp av den kompetens som finns inom området och anpassas och vidareutveckla dessa verktyg.

Att föra det High level architecture (HLA)- baserade simuleringsramverket EWSim vidare till den uppgraderade standarden HLA Evolved möjliggör integration med andra simulatorer såsom nationellt träningsnätverk (NTN) och ledningsträningsanläggningar. Där skulle EWSim möjliggöra att komplexa telekrigscenarier kan utvärderas i dueller där radar, optronik och kommunikation ingår vilket även innefattar telekrigets inverkan på informationsdomänen. Telekrig är idag en icke exciterande domän i många av dessa simulatorer till skillnad från verkligheten där telekrig visat sig vara helt avgörande i många situationer.

I samband med att EWSim användes till Hkp10b OPEVAL så identifierades ett behov av att utveckla funktionalitet så att bekämpningsrisken för en given flygprofil eller rutt kan beräknas under givna förutsättningar med fällsekvenser samt hotbedömningar i en geografiskt riktig hotmiljö. Detta kommer att vara en del som ett kommande projekt absolut bör utveckla då det kan ge ett bra mått på hur bra ett system fungerar i verkligheten.

Några ytterligare framtida utvecklingsförslag specifika för de olika vågländsområdena följer här:

Radarsystem I efterföljande projekt skulle radarramverket kunna ses över. Modeller för strukturella skenmål i marin miljö samt början till en implementering av M-faktormodell för att kunna se hur flervägsutbredning ex. påverkar radarmålareors fluktuation är delar som skulle kunna läggas till. Därutöver är det intressant att undersöka hur en operatör hanterar störning.

Elektrooptiska system I efterföljande projekt är det intressant att påbörja modellering för att undersöka optiskspanares möjlighet att klassificera hot, för att i ett senare skede även utöka modellen med signalbehandling av retroreflex. Modellering av multispektrala målsökare, utbredda facklor och sjömålsrobot är också aktuellt, liksom fortsatt utveckling av IIR med bl.a. nya tekniker för att generera skenmål. Detta bör ske i samverkan med projektet LASiD & V.

Kommunikation I efterföljande projekt är det intressant att utveckla en algoritm som ger förslag på kanalval baserat på terräng och position så att signalen ej kan detekteras alternativt minimal effekt används. Kommunkationsberäkningar kan vidareutvecklas så att områdesövervakning för bästa sensorplacering kan visualiseras och modellen för bakgrundsbrus kan förbättras. De algoritmer som baseras på sannolikhetsfördelningar kan fortsätta utvecklas så att data från olika källor kan kombineras på ett systemoberoende sätt för att på så vis hitta ett objekt i en viss punkt. Aktuellt är även modellering av signalspaning i urban miljö och undersökning av hur man kan hantera flervägs utbredning.

Referenser

- Bell, D. G., Kuehnel, F., Maxwell, C., Kim, R., Kasraie, K., Gaskins, T., Hogan, P. and Coughlan, J. (2007) NASA World Wind: Opensource GIS for Mission Operations, Proceedings of the 2007 IEEE Aerospace Conference, 3-10 March, Page(s):1 – 9.
- Berglund, L. Rosenquist C., & Hilding, L. (2011). Generiskt VMS – Lägesrapport, FOI Memo 3378. Sverige.
- Carmenta. (2011). <http://www.carmenta.com/>, 2011-10-20.
- European Defence Agency. (2009). Feasibility Study for the Electronic Warfare Common Modular Architecture for Mission Simulation, TECHNICAL ARRANGEMENT No B 0057 IAP2 ERG to ERG Arrangement No1 to the EUROPA MOU
- Festin, L. (2010). Positionering genom signalstyrkemätningar – Inledande teoretisk studie, FOI Memo 3315, oktober 2010
- Försvarsdepartementet. (2011). Bemyndigande att förhandla avtal med Amerikas Förenta Stater, FÖ2011/323/MFU
- Gerdle, P. (2004). Lärobok i telekrigföring för luftvärnet – Radar och radarteknik, Försvarsmakten, M7741-8541-850101 Telekrig Rr Tak Lv.
- Gustafsson, F (2010). Statistical Sensor Fusion, Studentlitteratur, ISBN 978-91-44-05489-6, 2010
- IEEE (2000). IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) - Framework and Rules. IEEE Std. 1516-2000
- IEEE (2010). IEEE Recommended Practice for Distributed Simulation Engineering and Execution Process (DSEEP), IEEE Std. 1730-2010
- Johansson, E., Appleby N., Festin L., (2008). HF Rymdvåg för TCT, FOI Memo 2497
- Saab (2005), Systemspecifikation Stridsledningssystem Bataljon Etapp 1, ver 3.0
- Tydén, L. (2010). CD med resultat från EDA projektet EW COMARMS. FOI Memo H756.
- Tydén, L. Andersson, H., Andersson, K., Andersson, U., Brännström, P., Festin, L., Hammarqvist, R., Härje, T., Kärnhall, H., Hilding, L., Petersson, M., Klum, P., Verona, M. (2010a). Slutrapport Duellsimulering framtida telekriginsatser. FOI-R--2612--SE.
- Tydén, L., Andersson, H., Brännström, P., Härje, T., Petersson, M. (2010b) Planeringsverktyg EWPlan v3.3, FOI-R--3067--SE, december 2010.
- US Department of Defence (2005), Common Warfighting Symbology, MIL-STD-2525B w/CHANGE 1, 1 July 2005.
- Wilson, T. (2008). OGC KML Version 2.2.0. Hämtad från http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=27810, 2011-05-01.