

Peter Klum

Slutrapport Stridstekniska Systemdueller



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Ledningssystem

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--0631--SE

Oktober 2002

ISSN 1650-1942

Användarrapport

Peter Klum

Slutrapport Stridstekniska Systemdueller

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0631--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 6. Telekrig	
	Månad, år Oktober 2002	Projektnummer E7015
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd	
Författare/redaktör Peter Klum	Projektledare Peter Klum	
	Godkänd av Lennart Nyström	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Peter Klum	
Rapportens titel Slutrapport Stridstekniska Systemdueller		
Sammanfattning (högst 200 ord) Denna slutrapport beskriver verksamheter och erhållna resultat inom projektet "Stridstekniska Systemdueller" från 1998 tom 2002. Projektets syfte har varit att utveckla modeller för studier av telekrigdueller samt att värdera dessa dueller. Verksamheterna har bedrivits inom: optronik (modeller och värdering av bildalstrande system), radar (modeller och värdering av störsändare och remsor) och kommunikation (modeller och värdering av sambandsdueller samt träning/utbildning). Försvarmakten har genom projektet fått tillgång till en utvecklad metodik- och modellkunskap, dels direkt men även indirekt via ett flertal FOI-projekt samt via Försvarmakten utbildningsverksamhet inom telekrig. Modeller som FREKE, TAVAST, ChfDuel, Mfactor m.fl. har levererats till befattningshavare inom Försvarmakten för att kunna användas som verktyg i olika avseenden. Modellen AntView har levererats till förband och kan användas vid utbildning inför flygförbandens medverkan i internationella insatser. Modeller i EwSim samt den i rapporten beskrivna tyngdpunktsföljprincipen har stora möjligheter att kunna användas i Försvarmakten träningsanläggningar.		
Nyckelord Telekrigvärdering, Simulering, Optronik, Radar, Kommunikation		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 41 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

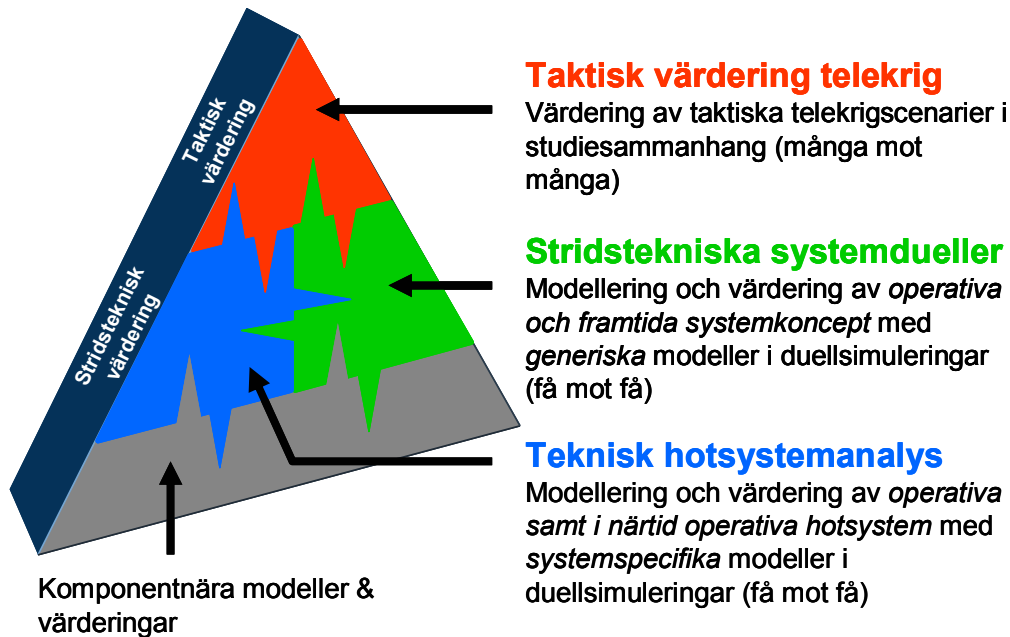
Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--0631--SE	Report type User report
	Research area code 6. Electronic Warfare	
	Month year October 2002	Project no. E7015
	Customers code 5. Commissioned Research	
	Sub area code 61 Electronic Warfare including Electromagnetic Weapons and Protection	
Author/s (editor/s) Peter Klum	Project manager Peter Klum	
	Approved by Lennart Nyström	
	Sponsoring agency FM	
	Scientifically and technically responsible Peter Klum	
Report title (In translation) Final report Technical System Duels		
Abstract (not more than 200 words) This report describes activities and results from the project "Technical System Duels" dating from 1998 to 2002. Objectives of the project have been to develop models for studies of EW duels and to conduct assessments using these models. The activities in the project have been in the areas: optronics (models and assessment of image generating systems), radar (models and assessment of countermeasure equipment and chaff) and communication (models and assessment of communication warfare and tools for training and education). The Swedish Defense Forces have through the project received access to a well-developed methodology and model knowledge, directly or indirectly from other FOI-projects and the Swedish Defense Forces electronic warfare educational programs. FREKE, TAVAST, ChfDuel, Mfactor and others models have been delivered to officers within the Armed Forces to function as tools for different purposes. The AntView model has been delivered to Swedish Air Force units as an educational tool prior to international operations. Models within EwSim and the Center of Gravity tracker described in the report have a large potential in training facilities.		
Keywords Electronic Warfare Assessment, Simulation, Optronics, Radar, Communication		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 41 p.	
Price acc. to pricelist		

Innehåll

1	Inledning.....	7
2	Läsanvisningar	8
3	Genomförda aktiviteter	9
3.1	Optronik.....	9
3.1.1	OPTSIM (OPTronic Simulation Interface Model).....	9
3.1.2	EwSim.....	13
3.1.3	OPTSIM kontra EwSim.....	16
3.2	Radar.....	18
3.2.1	Störsändarmodellering.....	18
3.2.2	Remsmodellering.....	20
3.2.3	Sensormodellering.....	21
3.2.4	M-faktor	22
3.3	Kommunikation.....	24
3.3.1	TAVAST	24
3.3.2	FREKE.....	27
3.3.3	Kombinerad TAVAST/FREKE	29
3.3.4	TALISMAN	30
3.3.5	NET.....	33
4	Kunskapsspridning och nytta.....	36
5	Internationellt avtalsbundet projektsamarbete.....	37
6	Framtid	37
7	Slutord	38
	Leveranser	39
	Referenser.....	41

1 Inledning

Detta dokument sammanfattar verksamheterna inom projektet *Stridstekniska Systemdueller* från 1998 till 2002. Stridstekniska Systemdueller är ett av tre FOI telekrigvärderingsprojekt inom Forskning- och Teknikutvecklingsområdet Telekrig (FoT 16). Skillnaderna mellan projekten framgår i Figur 1.



Figur 1 Värderingspyramiden med de tre telekrigvärderingsprojekten inom FoT Telekrig.

Stridstekniska Systemdueller har resultatmässigt varit knuten till Avdelningen för Lednings-system i Linköping. De flesta projektmedarbetare har värvats från denna avdelning och speciellt från Institutionen för Telekrigvärdering.

Dagens försvar har begränsade resurser att öva och utbilda förband i telekrigföring. Det är också svårt att värdera samt vidareutveckla teknik och taktik eftersom antalet tillfällen för praktiska prov är begränsade. Med rätt simuleringssverktyg kan bilden radikalt förändras. Resultat kan tas fram till en låg kostnad och användas för systemavdömningar eller utbildning inom försvaret av telekrigföring på olika plan i syfte att förbättra förmågan att överleva i ett framtida krig. Simuleringar och modeller inom detta område kan även utnyttjas som planerings- och värderingsverktyg inför och efter fältprov.

Huvudmålet för Stridstekniska systemdueller har varit att:

öka försvarsmaktens beredskap inför framtida tekniska hot samt förbättra våra egna systems verkningsgrad genom att ta fram modeller och metodik som kan besvara frågeställningen: - Hur ser den stridstekniska telekrigduellen ut idag och i framtiden samt hur optimerar man försvarets telekrigkapacitet inom optronik-, radar- och sambandsområdet, såväl för verkan som för skydd?

Delmål inom projektet har varit:

- *Utveckla metodik och modeller för värdering av tekniska telekrigdueller inom kommunikation, radar och optronik.*
- *Genomföra studier av olika störmetoder i scenarier med varierande plattformar och sensorsystem.*
- *Stödja FM i frågor avseende motmedelsskydd av plattformar och störverkan mot skyddssystem.*

Projektet har till stor del varit av kunskapsuppbyggande karaktär, men modeller och metodik som utvecklats i projektet har använts i ett flertal FOI projekt som t ex *Teknisk hotsystemanalys*, *VMS Stridsfordon*, *VMS Flyg*, *VMS Fartyg*, *Telekrig i radarmålsökar* och *Störning av sambandssystem*.

Externa avnämare av studieresultat, modeller och metodik har varit bland andra *FM TKSE*, *TU Tp84*, *S1/UtvE*, *MTK/TK*, med flera. Modeller utvecklade i projektet används även vid laborationer i FHS 20-poängskurs i telekrigföring samt presenteras och demonstreras vid Högre Kurs Telekrig (HKT).

2 Läsanvisningar

Kapitel 3 Genomförda aktiviteter

Beskriver verksamheterna inom projektet uppdelat på kompetensområdena: optronik, radar och kommunikation.

Kapitel 4 Kunskapsspridning och nytta

Beskriver hur kunskap och resultat från projektet har spridits inom Försvarmakten samt inom FOI och andra organisationer samt redovisar vilken nytta projektet har inneburit för Försvarmakten (direkt och indirekt).

Kapitel 5 Internationellt avtalsbundet projektsamarbete

Redovisar ett avtalsbundet projektsamarbete.

Kapitel 6 Framtid

Framtiden för verksamheterna i nya projekt och förhoppningar om att resultaten från verksamheterna kan komma till användning.

Kapitel 7 Slutord

Projektledarens tack till projektmedarbetarna.

Referenser eller leveranser från projektet markeras i texten mellan hakar [referensnummer]. Leverans- och referensförteckning återfinns i slutet av dokumentet, sid 39 och 41.

3 Genomförda aktiviteter

Projektet har sedan 1998 varit uppdelat i de tre kompetensområdena Optronik, Radar och Kommunikation. I följande kapitel beskrivs aktiviteter som har förekommit under åren.

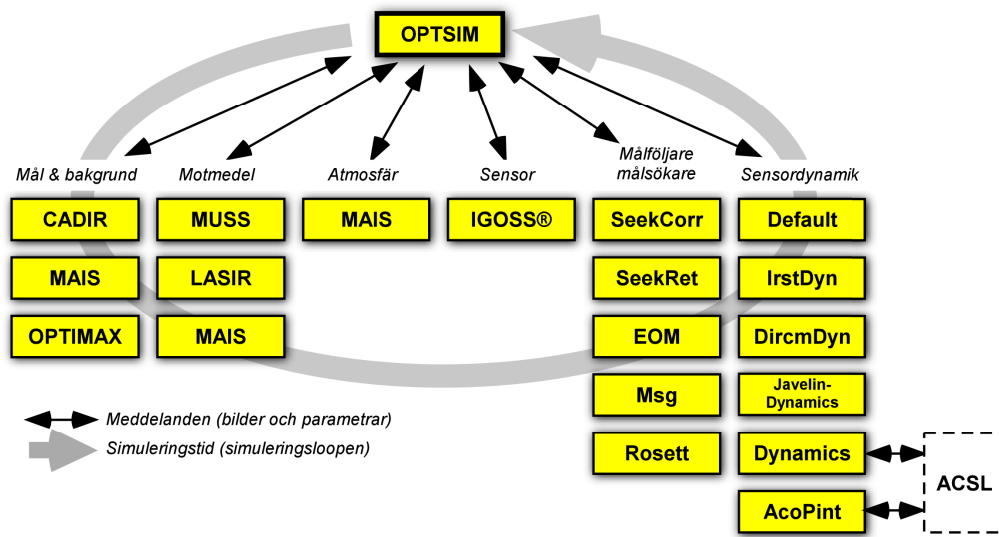
3.1 Optronik

Modellering av optroniska sensor- och motmedelssystem har länge varit en verksamhet inom FOI. Inom Stridstekniska Systemdueller har modellering och simulering av bildalstrande sensorsystem i störd miljö fortsatt genom utveckling av olika sensor- och motmedelsmodeller för enskild användning och/eller användning inom olika simuleringsramverk som OPTSIM och VEGA/SensorVision, vilka beskrivs i följande kapitel.

Flertalet av modellerna som har utvecklats inom projektet har använts som fristående program för olika typer av simuleringsverksamhet inom olika projekt. Olika typer av målföljarmodeller har t.ex. använts direkt mot videoupptagningar för att värdera olika typer av motmedel. Enskilda modeller är som nämnts ovan mycket användbara som fristående program men genom att koppla samman dem ökar användbarheten då telekrigstudier i duellform kan göras i dynamiska scenarier.

3.1.1 OPTSIM (OPTronic Simulation Interface Model)

Verksamheten inom optronik har haft som syfte att studera hur rörliga mål i en given bakgrund kan skyddas med hjälp av olika former av motmedel, under anfall av till exempel robotar med olika målsökarsystem (vilkas sensorfunktion kan simuleras med hjälp av bildbehandling). För att kunna göra sådana studier meningsfulla måste en simuleringsmiljö, förutom att modellera motmedel i form av t.ex. rök, dimma, facklor eller laserstörare, kunna beskriva scenariot som innehåller en bakgrund, och olika objekt i form av flygplan, fartyg eller markbaserade stridsfordon. Dessutom måste simuleringen kunna beskriva hur denna bild av scenen degenereras i ett sensorsystem och den måste kunna beskriva hur en målsökare reagerar på den slutliga bilden. För att göra allt detta har inom projektet ett antal nya och vidareutvecklade datormodeller kopplats samman. Det program som kopplar ihop de övriga modellerna är OPTSIM (OPTronic Simulation Interface Model) [15].



Figur 2 OPTSIM systemet med olika modeller (gulmarkerade block).

Figur 2 visar hur de olika modellerna kommunicerar med varandra med hjälp av OPTSIM. Modellerna är fristående program som i vissa fall förutom att användas i OPTSIM också kan köras enskilt mot bildsekvenser eller liknande indata.

Ett exempel på informationsflöde i denna modellstruktur kan vara:

- ⇒ I Mål & bakgrundsmodellen *CADIR* skapas en bakgrundsbild och en objektbild.
- ⇒ Dessa bilder med positionsinformation sätts samman i sensormodellen *IGOSS* som lägger till rörelsedistortion till en bild.
- ⇒ Denna bild med information om objektets position skickas till motmedelsmodellen *MUSS* som lägger till effekten av motmedel, tex. facklor.
- ⇒ Den resulterande bilden skickas till atmosfärsmodellen *MAIS* som beräknar atmosfärens inverkan på bilden.
- ⇒ Den resulterande bilden skickas till en andra sensormodell *IGOSS* som lägger till sensorprestanda (optik, detektor, m.m.).
- ⇒ Sensorbilden skickas till målföljarmodellen *SeekCorr* som hittar en trolig målposition.
- ⇒ Positionen skickas vidare till modellen *Dynamics* som hämtar robotdynamiken från en ACSL¹ modell, vilken bestämmer hur roboten skall styra.

I nästa tidssteg används styrkommandon, målets hastighet och eventuell förflyttning av t.ex. facklor i förhållande till målet för att skapa nya bilder. Detta cykliska förfarande fortgår sedan tills dess att något avbrottskriterium har infallit (tex. målet träffas av roboten).

Modeller som har anpassats och utvecklats till OPTSIM systemet är:

- **OPTSIM** - används för att definiera ingående modeller i systemet och parameteruppsättning samt hanterar kommunikationen mellan ingående modeller. Innehåller robotdynamikmodellen *Default*. [15, 3]
- **CADIR** - genererar IR-bilder av objekt och bakgrund. [36, 37]
- **OPTIMAX** - program som kopplar 3D Studio MAX till OPTSIM för generering av 3D scenarier i det optiska området.
- **MUSS** - genererar motmedel i form av dimma, rök eller facklor.[43]
- **LASIR** - genererar motmedel i form av en laserstörare. [34]
- **IGOSS®** - modellerar ett sensorsystems påverkan på inbilden. [40, 41]
- **MAIS** - modellerar atmosfärens inverkan på sensorbilden. Innehåller funktioner för bildgenerering av mål och bakgrund samt även en bländlasermodell. [29, 30]
- **SeekCorr** - korrelationsmålföljare. [44]
- **SeekRet** - retikelmålsökare. [39]
- **EOM** - centroidmålföljare. [35]
- **Msg** - modell av en slutfasstyrd granat (utvecklad inom projektet *VMS Stridsfordon*). [32, 33]

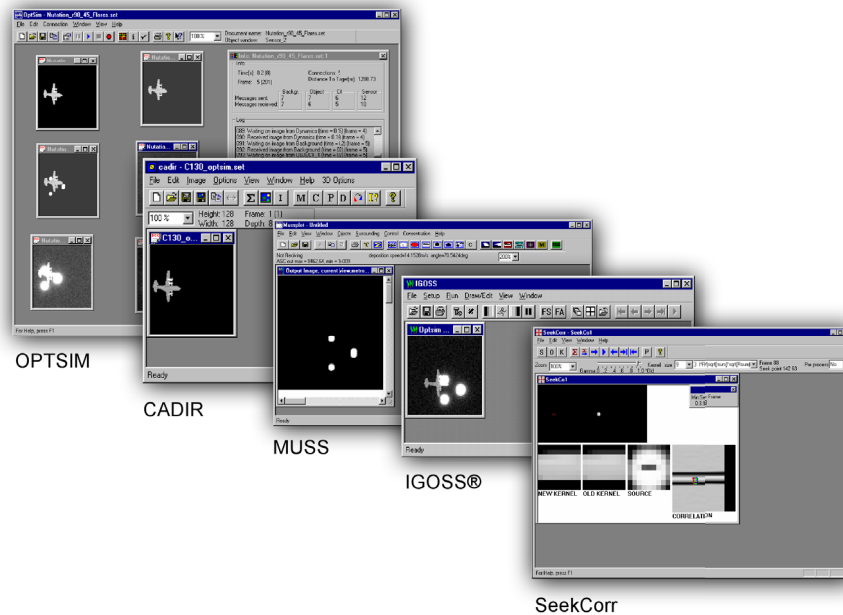
¹ ACSL (Advanced Continuous Simulation Language) är en simuleringsmiljö som bland annat används inom radardelen av projektet samt inom projektet Teknisk Hotsystemanalys. För mer information se <http://www.acslsim.com/>

- **Rosett** - modell av rosettscannande målsökare.
- **Default** - modellerar dynamiken hos en hundkurve- eller syftbäringsstyrd robot. Modellen är en del av *OPTSIM* programmet, se ovan.
- **IrstDyn** - en modell för att ta fram detektionsavstånd för IRST (InfraRed Search and Track) liknande system. [27]
- **DircmDyn** - en modell för att hantera parallella simuleringar vid DIRCM (Directed IR CounterMeasure, bländlaser) simuleringar.
- **JavelinDynamics** - modell av robotdynamik (liknande PV robot Javelin). Robotmodell med variabel hastighets- och höjdprofil. Utvecklad inom projektet *VMS Stridsfordon*. [42]
- **Dynamics** - program som kopplar samman OPTSIM med ACSL. Hämtar dynamiken hos en robot simulerad i ACSL till OPTSIM. Utvecklad i samarbete med projektet *Teknisk Hotsystemanalys*. [1, 3]
- **AcoPint** - program som kopplar samman OPTSIM med ACSL. Levererar detektorsignaler från OPTSIM till ACSL. Utvecklad i samarbete med projektet *Teknisk Hotsystemanalys*. [1, 3]

Andra program och verktyg som utvecklats i anslutning till OPTSIM

- **Mpfr** - visualiseringsprogram för MODTRAN data.
- **Paint** - program för uppspelning och bearbetning av videosekvenser. Funktioner för konvertering mellan olika filformat.
- **Fipp** - bildbehandlingsprogram som bl a används i utbildningar.
- **GLCM/TM** - verktyg för att värdera döljande motmedel eller maskerande åtgärder (bygger på Gray-Level Co-occurrence Matrix/Trackability Metric). Ingår som en del i *SeekCorr*. [25, 26, 28]

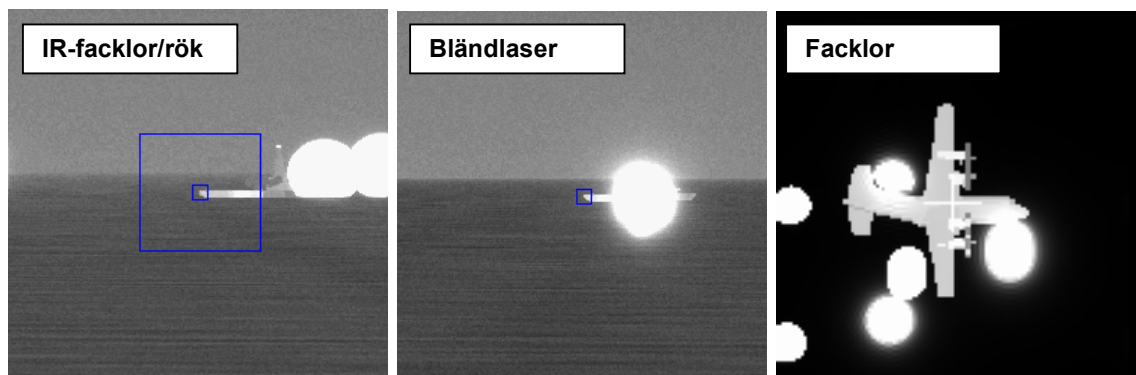
Alla modeller är utvecklade i Microsoft Visual C++ för Windows på PC. OPTSIM systemet kan exekveras på en dator eller köras distribuerat i ett nätverk. Dock ger inte det senare någon tidsvinst då simuleringarna vanligtvis sker seriellt i en sekvens (en modell behöver en bild från en tidigare modell i sekvenskedjan).



Figur 3 Några OPTSIM modeller och deras användargränssnitt.

Modellerna i OPTSIM systemet har, förutom att de använts inom Stridstekniska Systemdueller, använts inom olika projekt som *VMS Stridsfordon* och *VMS Fartyg*. Olika användningsområden har varit:

- Planeringsverktyg inför fältprov (MUSS för konfigurering och placering av munstycken för generering av multispektral vattendimma).
- Värderingsverktyg efter fältprov (studier av målföljare mot motmedelsskyddade markobjekt).
- Värdering av IRST system (värdera detektionsavstånd).
- Som utbildningsverktyg vid laborationer i FOI/FHS kursverksamhet (Robusta kurserna).
- Värdering av motmedel (laser, facklor) mot Korrelations-, Retikel- och Centroidmålföljare. [31, 16]



Figur 4 Simulering av korrelationsmålföljare mot skyddsobjekt skyddade med IR-facklor/rök, bländlaser och facklor.

Förutom dessa direkta användningsområden har modelleringsarbetet ökat kunskapen inom projektet vad avser bildalstrande sensorsystem och simulering av dessa, vilket har kommit FM till godo vid utbildningar, kontakter och presentationer.

En av fördelarna med modellerna som har anpassats till OPTSIM systemet är att vi har full kontroll på simuleringarna samt att sensorsimuleringen sker med hög dynamik (32-bitars bildhantering, vilket kan krävas för att realistiskt simulera en störd sensor). En begränsning med OPTSIM systemet är att simuleringarna vanligtvis måste exekveras i en följd (en bild från en modell används som indata till en annan modell), vilket gör att en simulering kan ta lång tid (ett skede som tar ett par sekunder i verkligheten kan ta upp mot en timme att simulera). Speciellt är scenario- och motmedelsgenereringen flaskhalsar i simuleringen, varför projektet har börjat använda realtidsramverket VEGA/SensorVision, där simuleringarna kan fås att gå i realtid eller nära realtid. Givetvis då med begränsad precision relativt OPTSIM systemet. Vilka för och nackdelar dessa miljöer har, redovisas i kapitel 3.1.3.

3.1.2 EwSim

Som nämnts tidigare är en av nackdelarna med OPTSIM att simuleringarna vanligtvis går avsevärt långsammare än realtid. I syfte att kunna snabba upp exekveringshastigheten utan att göra alltför stora avkall vad avser precision har projektet under senare år studerat simuleringsramverket VEGA/SensorVision från MultiGen-Paradigm². Då VEGA även används som grafikmotor i olika FM anläggningar samt inom ett flertal FOI projekt ökar möjligheterna till synergieffekter och modellsamverkan.

Med kunskap som erhållits från modellutvecklingen i OPTSIM systemet, har ett antal modeller utvecklats till VEGA/SensorVision moduler. Det modulbibliotek som har tagits fram för denna simuleringsmiljö kallas inom projektet för *EwSim* [17]. Med EwSim kan nu scenarier med bildalstrande sensorer och motmedel exekveras i nära realtid eller i realtid (beroende på komplexitet) på PC.

Modulerna har tagits fram för PC och Windows för användning i VEGA (ej VEGA Prime³). De moduler som har utvecklats är:

EwImage

Grupp av moduler för att hantera bildinformationen i VEGA/SensorVision. Moduler som utvecklats är:

- **Image**
Modul som ger möjlighet att ur simuleringen extrahera bilddata och använda den som indata till övriga moduler eller att skriva bilddata som en bildsekvens (avi fil) med önskad videokompression.
- **SmallTarget**
Hanterar ”Sub-Pixel” objekt i bildplanet. Då en sensor följer ett mycket litet objekt kommer fel radiansvärde att genereras på grund av att objektet upptar endast delar av bildelement (pixlar) i bildplanet. Modulen hanterar detta genom att bilden zoomas in på objektet och korrekta radiansvärden beräknas som ett medelvärde.

² För mer information om MultiGen-Paradigm och VEGA/SensorVision se <http://www.multigen.com>

³ VEGA Prime är en vidareutveckling av VEGA som presenterades under 2002, se http://www.multigen.com/products/runtime/vega_prime/index.shtml

EwSeeker

Modul med modeller av olika målsökare och målföljare. Utvecklade modeller är:

- Korrelationsmålföljare
- Centroidmålföljare
- Retikelmålsökare
- Rosettscanmålsökare

EwMotion

Grupp av moduler som hanterar målföljarens/målsökarens (*EwSeeker*) dynamik och rörelse samt funktioner för att värdera följefel:

- **EwMotion** med:
 - Modell av generisk robotdynamik
Innehåller styrprinciper som syftbäringsstyrning och hundkurvestyrning inklusive styrparametrar.
 - Koppling till ACSL för att nyttja robotdynamik från ACSL-modeller.
- **EwGraph**
Modul för att visualisera målföljarens följefel samt händelser under simuleringen.

EwCM

Grupp av moduler som hanterar motmedel i form av rök och facklor. Utvecklade moduler är:

- **Flare/Cloud**
Definierar parametrar för rökmoln och facklor samt simulerar dynamiskt deras rörelse och signatur. Simuleringen nyttjar MultiGen-Paradigm produkten Vega Special Effects.
- **Expandable/Decoy**
Definierar parametrar för motmedelsgranaten. Definierar vilka subladdningar (*Flare/Cloud*) som finns i laddningen.
- **Dispenser**
Definierar placeringen och riktning för enskilda motmedelsfällare/kastare samt vilka motmedelsgranater (*Expandable/Decoy*) som används.
- **Sequencer**
Definierar sekvensen för avfyring av enskilda motmedelsfällare/kastare (*Dispenser*).
- **ControlBox**
Definierar när och hur en motmedelssekvens (*Sequencer*) ska initieras.

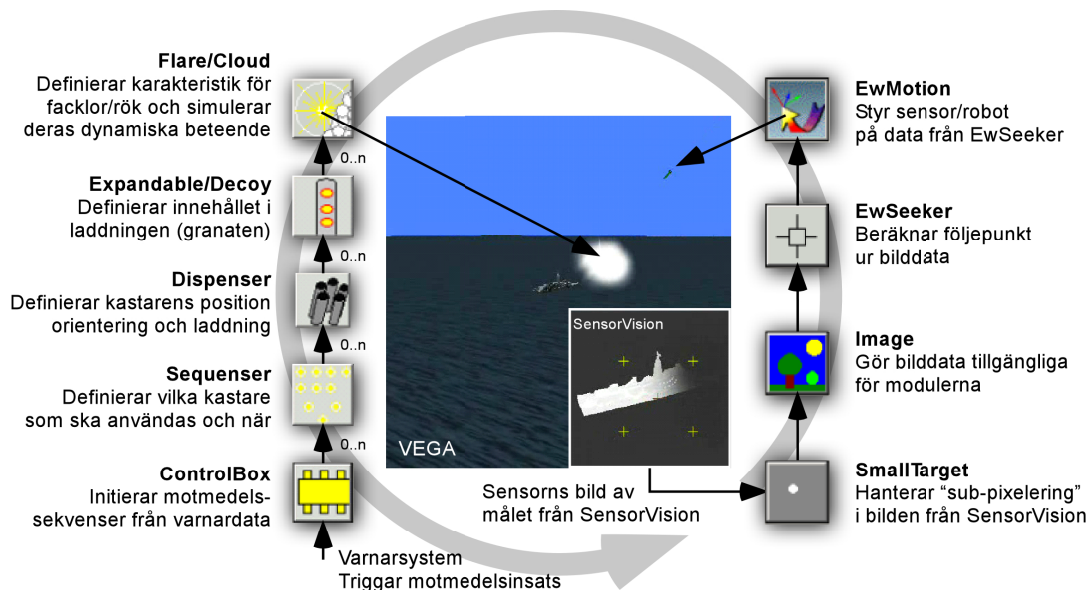
EwCMLaser

Grupp av moduler som hanterar motmedel i form av bländlaser. Utvecklade moduler är:

- **Laser**
Definierar parametrar för lasern inklusive effekter som transmission och turbulens samt simulerar dynamiskt lasersignaturen. Simuleringen nyttjar MultiGen-Paradigm produkten Vega Special Effects.
- **Transmitter**
Definierar laserns positionering och orientering.
- **LaserTrigger**
Definierar när och hur lasern ska aktiveras.

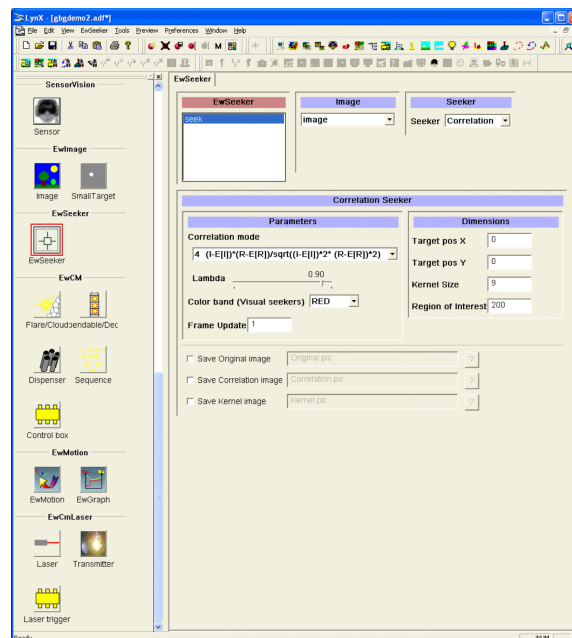
Figur 5 visar hur ett marint motmedelsscenario mot en bildalstrande sensor kan simuleras. I detta exempel används modulerna i gruppen EwCM för att dynamiskt skapa facklor kastade

från fartyget, för att störa ut hotsensorn som simuleras med modulerna EwMotion, EwSeeker och EwImage.



Figur 5 Exempel på ett marint motmedelsscenario i VEGA där modulerna i EwSim nyttjas. VEGA tillsammans med SensorVision (och verktyget TMM⁴) definierar fartygets IR-signatur. I rök/fackel simuleringen nyttjas MultiGen-Paradigm produkten Vega Special Effects.

För att definiera scenariot och parametersätta ingående moduler används MultiGen-Paradigms verktyg LynX, se Figur 6.



Figur 6 Användargränssnittet LynX, med Sensorvision modulen samt EwSim modulerna i vänstra ramen. Användargränssnittet till EwSeeker i högra ramen (korrelationsmålföljare vald).

⁴ Texture Material Mapper (TMM) används för materialklassificering vilket nyttjas av SensorVision för att ge objekten en realistisk IR-signatur, se <http://www.multigen.com/products/runtime/vega/modules/tmm.shtml>.

Det finns även möjlighet att användaranpassa en modell eller ett scenario genom att utveckla ett Windows baserat gränssnitt ovanpå LynX, vilket har presenterats i studien *VMS för helikopter* (HKP99352S).

Under 2002 inleddes ett samarbete med PvTT⁵ (Finnish Defence Forces Technical Research Centre) kring simulering av bildalstrande målsökare mot motmedelsskyddade objekt. På sikt är förhoppningen att PvTT och FOI tillsammans kan utveckla modeller i EwSim familjen.

MultiGen-Paradigm, vars produkt VEGA/SensorVision vanligtvis används i tränings-sammanhang, har imponerats av EwSim och dess användningsområden och visat intresse av att marknadsföra EwSim.

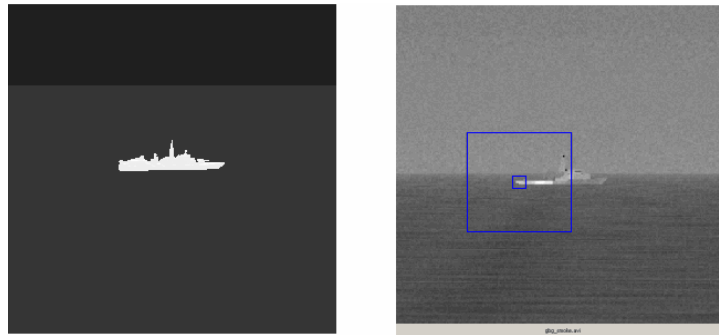
3.1.3 OPTSIM kontra EwSim

Nedanstående tabell listar för och nackdelar (rödmarkerat) i de olika miljöerna.

Tabell 1 Fördelar och nackdelar med OPTSIM respektive EwSim. MGP i tabellen innebär att MultiGen-Paradigm ansvarar för utvecklingen av funktionen, se fotnot 2 sid 13.

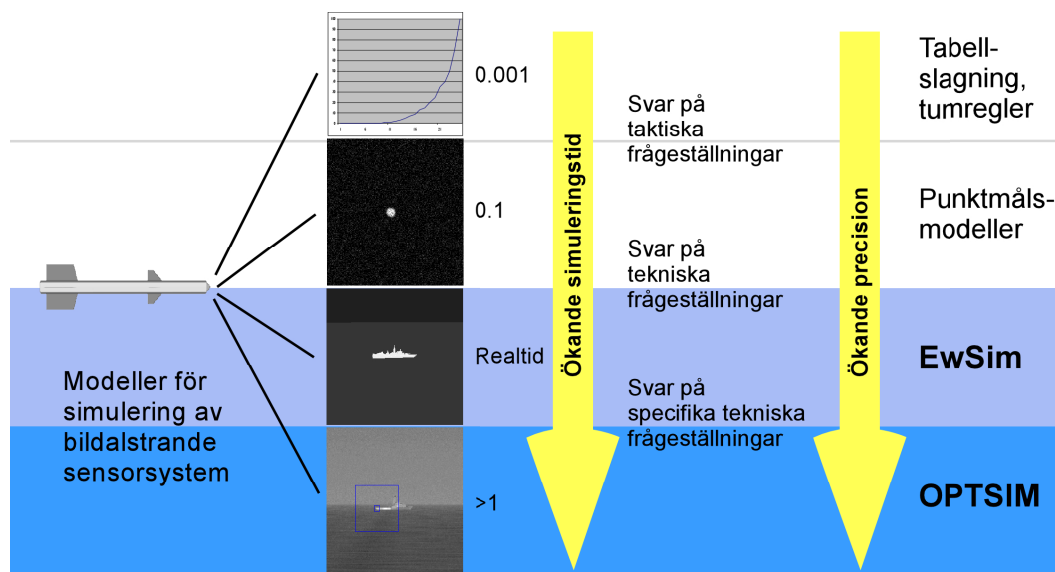
	OPTSIM	EwSim (VEGA/SensorVision)
Bilddynamik (Intensitet)	32 bitars dynamik för sensorsimulering vilket ska jämföras med en riktig IR sensor som har 12-14 bitar.	8-bitars dynamik för sensorsimulering vilket kan ge felaktiga resultat vid målsökarsimuleringar. 16-bitars sensorsimulering under utveckling (MGP).
Atmosfärstransmission	Atmosfärstransmission beroende på position i bilden finns, se Figur 7 nedan.	Under utveckling (MGP).
Materialsimulering	Definieras i CADIR statistiskt för ett objekt eller i MAIS som texturer.	Materialdatabas för materialbeskrivning. Innebär att olika tidpunkter och platser kan simuleras.
Materialuppvärmning	Saknas.	3D-uppvärmning av objekt under utveckling (MGP).
Rök och facklor	Volymrök och -facklor. Innebär att rök och facklor beräknas som koncentration i lufthavet vilken transmitterar och emitterar IR-strålning.	Beskrivs förenklat av "billboards" (texturerade skivor som vänds mot kameran).
Indata från video	Möjlighet att använda uppmätta IR-bildsekvenser som indata till de enskilda målsökarmodulerna. Bra vid utvärdering av fältprov samt till validering av modeller	Funktionen finns ej.
Källkodskontroll	Full kontroll över källkod. Ger möjlighet att göra ändringar i koden vid behov och efter egen prioritet.	Dålig kontroll över grundsystemet. God kontroll över egenutvecklade moduler. COTS innebär att produkten vidareutvecklas av ett oberoende arbetsteam (MGP).
Exekveringshastighet	Simuleringar tar lång tid. En enstaka robotsimulering kan ta flera timmar.	Realtid. Ger möjlighet till hårdvara och människa i loop samt möjlighet att omedelbart se simuleringsresultat.

⁵ Finnish Defence Forces Technical Research Centre (PvTT) är Finlands motsvarighet till FOI. För mer information se http://www.mil.fi/joukot/pvtt/index_en.html



Figur 7 Illustrerar effekten av att atmosfärstransmission är beroende av position i bilden, vilket bilden till höger (OPTSIM) har men inte bilden till vänster (EwSim).

Tabell 1 visar att OPTSIM och EwSim har liknande användningsområden men med olika grad av noggrannhet och de kan därför komplettera varandra. Realtidsmöjligheterna i EwSim innebär att resultat snabbt kan fås eller att en operatör kan interagera med simuleringen. Den något lägre noggrannheten jämfört med OPTSIM gör dock att man kan vilja kontrollera resultaten i specifika fall. Figur 8 illustrerar användningsområden för modeller med olika noggrannhet.



Figur 8 OPTSIM och EwSim kompletterar varandra vad avser förmåga att simulera bildalstrande sensorsystem i störd miljö. EwSim kan ge snabba svar medan OPTSIM kan ge svar på specifika tekniska frågeställningar.

Sammanfattningsvis är OPTSIM den grund vilket har givit projektet självförtroende att utveckla realtidsversionen EwSim. EwSim har stora möjligheter att fungera som ett verktyg för att snabbt kunna värdera olika telekrigdueller samt även fungera som komponent i träningssimulatorer. Den kvalitet och noggrannheten på resultat som OPTSIM levererar är fortfarande oöverträffad dock till kostnaden av exekveringshastighet.

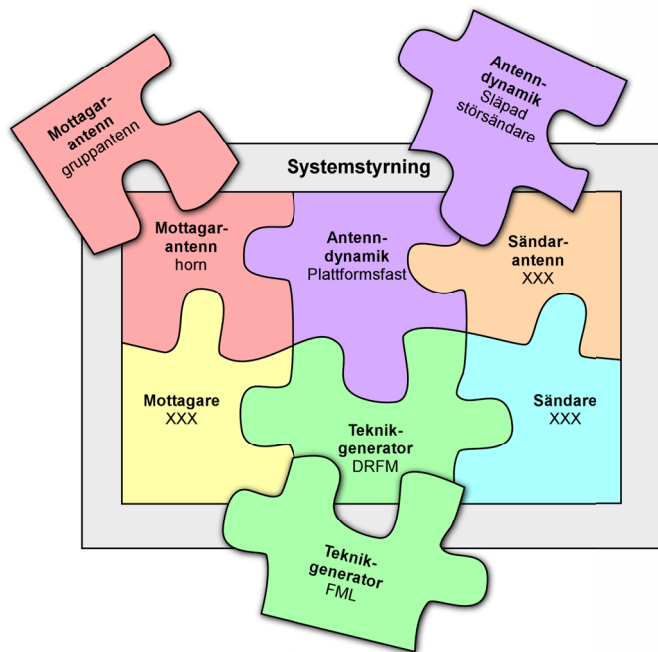
3.2 Radar

Verksamheten inom radarområdet har främst koncentrerats till modellering och simulering samt värdering av motmedelssystem som störsändare och remsor, men även arbeten med sensormodellering och flervägsutbredning har genomförts inom projektet.

För att enkelt kunna utbyta modeller med projektet *Teknisk hotsystemanalys* används inom detta kompetensområde en gemensam grundmetodik och gemensamma simuleringsverktyg som ACSL (se fotnot 1) och AFE⁶.

3.2.1 Störsändarmodellering

En ambition under senare år har varit att inom projektet finna ett generellt och modulärt sätt att beskriva olika radarstörsändarkomponenter, för att på ett smidigt sätt kunna simulera olika typer av störsändare (plattformfasta, bogserade, fällda). Detta modultänkande rimmar även bra med många utvecklingsprojekt som ÖSTEN⁷, m.fl. Genom att dela upp en störsändare i olika moduler som t.ex. antennodynamik, antenner, mottagare, teknikgenerator, sändare och systemstyrning samt definiera bra gränssnitt mellan dessa, bör de flesta störsystemtyper kunna simuleras.



Figur 9 Olika modulära utbytbara störsändarkomponenter. Varje pusselbit kan i sin tur innehålla pusselbitar, t.ex. kan teknikgeneratorm innehålla pusselbitar för olika störfunktioner.

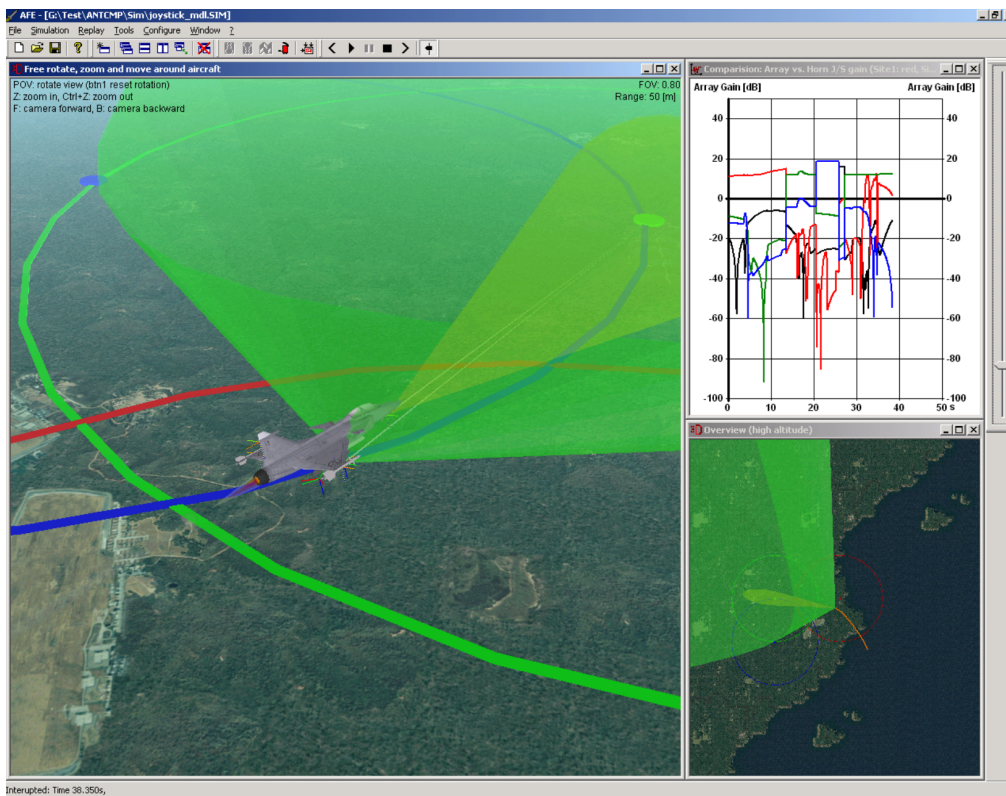
Ett antal steg enligt denna ambition har tagits i form av modellerna *AntView* och *AntCmp*. Dock har dessa modeller varit avsedda för mer akuta behov varför systemtänkandet ej har utvecklats fullt ut. Internationella kontakter har tagits och kan eventuellt leda till ett samarbete kring modulariserad modellering av störsändarkomponenter.

⁶ AFE (Advanced Front End) är ett användargränssnitt till ACSL som har utvecklats inom projektet *Teknisk Hotsystemanalys*

⁷ ÖSTEN – Ett försvarsgemensamt forsknings- och teknikprojekt kring framtida telekrigssystem.

AntView (Antenna View) [19] är en modell som visualiserar antenntäckningen för en störkapsel mot tre markhot. Modellen inkluderar flygplanets målyta, störsändarantennerna, olika störkapselmoder, antenndynamik samt effekter som antensskymning (flygkroppen skymmer antennen i riktning mot hotet). Störsignalförhållandet (J/S) mot de tre markhoten presenteras för användaren som kan använda en registrerad flygbana från PLA⁸ eller själv flyga modellen i realtid genom hotscenariot på en PC. Modellen har levererats till F21 (Norrbottnens flygflottilj, Luleå) främst som ett utbildningsverktyg för AJSF 37 (spanings Viggen) piloter inför SWAFRAP⁹. I samband med *AntView* utvecklades ett verktyg, *PathView* [21], för att konvertera och behandla PLA data till format lämpligt för simulering.

AntCmp (Antenna Compare) är en modell som har utvecklats från *AntView* i samarbete med projektet *VMS Flyg*. I *AntCmp* modelleras ett störsystem med fasstyrd gruppantenn samt ett störsystem med konventionella hornantennerna. Med modellen kan en användare jämföra de olika antensystemen och på samma sätt som i *AntView* flyga genom scenariot. I modellen kan flygplanet konfigureras med upp till sex stycken gruppantennerna och sex antennhorn, valfritt orienterade, positionerade och konfigurerade.



Figur 10 En skärmbild från *AntCmp*. *AntCmp* och *AntView* använder användargränssnittet AFE.

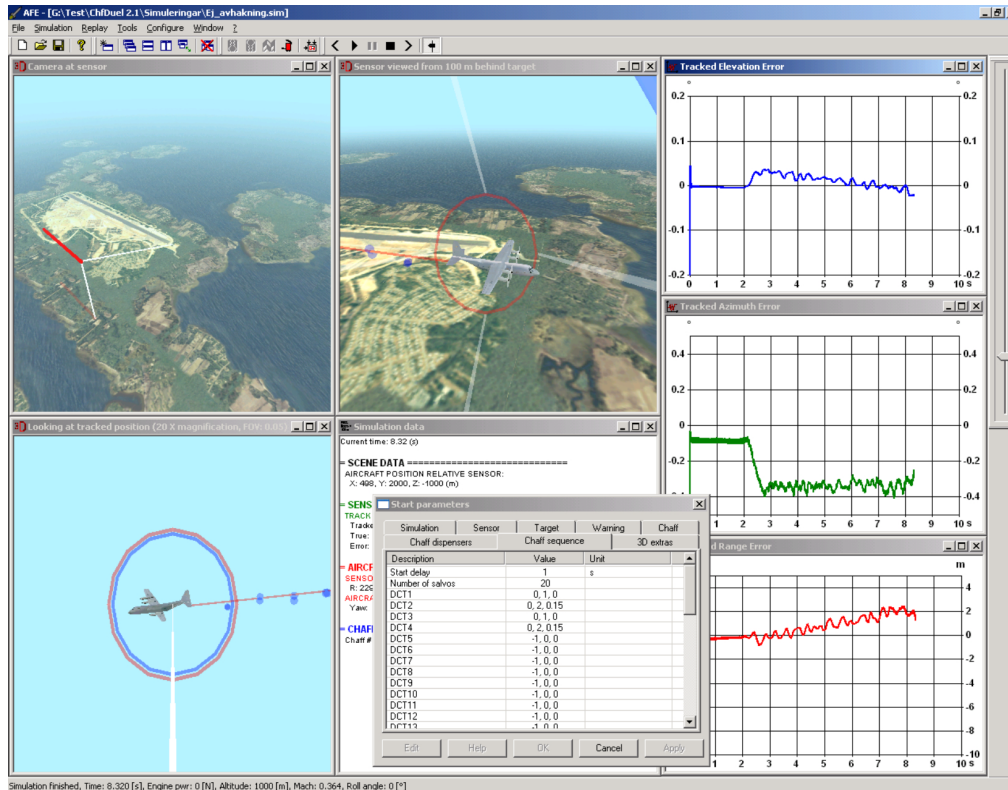
⁸ PLA - Flygvapnets planerings- och analyssystem för de flygande förbanden.

⁹ Enligt regeringens beslut skall Flygvapnet från den 1 januari 2001, vara berett att med 30 dagars varsel kunna delta i Peace Support Operations i Europa eller dess närhet med ett flygspaningsförband (AJSF 37) och ett flygtransportförband (Tp84, Hercules) kallat Swedish Air Force Rapid Reaction Unit (SWAFRAP).

3.2.2 Remsmodellering

REMJA är en tidigare utvecklad remsfällarmodell [38]. *REMJA* simulerar ”turbulenta” remsor bakom ett flygplan vilket medger att remsornas doppleregenskaper kan studeras. Denna modell har vidareutvecklats till *REMJA II* [12] för ACSL miljön och fungerar nu som störmodell mot olika sensormodeller.

Två ACSL/AFE tillämpningar har tagits fram där *REMJA II* modellen nyttjas, *ChfDuel I* samt *ChfDuel II*. *ChfDuel I* [20] är främst framtaget för att stödja provplanering vid fältförsök, där programmet ger stöd vad avser mätgeometrier, dopplerområden, målyteförhållanden, etc. *ChfDuel I* har levererats till ett flertal intressenter.



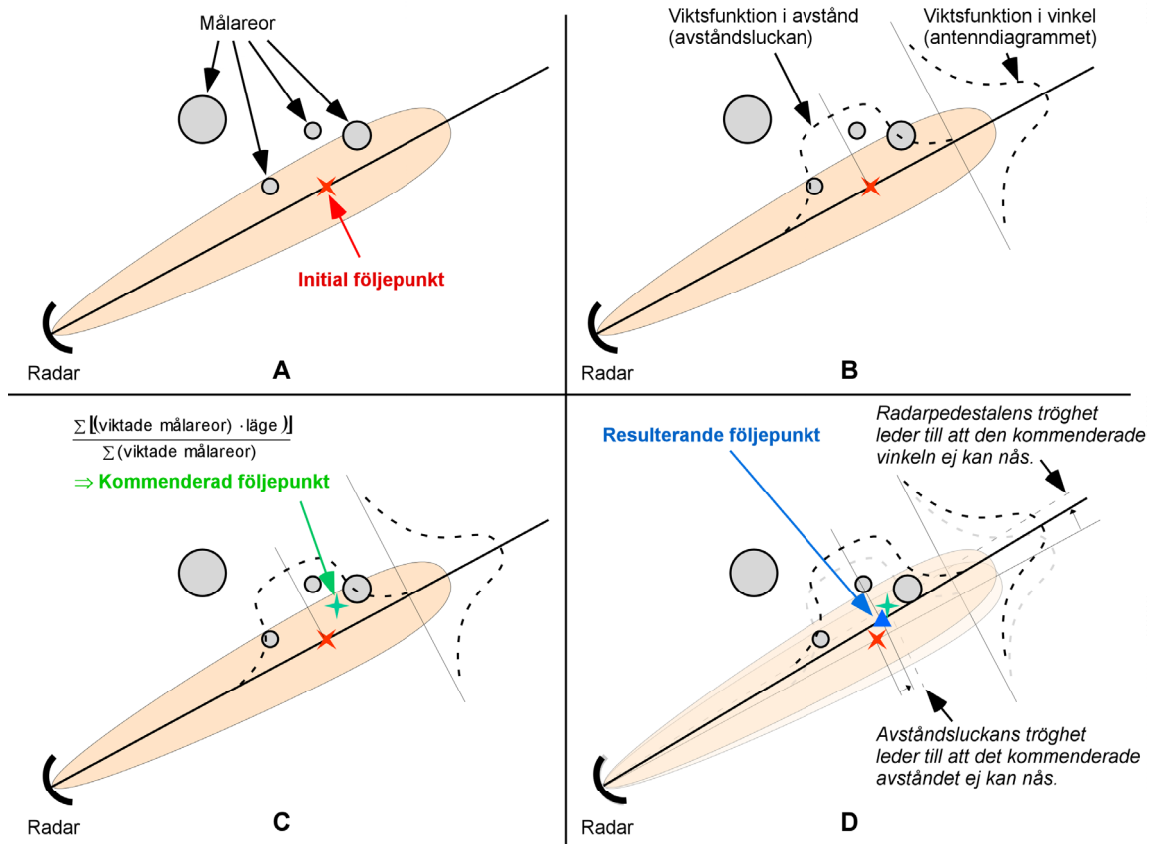
Figur 11 En skärmbild av *ChfDuel II*. En misslyckad resmfällningssekvens (startas efter 2 s) mot hotradarn som efter fällningen fortfarande följer flygplanet. Följefel i avstånd och vinkel visas i graferna till höger. *ChfDuel* modellerna nyttjar användargränssnittet AFE.

ChfDuel II är en vidareutveckling av *ChfDuel I* där den målföljande sensorn modelleras enligt en tyngdpunktsföljjeprincip. Med *ChfDuel II* kan olika avhakningseffekter studeras och bedömningar kan göras av lämpliga fällsekvenser och remsmängder. En kortare beskrivning av tyngdpunktsföljjeprincipen ges i kapitel 3.2.3.

I modellerna flyger flygplanet mot mätsensorn (*ChfDuel I*) eller hotradarn (*ChfDuel II*), antingen styrt av en matematisk flygbana, registrerade flygbanedata eller styrt med en styrspak. Från AFE gränssnittet sätts remsparametrar (uppblomningshastighet, maximal målarea, turbulensegenskaper, etc), remsfällarpositioner samt fällsekvenstider. Remsfällningen kan initieras utifrån avstånd mellan hot och flygplan, tid från simuleringens start samt manuellt genom att trycka ned en tangent på tangentbordet.

3.2.3 Sensormodellering

I många situationer sägs att en radarsensor följer på ”tyngdpunkten”. I projektet har en simuleringsmetodik studerats som tolkar ovanstående citat bokstavstroget och nyttjar mekanikens definition på tyngdpunkt för att simulera en radarföljning. Metodiken beskrivs kortfattat i Figur 12.



Figur 12 Ett tidssteg i den simulerade följesequensen.

A: radarn har intagit en initial följepunkt i avstånd och sida (vinkel) i ett scenario som innehåller ett antal olika målareor.

B: Viktsfunktioner appliceras över följepunkten i avstånd och sida. Viktsfunktionerna beskriver följeluckan i avstånd samt antenndiagrammet i sida.

C: Genom att vikta målareorna i de olika viktsfunktionerna och nyttja definitionen av tyngdpunkt på de viktade målareorna fås en kommenderad följepunkt som radarn vill inta.

D: Trögheter i radarpedestalen samt i avståndsföljesystemet gör att den kommenderade följepunkten inte uppnås i nästa tidssteg utan en resulterande följepunkt nås. Sekvensen repeteras cykliskt från A där den initiala följepunkten sätts till den resulterande följepunkten från D.

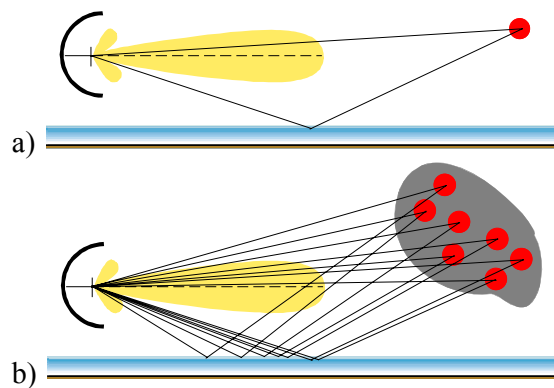
Den modellerade sensorn kan följa i dimensionerna: avstånd, sida (azimuth), höjd (elevation) och doppler. Trögheten i de olika följedimensionerna, som omnämns i Figur 12D, simuleras med återkopplade reglersystem där parametrarna till dessa definierar systemets förmåga att följa ett mål.

För närvarande verifieras och valideras modellen mot mätresultat samt vidareutvecklas med införande av olika störskydd (MTI¹⁰, framkantsföljning, accelerationsbegränsning, etc.).

Metoden har fördelar då den ger möjlighet att simulera störning i realtid mot den modellerade sensorn, vilket i många sammanhang kan vara intressant, t.ex. i träningssimulatorer. Denna följemetodik används i ChfDuel II (se kapitel 3.2.2), och har i samarbete med projektet *Teknisk Hotsystemanalys* även levererats i en modell till FLSC¹¹.

3.2.4 M-faktor

M-faktorn modellerar ”vågutbredning för utbredda mål över sjö”. Denna faktor beskriver den förstärkning av ett sjömåls målyta, som en radarsensor (sea-skimming) upplever på grund av flervägsutbredning (konstruktiv samt destruktiv interferens mellan direktvåg och reflektion i vattenytan).



Figur 13 a) vågutbredning vid punktformiga mål (t.ex. störsändare)
b) vågutbredning vid utbredda mål (t.ex. fartyg och remsmoln)

M-faktorn är beroende av ett flertal faktorer och då främst:

- markkonstanterna ϵ och σ
- radarfrekvensen
- polarisation
- radarns och målets höjd över vattenytan samt avståndet mellan dem
- radarantennens lobform och antennlevation
- målets utbredning och målareafördelning
- sjöstillstånd (våghöjd)

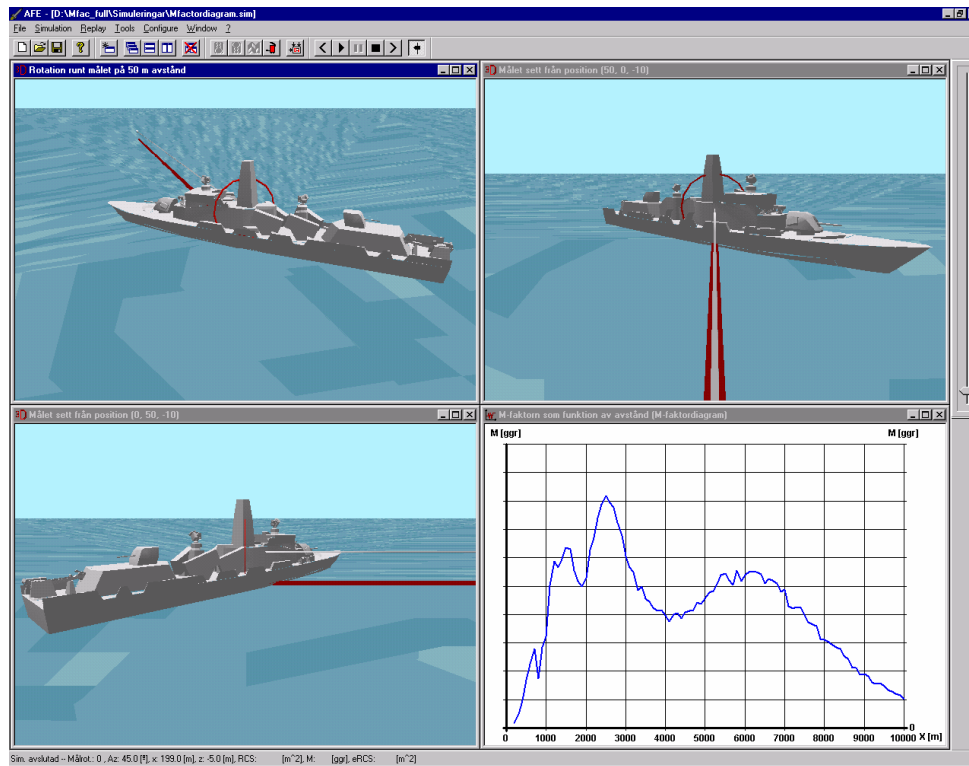
M-faktorn kan användas vid fartygs- och remsmätningar. Med programmet kan vattenytans inverkan på mätresultaten subtraheras bort och en frirymdsmålyta beräknas.

¹⁰ MTI (Moving Target Indicator) störskydd som undertrycker stillastående mål t.ex. remsor.

¹¹ FLSC (Flygvapnets LuftstridsSimuleringsCenter) är en simuleringsanläggning som utvecklats på FOI i Bromma för Flygvapnet. Syftet med anläggningen är att kunna simulera luftstrid med flera bemannade farkoster för studier, utvärdering och träning.

M-faktorn har validerats vid mätningar med radarmätsystemet ARKEN¹² gällande konventionella fartygstyper (ej smyganpassade) samt remsor.

På uppdrag av FMV och i samarbete med projektet *Radarsignaturer* utvecklades ett program, *Mfactor* [23], för att enkelt beräkna och visualisera M-faktorn.



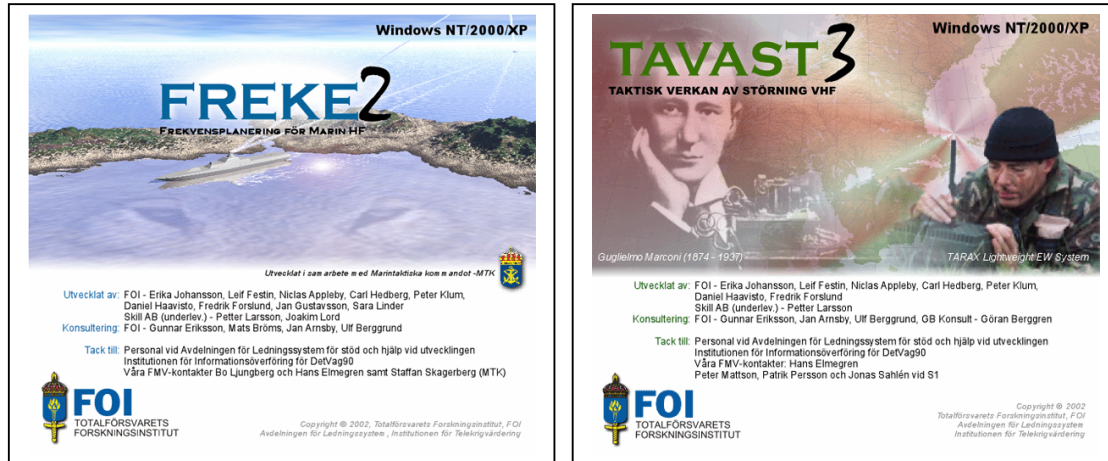
Figur 14 En skärmbild från Mfactor 1.0. Programmet använder användargränssnittet AFE.

En mindre studie av M-faktorns inverkan i markfallet har gjorts [22].

¹² ARKEN är ett mobilt radarmätsystem utvecklat vid avdelningen för Sensorteknik, FOI.

3.3 Kommunikation

Under de fem år som projektet existerat har kommunikationsverksamheten byggts upp. Verksamheten har kretsats kring två tillämpningar: TAVAST (Taktisk Verkan Av STörning) och FREKE.



Figur 15 FREKE2 och TAVAST3 splash-screen.

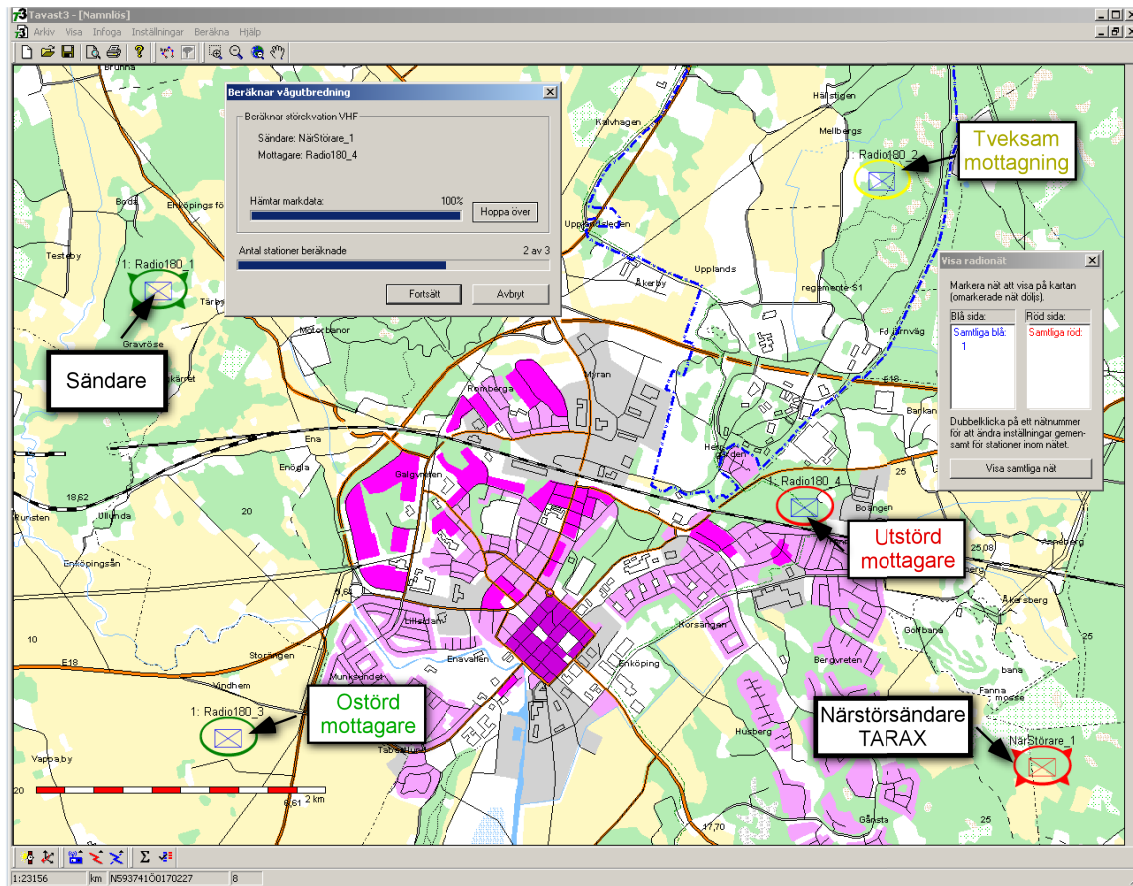
Båda dessa tillämpningar är föregångare till det som i framtiden skall bli simuleringsmiljön TALISMAN (TelekrigAnaLys I Spelform Med hjälp Av Nätverk).

Inom denna del av projektet har kundkontakterna varit intensiva i syfte att bygga upp verksamheten, skapa ett kontaktnät, samt göra TAVAST och FREKE användaranpassade. Utvecklingen har skett i samarbete med Marinens Taktiska Kommando (MTK) samt S1 (Enköping) och delfinansierats från FMV. Användarvänlighet och enkelhet har varit ledorden i syfte att visa forskningsresultat samt betydelsen av telekrig och dess verkan för en bredare publik.

Inom projektet har även en metodik för klustring och hantering av stora datamängder utvecklats. Den generella klustringsmetodik har demonstrerats med en tillämpning (NET) för nätrekonstruktion (finna kommunikationslänkar utgående från sändningsmönster).

3.3.1 TAVAST

TAVAST är ett verktyg för utbildning på och planering (på stridsteknisk/taktisk nivå) av VHF radiokommunikation (30-88 MHz) mellan arméförband. I verktyget simuleras kommunikation mellan radiostationer med hänsyn till bland annat avstånd, terräng, antenntyp och störars inverkan. Verktyget beräknar det signal-brus eller signal-störförhållande en viss radiosändare ger upphov till i mottagaren. I den senaste versionen kan hänsyn tas även till interferenser från samlokaliserade COTS PC och samlokaliserade frekvenshoppande radiostationer. En snabb överblick av beräkningsresultaten fås genom att ringen kring den mottagande stationen byter färg (grön, gul, röd) baserat på sambandskvaliteten, se Figur 16.



Figur 16 Ett scenario (Enköping) i TAVAST 3.1 med fyra Ra180 samt en närstörssändare av typ TARAX.

Ursprungligen utvecklades TAVAST (version 1) på *Institutionen för Telekrigssystem*. Inom projektet Stridstekniska Systemdueller har programvaran vidareutvecklats, gjorts stabilare och mer användarvänlig. Ny funktionalitet som har införts är (TAVAST 3.1):

- DETVAG 90¹³ för vågutbretningsberäkningar.
- GeoPres®¹⁴ för karthantering.
- Nya radio- och störutrustningar.
- Pejl.
- Hantera flera nät (utrustningar grupperade efter möjlighet att kommunicera)
- Värdering av telekonflikt (verkan av samlokaliserade datorutrustningar och frekvenshoppande radiostationer på mottagningsförhållanden).

TAVAST är utvecklad för Windows NT/2000/XP på PC och har levererats till ett flertal användare [5, 6].

Som nämnts tidigare har ambitionen varit att göra ett lättanvänt program varför de olika utrustningarnas parametrar är satta till typiska standardvärden då en utrustning skapas på

¹³ DETVAG 90 är ett programpaket som implementerar ett flertal olika vågutbretningsberäkningsmetoder: diffraktion, sfärisk jord, mfl. Utvecklas på *Institutionen för Informationsöverföring, Avdelningen för Ledningssystem*, FOI.

¹⁴ GeoPres® är försvarsmaktens gemensamma IT-stöd för geografisk information.

kartan. En utrustnings parametrar kan ändras från en dialog som öppnas då man högerklickar på ett objekt på kartan, se Figur 17.

Figur 17 Dialog för att ställa in parametrar för Ra180.

Under flikarna:

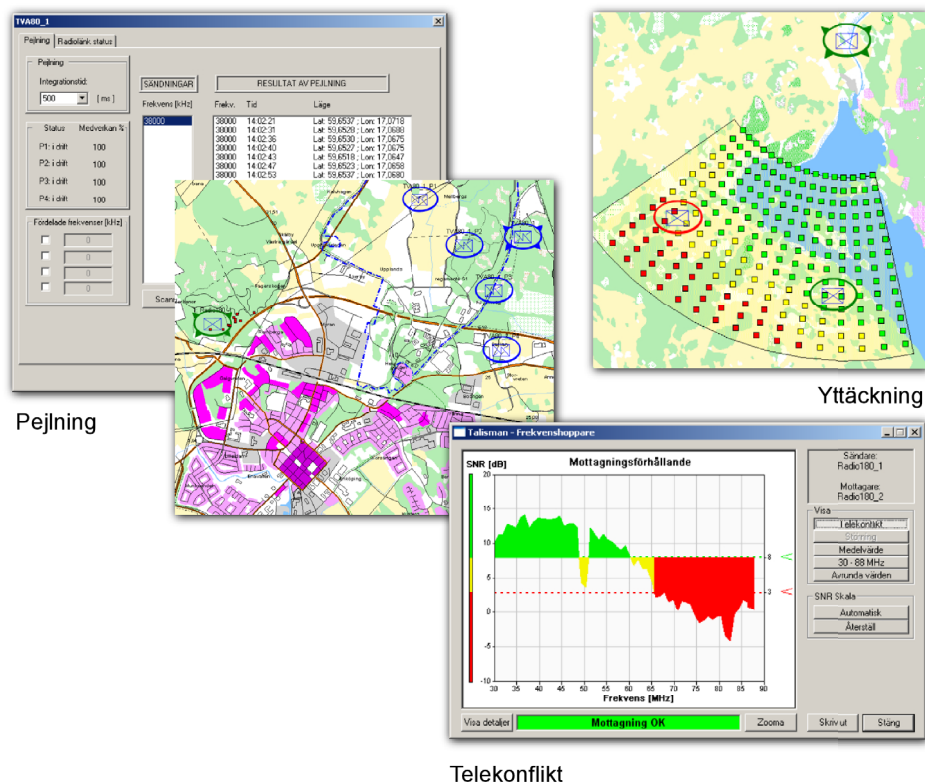
- "Identitet" anges bland annat radions namn, position dess funktion (sändare/mottagare) samt till vilken sida den hör (vi/fi).
- "Radiosignal" anges bland annat effekt samt radiomod.
- "Antenn" anges använd antenn samt kablage.
- "Miljö" anges brusmiljön vid radiostationen.
- "Telekonflikt" anges om störande utrustning finns i närheten av radion.
- "Symbol" anger vilken symbol som enheten representeras av på kartan.

I den senaste versionen, TAVAST 3.1, simuleras följande utrustningar:

- Ra180/480 – bärbar radio (Ra 180) med fix- och hoppfrekvens. Ra 480 är en fordonsvariant med högre uteffekt
- Ra145/146 – bärbar radio av fixfrekvenstyp.
- Ra421/422 – fordonsmonterad radio av fixfrekvenstyp.
- Fjärrstörsändare av typ MOPS (MODulariserad Plattform för Störning)
- Närstörsändare av typ TARAX.
- TVA80 – pejlsystem med huvudstation (master) och upp till 4 slavar.

Olika analyser som kan göras är:

- Visa mottagningsförhållande grafiskt på kartan och detaljerat i dialoger.
- Presentera yttäckningsdiagram på kartan.
- Analysera pejlplacering och pejlkryssprediktering.
- Verkan av störning.
- Verkan av telekonflikt.



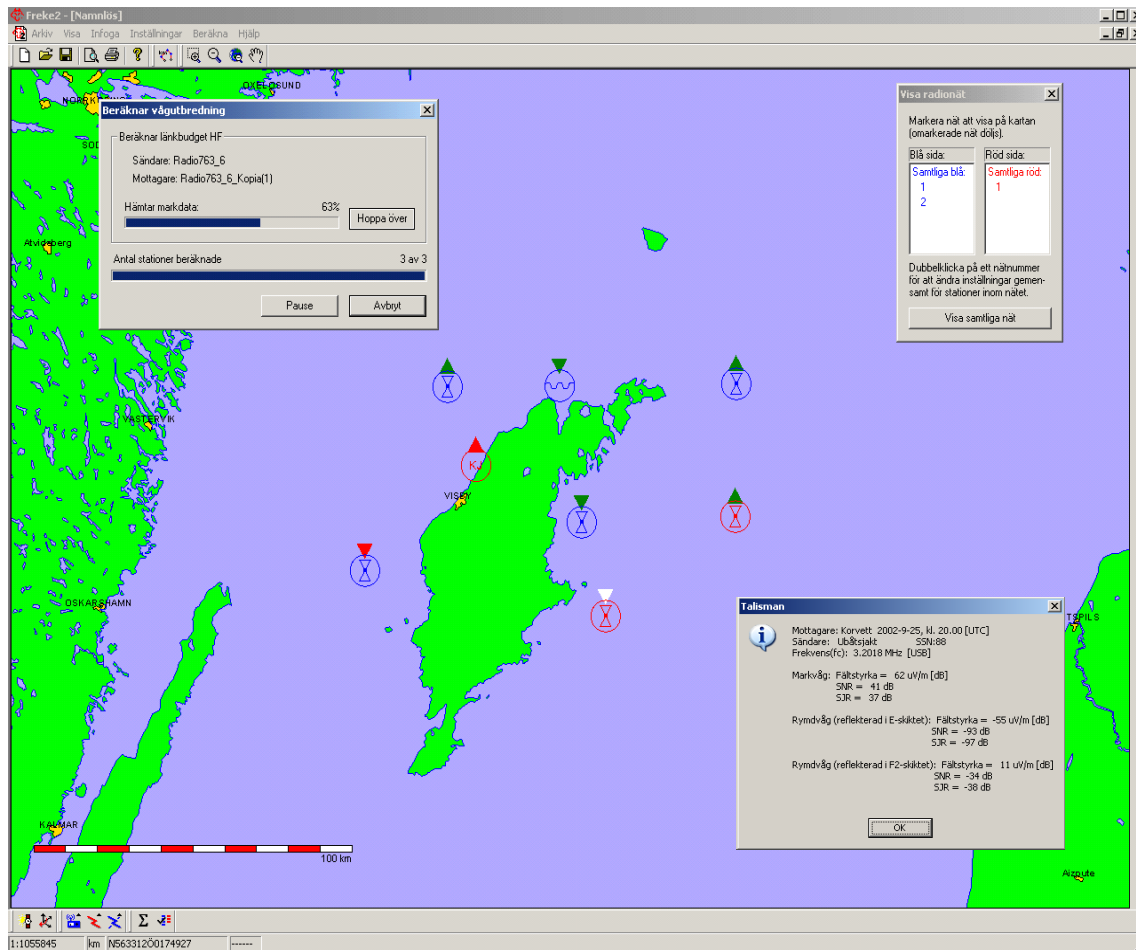
Figur 18 Dialoger som visar olika analyser i TAVAST 3.1.

Under utvecklingsprocessen har ett stort antal personer inom FM fungerat som beta-testare av programvaran. Tack vare dessa insatser har TAVAST kontinuerligt utvecklats och anpassats efter användarnas synpunkter på funktionalitet och användarvänlighet.

3.3.2 FREKE

FREKE är ett utbildnings- och planeringsverktyg (på stridsteknisk/taktisk nivå) för radio-kommunikation och störning mot radiokommunikation på det marina kortvågsbandet (1.6-30 MHz). I verktyget simuleras kortvågsutbredning, dels via markvåg och dels via jonosfärreflektion i E- respektive F2-skiktet. Vid beräkningarna tas hänsyn till bland annat avstånd, terräng, antennförstärkning, solfläckstal, datum och tidpunkt på dygnet. Effekten av eventuella störsändare på kommunikationsmöjligheterna kan också beräknas. Resultatet av beräkningarna presenteras, för det utvalda nätet, även grafiskt för att ge en snabb översikt av läget.

I likhet med TAVAST har ambitionen vara att göra ett lättanvänt program varför de olika utrustningarnas parametrar är satta till typiska standardvärden då en utrustning skapas på kartan. En utrustnings parametrar kan ändras från en dialog som öppnas då man högerklickar på ett objekt på kartan, se Figur 17, sid 26, vilket visar en dialog för att ställa in Ra180 (VHF) parametrar.



Figur 19 Exempelscenario (Gotland) i FREKE 2.0, med dialoger för beräkning, nätval och mottagningsförhållanden.

För att kunna hantera jonosfärreflektion har Internationella Tele Unionens (ITU) rekommendationer enligt ITU-R P.533-5 implementerats i programmet. I dessa beräkningar används bl.a. tiden på dygnet, årstid samt aktuella solfläckstal. Markvägsberäkningarna använder DETVAG 90 och GeoPres® används för karthantering.

FREKE är utvecklad för Windows NT/2000/XP på PC och har levererats till ett flertal användare [4].

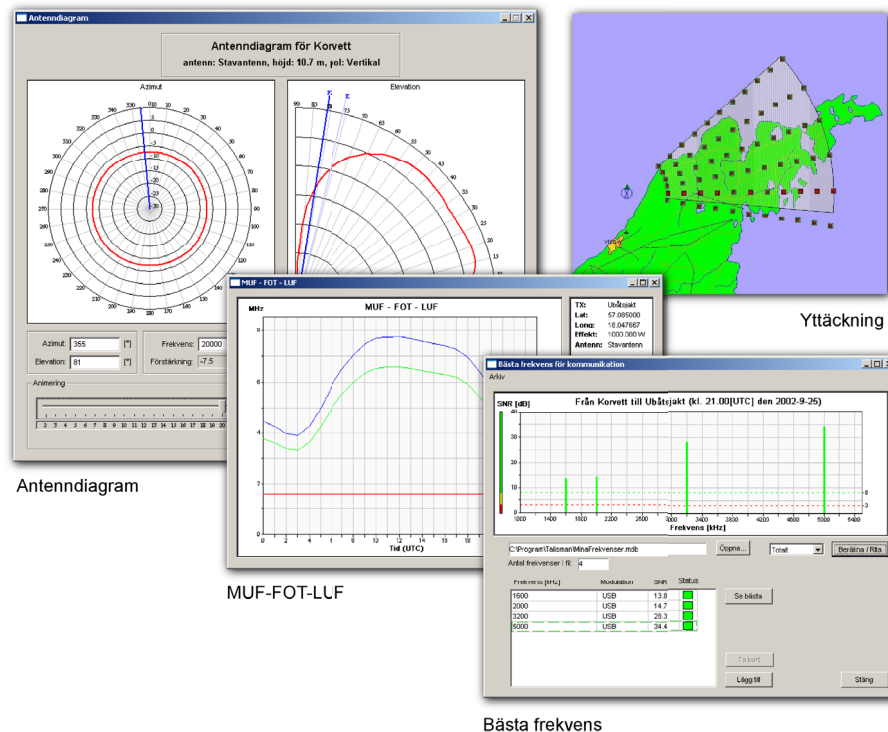
I senaste versionen, FREKE 2.0, simuleras följande utrustningar:

- Ra 763 – HF radio som används för telegrafi, telefoni- datatrafik.
- Ra 771 – HF radio som används för telegrafi, telefoni- datatrafik.
- Ra 844 – HF radio som används för telegrafi, telefoni- datatrafik.
- Fjärrstörsändare av typ MOPS (MODulariserad Plattform för Störning)

Olika analyser som kan göras i FREKE 2.0 är:

- Visa mottagningsförhållande grafiskt på kartan och detaljerat i dialoger.
- Presentera yttäckningsdiagram på kartan.
- Visa antenndiagram som funktion av frekvens

- Visa MUF-FOT-LUF¹⁵
- Analys av bästa kommunikationsfrekvens ur tilldelade frekvenser.



Figur 20 Dialoger som visar olika analyser i FREKE 2.0.

Under utvecklingsprocessen har personal vid bl.a. Marinens Taktiska Centrum (MTK) samt FMV fungerat som beta-testare och inspirationskällor. Tack vare dessa insatser har FREKE kontinuerligt utvecklats och anpassats enligt användarnas önskemål på funktionalitet och användarvänlighet.

3.3.3 Kombinerad TAVAST/FREKE

Både TAVAST och FREKE har i botten samma kodbas men med något skilda användningsområden. Under hösten 2002 kommer FREKE och TAVAST att smälta samman till en gemensam applikation för HF och VHF. Programmet kommer kort och gott heta TAVAST/FREKE och kommer bland annat att innehålla nyheter som: HF-pejl, snabbare markdatainhämtning (den stora flaskhalsen i de nuvarande programmen) samt förbättrade yttäckningsdiagram.

Den kombinerade programvaran TAVAST/FREKE kommer att avsluta utvecklingen av TAVAST och FREKE. Funktionaliteten hos dessa programvaror kommer dock tillsammans med erfarenheter och utvecklad kod att ärvas till TALISMAN. Utvecklingen av TALISMAN kommer till viss del att ske inom det kommande projektet *Duellsimulering Telekrig*.

¹⁵ MUF (Maximum Usable Frequency, högsta användbara frekvens) och LUF (Lowest Usable Frequency, lägsta användbara frekvens) definierar det frekvensintervall inom vilket rymdvägs kommunikation är möjlig. FOT anger optimal trafikfrekvens (Frequency for Optimum Traffic).

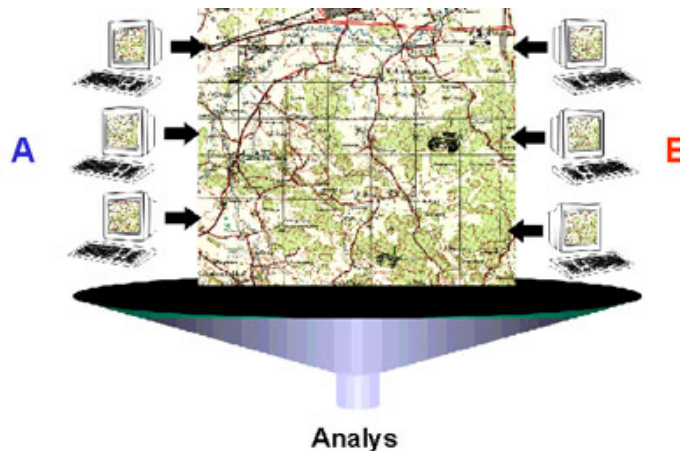
3.3.4 TALISMAN

TALISMAN (TelekrigAnaLys I Spelform Med hjälp Av Nätverk) är den vision kommunikationsdelen av projektet strävat mot. Någon körbar version av TALISMAN kommer inte att levereras från projektet, dock har en hel del inledande systemeringsarbete gjorts.

TALISMAN är tänkt att kunna fungera i två moder:

- *Planerarmod* med funktionalitet motsvarande TAVAST och FREKE och där tillämpningarna exekveras på en dator.
- *Spelmod* med funktion att kunna koppla samman ett flertal användare (spelare) på olika datorer, där dessa tillsammans tränar telekrigföring inom i första hand kommunikationsområdet.

I spelmoden är det tänkt att flera spelare ska dela upp sig i lag (förband) och spela mot varandra över ett nätverk. Lagen kan försöka pejla in och störa varandra samtidigt som de försöker upprätthålla den egna kommunikationen. För att genomföra detta har lagen tillgång till olika *enheter* utrustade med kommunikationsutrustning, men även "lösa" radiostationer, länkar, pejlar och störsändare.



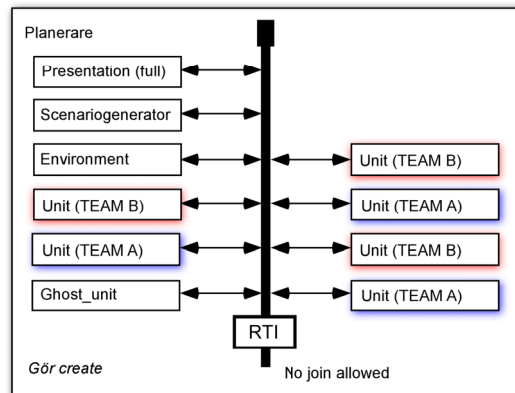
Spelet sker genom att ett scenario med en given uppgift delas ut. Spelarna ska sedan försöka lösa denna uppgift med hjälp av tillgänglig utrustning. Kontinuerlig loggning av spelet ger underlag för värdering. En spelomgång kan även sparas så att det är möjligt att gå tillbaka och prova olika alternativ och se vad de leder till.

I en framtida tillämpning ska det även vara möjligt att knyta programmet mot verkliga förband/förbandsenheter. Läget för dessa förs in på samma sätt som för ett spelat förband, vilket möjliggör pejling och störning med antingen reella eller virtuella enheter. Om störning sker från en virtuell störsändare, injiceras störningen i radioutrustningarna med hjälp av störinjektorer.

En avgörande skillnad mot TAVAST/FREKE är att TALISMAN kommer att hantera tid. I TALISMAN kan enheter ha en rörelse och användarna kan interagera med enheterna under det att spelet fortgår. TAVAST/FREKE hanterar endast ögonblicksbilder av ett scenario.

Under senare projektår har en del strukturering av TALISMAN skett. HLA¹⁶ är den modell till modell arkitektur vi kommer att bygga systemet kring, grundat bland annat på erfarenheter från ett samarbete projektet haft med projektet *Studier HLA*. HLA har även funktioner för tidshantering som passar TALISMAN. För att kunna skapa effektiva och funktionella federater (moduler) behöver den befintliga kodbasen omarbetas och modulariseras varför UML¹⁷ och verktyget Rational Rose kommer att användas.

En strukturansats för planerarmoden i TALISMAN visas i Figur 21.



Figur 21 Planerarmoden är en icke distribuerad HLA simulering. Figuren visar två "lag" bestående av olika enhets federater definierade från scenariogeneratoren. Miljöfederaten (environment) beräknar dynamiskt sträckdämpningar och distribuerar dessa till de olika enheterna som beräknar mottagningsförhållanden vilka presenteras på presentationsfederaten (kartan).

I planerarmoden startar en planerare upp TALISMAN och federationen skapas automatiskt (RTI¹⁸ startas). Planeraren öppnar scenariogeneratoren där ett färdigt scenario (kartområde, färdigdefinierade enheter, etc) kan öppnas från fil eller ett nytt kan definieras. Utgående från inställningar i scenariogeneratoren startas olika enhets federater (units). Miljöfederaten (environment) startas, vilken har som uppgift att hantera vågutbredningsberäkningar. En presentations federat startas som visar kartan samt de olika enheterna på kartan. I planerarmoden har användaren full behörighet till alla enheter samt alla analysverktyg (yttäckningsdiagram, pejlfelsanalys, etc).

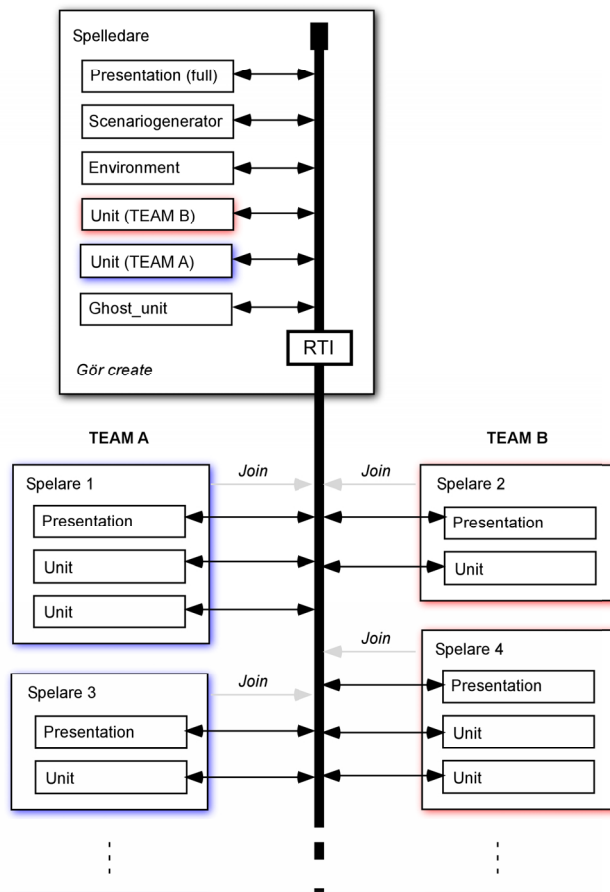
Planeraren startar simuleringen och styr enheterna över kartan samt deras utrustningar. Under simuleringen upprättas kommunikationslänkar mellan enheterna där miljöfederaten har till uppgift att beräkna och distribuera sträckdämpningar till berörda enheter och länkar. Utgående från dessa länkberäkningar presenteras mottagningsförhållanden för de olika enheterna i presentationsfederaten.

En strukturansats för spelmoden i TALISMAN visas i Figur 22.

¹⁶ HLA (High Level Architecture) är en standard (IEEE 1516) för att koppla samman olika simuleringsmodeller (federater) till en gemensam simuleringsmodell (federation). De olika federaterna kan vara distribuerade i ett nätverk. För mer information se <https://www.dmsomil/public/transition/hla/>.

¹⁷ UML (Unified Modeling Language™) är en industristandard för att specificera, visualisera, konstruera och dokumentera programkod. För mer information se <http://www.rational.com/uml/>.

¹⁸ RTI (RunTime Infrastructure) är en grundläggande HLA komponent som har till uppgift att slussa data mellan federater samt tillhandahålla funktioner för tidssynkronisering.



Figur 22 Spelmoden är en distribuerad HLA simulering. Figuren visar två "lag" bestående av olika spelare med enhetsfederater definierade från scenariogeneratoren med ett scenario som spelledaren definierat. Spelare ansluter (join) till federationen som spelledaren startar (create). Spelarna får sina roller och enheter tilldelade av spelledaren via scenariogeneratoren. Miljöfederaten (environment) beräknar dynamiskt sträckdämpningar och distribuerar dessa till de olika enheterna som beräknar mottagningsförhållanden vilka presenteras på presentationsfederaten (kartan).

I spelmoden startar en spelledare upp TALISMAN och federationen skapas automatiskt. Spelledaren öppnar scenariogeneratoren där ett färdigt scenario (kartområde, färdigdefinierade enheter, etc) kan öppnas från fil eller ett nytt kan definieras. Olika spelare ansluter (join) till federationen och får sina roller och enheter tilldelade från scenariogeneratoren. Miljöfederaten (environment) startas, vilken har som uppgift att hantera vågutbredningsberäkningar. Hos spelledaren startas en presentationsfederat som visar kartan samt de olika enheterna på kartan. I spelmoden har spelledaren full behörighet till alla enheter samt alla analysverktyg (yttäckningsdiagram, pejlfelsanalys, etc). Varje spelare har däremot endast de presentationsmöjligheter som kan ges av ingående utrustningar samt den information som har inhämtats via kommunikation (oleat¹⁹, etc).

¹⁹ Oleat är lager (historiskt plastfilm) på kartan där planeringsinformation, anteckningar och enheters position kan märkas ut.

TALISMAN kommer att vara kraftigt modulariserad i olika delmodeller (federater). Genom modulariseringen kan modellerna utvecklas parallellt, med mindre fel och med effektivare kod. Även uppdateringar av TALISMAN kommer att kunna bli enklare då endast delmodeller vanligtvis behöver uppdateras. Möjligheter kommer att finnas att även koppla samman TALISMAN eller ingående delmodeller med andra verktyg, t.ex. för simulering av radar och optronik då systemet och delmodellerna kommer att följa HLA standarden.

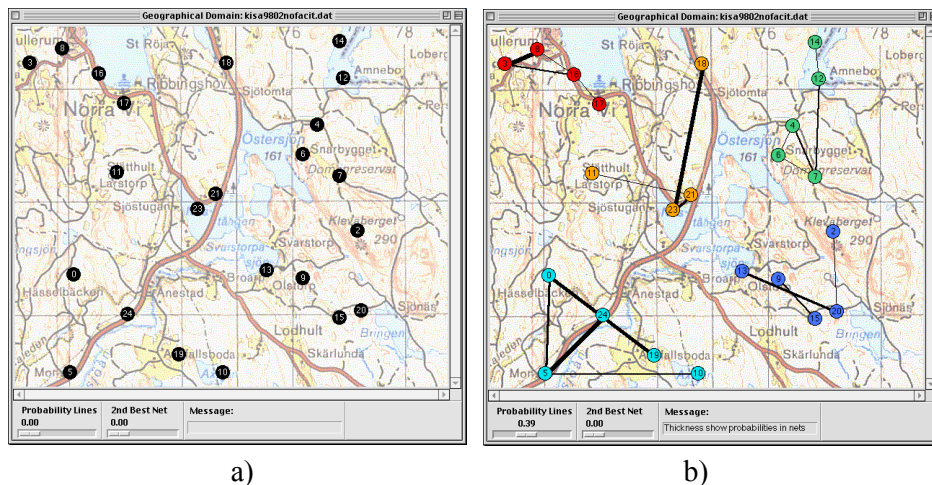
3.3.5 NET

Modern sensorteknologi ger upphov till allt större datamängder och där data måste hanteras, analyseras och presenteras för en mänsklig beslutsfattare. Storleken och typen av informationen är i regel sådan att det kräver någon form av automatisk sortering och reduktion för att vara användbar. Ofta ska också helt olika typer av data som härstammar från skilda sensorer hanteras.

I detta kapitel beskrivs ett konkret och specifikt exempel på ett problem, men där lösningsmetodiken innehåller komponenter som är generellt applicerbara på en stor mängd av problem.

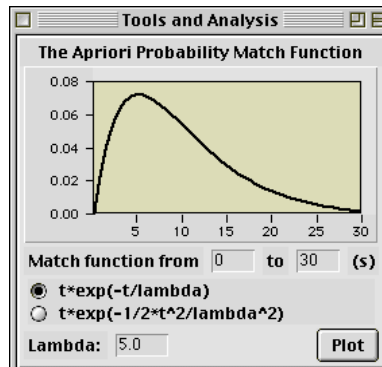
Tillämpningen beskriver hur man kan hantera signalpejlingsdata från frekvenshoppande radiotrafik.

Med fixfrekvens kommunikation kan man enkelt sluta sig till kommunikationsmönster genom att betrakta vilken frekvens som används för de olika enheterna. Vid frekvenshoppande radiotrafik är inte detta möjligt då man endast har tillgång till bäring och tidpunkt för transmissionen. Vi antar att tillräckligt många pejldata finns så att samtliga enheter entydigt kan positionsbestämmas. (Se Figur 23a).



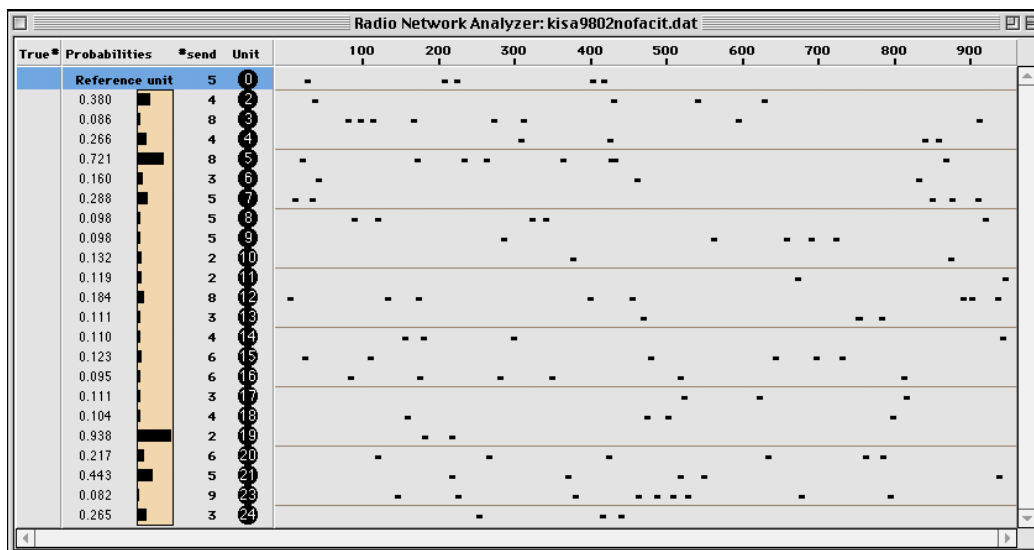
Figur 23 a) Positionsbestämda (pejlade) sändare.
b) Skattat kommunikationsnät.

I tidsdomänen (se Figur 25) kan man sluta sig till vissa kommunikationsmönster genom att identifiera koincidenser i tiden, dvs. om en enhet sänder till en annan, kan man anta att mottagande enheten svarar inom ett visst tidsintervall som förhoppningsvis är kort, sannolikheten för svar kanske är maximal 5 sekunder efter sändningens slut, se Figur 24.



Figur 24 Antagen sannolikhetsfördelning för tid-till-svar efter att en sändning från en enhet som önskar svar upphört.

En sannolikhetsmodell kan byggas för att beräkna en uppskattning av sannolikheten för att kommunikation har ägt rum mellan varje två enheter. Här måste hänsyn också tas till konflikter mellan olika kandiderande mönster.



Figur 25 Sändningsmönster från enskilda sändare. Den horisontella axeln motsvarar tid och varje markering på en rad anger en sändning från en enhet. Varje sändningsmarkering kan i sin tur vara uppdelad på, kanske 1000 frekvenshopp.

Genom att applicera sannolikhetsmodellen på pejldata kan sannolikheten för kommunikation mellan par av enheter bestämmas. I Figur 25 visas i kolumn 2, kommunikationssannolikheten för de olika enheterna till den översta enheten, som fungerar som tillfällig referens.

Redan detta är en avsevärd men otillräcklig förbättring av ursprungsdata. Ofta vet man att grupper av enheter kommunicerar sinsemellan men mera sällan med enheter utanför gruppen. Detta kan utnyttjas för att hitta dessa nätverk av internkommunicerande enheter. Problemet som sådant är dock betydligt mer allmänt till sin karaktär – ”finn de delmängder där element inom delmängden är lika varandra, men där element tillhörande skilda delmängder är olika varandra”. I vårt konkreta fall ska vi finna grupper av enheter som sinsemellan har stora sannolikheter, men med mindre sannolikheter mellan enheter från skilda grupper.

Problemet är skenbart enkelt – ”prova vilka grupperingar av enheterna som minimerar, t.ex., summan av kommunikationssannolikheterna mellan enheter från olika grupper”. En enkel beräkning ger dock vid handen att redan för 100 enheter, en ganska moderat siffra, finns 385858040535870170117859234999976411910038391949317492423425428922694616967028263414361144242360481623513795233832910131990758800084368780207059495142583940928152976347673300 ($\approx 4 \cdot 10^{173}$) möjliga kombinationer. Och antalet möjliga kombinationer växer dramatiskt med ökande problemstorlek. I det här läget krävs en metod som på ett approximativt sätt söker sig fram till en bra lösning. Eftersom osäkerheterna är stora kan man nöja sig med en nästan optimal lösning. Metoden beskrivs nedan.

Modellen består av ett system av sk. Potts spinn som är en generalisering av vanliga magnetiska spinn. Varje spinn kan anta lika många tillstånd som antalet grupper som man vill skapa. Ett spinn placeras på varje enhet och spinnets tillstånd anger alltså vilken grupp enheten är placerat i. Hitintills är detta endast en omformulering av problemet som i sig inte anger själva lösningen. Istället krävs en dynamisk modell som anger hur spinnen ska bete sig för att en optimering skall ske. För att fortsätta den fysikaliska analogin, definierar man en energifunktion som ska minimeras, och som i vårt konkreta fall kan bestå i summan av alla kommunikationssannolikheter mellan enheter från skilda grupper. Själva optimeringen sker genom att man simulerar spinn-systemet som ett termiskt system, dvs. varje spinn är utsatt för ett termiskt brus som är slumpmässigt och som ökar med ökande temperatur. Man startar simuleringen vid en tillräckligt hög temperatur för att spinnen ska bete sig helt slumpmässigt, och sänker sedan temperaturen långsamt så att spinnen söker sig fram till ett tillstånd som minimerar energin. Egentligen är modellen något mer komplicerad, vilket utreds i [7, 8, 9, 10, 11].

Ett datorprogram (NET) är utvecklat för att testa metodiken. Med det interaktiva gränssnittet kan en användare analysera en stor mängd av data som annars skulle vara mycket tidskrävande, om inte omöjligt, att göra manuellt och se den sannolikaste nätbilden (se Figur 23b, där tjockleken på linjer mellan sändare anger sannolikheten för kommunikation). Man kan göra en anpassning till hur den faktiska trafiksituationen ser ut. Det är också möjligt att väga in geografiska avstånd mellan de olika enheterna när man gör gruppindelningen enheter långt ifrån varandra och med kanske dåliga signalförhållanden kommunicerar med lägre sannolikhet.

Det grundläggande angreppssättet att hantera och sortera stora och oöverskådliga datamängder är tillämpligt på ett stort antal vitt skilda områden. I det aktuella fallet hanterades sannolikhetsvärden för frekvenshoppande kommunikation, men man kan lika gärna hantera annan typ av information där endast de inbördes relationerna mellan data är av betydelse. Andra exempel är multispektral klassning av flyg- och satellitbilder, underrättelserapporter, signalspaning, datorseende, hitta målspar i radarplottar, korrelation av mätdata från flera sensorer, etc.

Under projektiden har ansträngningar gjorts att marknadsföra metodiken. Metodiken är under införande i ISFV (InformationsSystem FlygVapnet).

4 Kunskapsspridning och nytta

Projektet och verksamheter inom projektet har presenterats i många sammanhang, nationellt för många organisationer inom Försvarsmakten och svensk försvarsindustri samt internationellt vid vetenskapliga konferenser och för utländska forskningsorganisationer (CSIR, DSTO, DSTL, QinetiQ, IABG, PvTT, m.fl.). Verksamheter har även presenterats vid utbildningar såsom Högre Kurs Telekrig (HKT). Vid AOC²⁰ 4th International EW Conference and Exposition 2002, bidrog projektet med 3/5 av FOIs konferensbidrag [13, 24, 26].

Informationsblad som ”populärvetenskapligt” beskriver modeller, metodik, verksamheter och rapporter har spridits (elektroniskt eller i pappersform) till intresserade.



Figur 26 Informationsblad från projektet

Projektet har även haft en hemsida för att sprida information om projektets verksamheter internt inom FOI.

Genom Stridstekniska Systemdueller har Försvarsmakten fått tillgång till en kontinuerligt utvecklad metodik- och modellkunskap, dels direkt men även indirekt via ett flertal FOI projekt (VMS Flyg, VMS Fartyg, VMS Stridsfordon, Värdering av Telekrig i radarsensorer, mfl.). Med tillgång till denna kompetens har dessa projekt kunnat koncentrera verksamheten på de egna projektfrågeställningarna.

Modeller som FREKE, TAVAST, AntView, ChfDuel, Mfactor, m.fl. har levererats till befattningshavare inom Försvarsmakten för att kunna användas som verktyg i olika avseenden. Modeller i EwSim (kapitel 3.1.2) samt tyngdpunktsföljjeprincipen (kapitel 3.2.3) har stora möjligheter att kunna användas i Försvarsmaktens träningsanläggningar.

²⁰ AOC (Association of Old Crows) är en internationell telekrig intresseorganisation. För mer information se <http://www.crows.org/default.htm>

Kunskap, metodik och modeller från verksamheten har berikat utbildningar som Högre Kurs Telekrig (HKT) och FHS 20-poängskurs i telekrigföring, vilket har gett eleverna möjligheter att under laborationer kunna studera olika telekrigaspekter med hjälp av simuleringsverktyg.

5 Internationellt avtalsbundet projektsamarbete

Under 2002 inleddes ett samarbetsprojekt med PVTT²¹ (The Finnish Defence Forces Technical Research Centre) inom ramen för det nordiska försvarsforskningsavtalet.

Projektet som sträcker sig fram till årsskiftet 2002/03 bär titeln: THE PERFORMANCE EVALUATION OF INFRARED SEEKERS. Inom projektet skall EwSim (se kapitel 3.1.2) nyttjas för att värdera bildalstrande målsökare mot motmedelsskyddade flygplan i olika bakgrunder (mark, moln, etc.).

Bedömningen är att detta samarbetsprojekt kommer att leda till ett modellutvecklings-samarbete (ej avtalat) kring EwSim.

6 Framtid

En förhoppning är att Försvarsmakten, svensk försvarsindustri samt nuvarande och framtida FOI projekt kan ta tillvara den erfarenhet, metodik- och modellflora som har utvecklats inom projektet.

Det kommande projektet *Duellsimulering Telekrig* har som mål att ta fram metodik och modeller för värdering av telekrig i scenarier med olika militära enheter och multispektralt samverkande system. Projektets verksamheter ämnar komma Försvarsmakten till nytta genom att:

- stödja utveckling och kravsättning på samverkande system.
- öka förståelse för nyttan av samverkande system.
- utveckla modeller som 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 ekonomi, tid, sekretess eller personsäkerhet.

En svaghet i projektet *Stridstekniska Systemdueller* har varit, att de olika verksamhetsområdena (optronik, radar och kommunikation) har utvecklat metodik och modeller ”skilda” från varandra. Orsaker till detta är bl.a. att olika modelldetaljeringsgrader och simuleringsmiljöer har använts. Val av detaljeringsgrad och miljö har dock varit välgrundat med avseende på de olika verksamhetsområdenas värderingsfrågeställningar.

Med målsättningen om multispektralt samverkande system i projektet *Duellsimulering Telekrig*, kommer en tätare samverkan mellan de olika kompetensområdena att knytas vilket ger möjligheter till att nya frågeställningar för det nya försvaret kan besvaras.

²¹ Finnish Defence Forces Technical Research Centre (PvTT) är Finlands motsvarighet till FOI. För mer information se http://www.mil.fi/joukot/pvtt/index_en.html

För mer information om *Duellsimulering Telekrig*, kontakta: Lars Tydén (lars.tyden@foi.se)

7 Slutord

Jag känner en viss saknad nu när projektet avslutas, då det har gett mig som projektledare nya vyer och kunskaper inom många, för mig, nya områden. Arbetet inom Stridstekniska Systemdueller har resulterat i metodik, modeller och kunskap kring simulering av telekrigdueller som har kommit många verksamheter till godo både internt inom FOI samt inom Försvarmakten. Förhoppningsvis kan framtiden ta tillvara denna kunskapsbank och vidareförädla den, då värderingsbehovet av telekrigdueller är stort inom Försvarmakten.

Du som har läst detta dokument, inser att en hel del metodik och modeller har utvecklats som komponenter för värdering av telekrigdueller under de fem år som projektet verkat. Den viktigaste komponenten i projektet har dock varit kunskapen hos alla projektmedarbetare samt deras fantastiska engagemang!

Ett stort tack alla projektmedarbetare!

Anneli Tonnvik

Britt Helge

Carl Hedberg

Christer Wigren

Erika Johansson

Farshad Moradi

Gunnar Eriksson

Jan Arnsby

Kjell Rixon

Lars Berglund

Lars Bergström

Lars Tydén

Leif Festin

Mats Bengtsson

Niclas Appleby

Pontus Hörling

Sara Linder

Torbjörn Andersson

Ulf Berggrund

Ulrika Andersson

Veine Jernemalm

Samt alla examensarbetare och tillfälligt anställda som har berikat projektet.

Peter Klum

Projektledare Stridstekniska Systemdueller

Leveranser

1. **Andersson Torbjörn**
Integration ACSL - OPTSIM
Integration ACSL - OPTSIM
FOA-R--00-01689-616--SE (Metodrapport), 2000, 32 p (Språk: Svenska)
2. **Andersson Torbjörn**
Model of clutter dependent target detector for IR images.
Modell av katterberoende måldetektor inom IR-området.
FOA-R--99-01231-616--SE (Vetenskaplig rapport), 1999, 49 p. (Språk: Engelska)
3. **Andersson Torbjörn**
Jämförelse av konfidens vid simulering med ACSL respektive OPTISIM
FOI MEMO Dnr:2001-3896 (Språk: Svenska)
4. **Appleby Niclas, Festin Leif, Forslund Fredrik, Haavisto Daniel, Klum Peter, Johansson Erika**
Leverans av Freke 2.0b
FOI MEMO Dnr:2001-4203 (Språk: Svenska)
5. **Appleby Niclas, Festin Leif, Forslund Fredrik, Haavisto Daniel, Klum Peter, Johansson Erika**
Installationsanvisning och användarhandledning TAVAST 3.1 b
FOI MEMO Dnr: 02-1659 (Språk: Svenska)
6. **Appleby Niclas, Festin Leif, Forslund Fredrik, Haavisto Daniel, Klum Peter, Johansson Erika**
Installationsanvisning och användarhandledning TAVAST 3.1
FOI MEMO Dnr: 02-2167 (Språk: Svenska)
7. **Bengtsson Mats**
Combined clustering and topological ordering in a Potts model -- numerical benchmarking studies.
Kombinerad klustring och topologisk ordning i en Potts modell -- jämförande numeriska studier.
FOA-R--98-00930-616--SE (Vetenskaplig rapport), 1999, 28 p. (Språk: Engelska)
8. **Bengtsson Mats**
Graph optimization and the Potts spin model.
Grafoptimering och Potts spinn modellen.
FOA-R--98-00860-616--SE (Vetenskaplig rapport), 1998, 24 p. (Språk: Engelska)
9. **Bengtsson Mats**
Network reconstruction of frequency hopping radio traffic - a prototypal data fusion case.
Nätverksrekonstruktion av frekvenshoppande radiotrafik - ett prototypiskt exempel på datafusion.
FOA-R--98-00696-616--SE (Vetenskaplig rapport), 1998, 15 p. (Språk: Engelska)
10. **Bengtsson Mats**
Nonparametric clustering in a mean field Potts model.
Ickeparametrisk klustring i en medelfälts Potts modell.
FOA-R--98-00953-616--SE (Vetenskaplig rapport), 1999, 8 p. (Språk: Engelska)
11. **Bengtsson Mats**
Toy physics - Potts spins in clustering.
Leksaksfysik - Potts spinn i klustring.
FOA-R--98-00702-616--SE (Vetenskaplig rapport), 1998, 20 p. (Språk: Engelska)
12. **Bergström Lars**
Beskrivning av remsmodellen REMJA II i ACSL.
A description of the chaff model REMJA II in ACSL.
FOA-R--99-01150-616--SE (Teknisk rapport), 1999, 25 p. (Språk: Svenska)
13. **Festin Leif**
Talisman. Tools for winning the communication duel.
Stockholm, May 6-8, 2002
FOI-S--0474--SE (4. International EW conf. and exposition), 2002, 29 p. (Språk: Engelska)
14. **Freden Anna**
Matching of IR-image data to a geometric model.
Matchning av IR-bilds data till en geometrisk modell.
FOA-R--98-00859-616--SE (Metodrapport), 1998, 95 p. (Språk: Engelska)
15. **Hedberg Carl Tyden Lars Wigren Christer**
Generell metod för simulering av elektro-optiska telekrigdueller.
General method of simulation of electro-optical electronic warfare duels.
FOA-R--99-01160-616--SE (Metodrapport), 1999, 31 p. (Språk: Svenska)
16. **Hedberg Carl Wigren Christer**
Simulering av störning mot centroidmålföljare.
Simulation of jammed centroid tracker.
FOA-R--00-01500-616--SE (Metodrapport), 2000, 62 p. (Språk: Svenska)

17. **Hedberg Carl Tydén Lars Wigren Christer**
Simulering av målsökare mot störskyddat objekt i en simulerad bakgrund
 FOI MEMO Dnr:2001-3915. (Språk: Svenska)
18. **Johansson Erika Linder Sara Löfsved Elisabeth Malmström Dag N H**
Radioteknik för stridsfartyg.
 FOI-S--0185--SE (Marinnytt, No. 1, 2001, pp. 32-35), 2001, 4 p. (Språk: Svenska)
19. **Klum Peter**
Användarhandledning AntView
 FOI-RH--0025--SE (Metodrapport), 2001 (Språk: Svenska)
20. **Klum Peter**
Användarhandledning ChfDuel - modell av remsfällning från Tp84.
ChfDuel User Manual.
 FOI-R--0147--SE (Metodrapport), 2001, 24 p. (Språk: Svenska)
21. **Klum Peter**
Användarhandledning PathView - verktyg för hantering av PLA data vid simulering.
PathView user manual.
 FOI-R--0089--SE (Metodrapport), 2001, 24 p. (Språk: Svenska)
22. **Klum Peter**
Analys av M-faktorn för markfallet
 FOI MEMO Dnr: 01-3823 (Språk: Svenska)
23. **Klum Peter Rahm Jonas Rixon Kjell Bergström Lars Larsson Christer**
Användarhandledning Mfactor 1.0.
Mfactor 1.0 User Manual.
 FOA-R--00-01546-616--SE (Metodrapport), 2000, 21 p. (Språk: Svenska)
24. **Tyden L Hedberg C Wigren C**
Simulations of EW duels using imaging IR-models and dynamic scenarios.
Stockholm, May 5-8, 2002
 FOI-S--0476--SE (4. International conf. and exposition), 2002, 18 p. (Språk: Engelska)
25. **Wigren Christer**
Assessment of concealing countermeasures.
Orlando, FL, April 1-5, 2002
 FOI-S--0477--SE (Targets and backgrounds VIII: Characterization and representation.)
 (SPIE Vol 4718, Proc.) 2002, 11 p. (Språk: Engelska)
26. **Wigren Christer**
Obscuring countermeasures an assessment methodology.
Stockholm, May 5-8, 2002
 FOI-S--0475--SE (4. International conf. and exposition), 2002, 35 p. (Språk: Engelska)
27. **Wigren Christer**
A genericIRST detection performance model.
En generell modell för bestämning av upptäcktsprestanda för IRST.
 FOA-R--00-01464-616--SE (Vetenskaplig rapport), 2000, 50 p. (Språk: Engelska)
28. **Wigren Christer**
Implementation of target trackability metric based on gray-level co-occurrence matrix (GLCM).
 FOI-R--0251--SE (Vetenskaplig rapport), 2001, 25 p. (Språk: Engelska)
29. **Wigren Christer**
MAIS, an atmosphere and background model for electro-optical simulations.
MAIS, en atmosfärs- och bakgrundsmodell för elektrooptiska simuleringar.
 FOA-R--00-01677-616--SE (Vetenskaplig rapport), 2000, 27 p. (Språk: Engelska)
30. **Wigren Christer Gustafsson Ove S**
Implementering av laserstörmödel.
An implementation of a laser jammer model.
 FOI-R--0249--SE (Metodrapport), 2001, 15 p. (Språk: Svenska)
31. **Wigren Christer Tyden Lars Hedberg Carl**
Simulering av störning mot passiva elektro-optiska malföljare.
Simulation of jammed passive electro-optical trackers.
 FOA-R--99-01164-616--SE (Metodrapport), 1999, 110 p. (Språk: Svenska)

Referenser

32. **Andersson Ulrika Tonnvik Annelie**
Simulering av störning mot slutfasstyrd granat.
Simulation with jammed terminally guided projectile.
 FOI-R--0133--SE (Metodrapport), 2001, 85 p. (Språk: Svenska)
33. **Andersson Ulrika Tonnvik Annelie**
Detection and target tracking in the infrared wavelength region.
Måldetekning och målföljning i det infraröda våglängdsområdet.
 FOA-R--00-01639-616--SE (Vetenskaplig rapport), 2000, 100 p. (Språk: Engelska)
34. **Berglund Lars**
Simulering av Laserstörning
 CH 30307-8.3
35. **Berglund Lars Hedberg Carl**
Laborationshandledning: Centroidmålföljare.
 FOA-D--97-00335-616--SE, 1997, 35 p. (Språk: Svenska)
36. **Berglund Lars Hedberg Carl**
CADIR. A model for generating infrared images.
CADIR. Modell för generering av IR-bilder.
 FOA-R--94-00059-3.6--SE, 1994, 55 p. (Språk: Engelska)
37. **Hedberg Carl**
CADIR - User s guide.
CADIR användarhandledning.
 FOA-R--95-00164-3.6--SE, 1995, 60 p. (Språk: Engelska)
38. **Johansson Sune Klum Peter Bergström Lars**
Simuleringsmodell REMJA. En modell för värdering av summerade radarreflexer från flygplan och många fällda remsmål
 FOA-RH--96-00171-3.6 (Språk: Svenska)
39. **Olsson Gustaf**
Simulering retikelmålsökare - metodbeskrivning.
Simulation of reticle seekers - description of the method.
 FOA C 30685-8.3, 1992, 27 p. (Språk: Svenska)
40. **Wigren Christer**
IGOSS. User's manual.
IGOSS. Användarhandledning.
 FOA-R--97-00583-616--SE (Teknisk rapport), 1997, 77 p. (Språk: Engelska)
41. **Wigren Christer**
IGOSS - Model of image generation in optronic sensor systems.
IGOSS - Modell av bildgenerering i optroniska sensorsystem.
 FOA-R--97-00582-616--SE (Vetenskaplig rapport), 1997, 96 p. (Språk: Engelska)
42. **Wigren Christer**
Pansarvärnsrobot mot motmedelskyddade stridsfordon - en simuleringsstudie.
Anti-tank missile against armoured vehicles using countermeasures - a simulation study.
 FOI-R--0261--SE (Metodrapport), 2002, 51 p. (Språk: Svenska)
43. **Tyden Lars**
MUSS. Multi spectral smoke model.
MUSS. Multi spektral stridsrök modell.
 FOA-R--97-00576-616 (Vetenskaplig rapport), 1997, 66 p. (Språk: Engelska)
44. **Tyden Lars Berglund Lars**
Laborationshandledning: korrelationsmålföljare.
 FOA-D--97-00334-3.6,316--SE, 1997, 28 p. (Språk: Svenska)