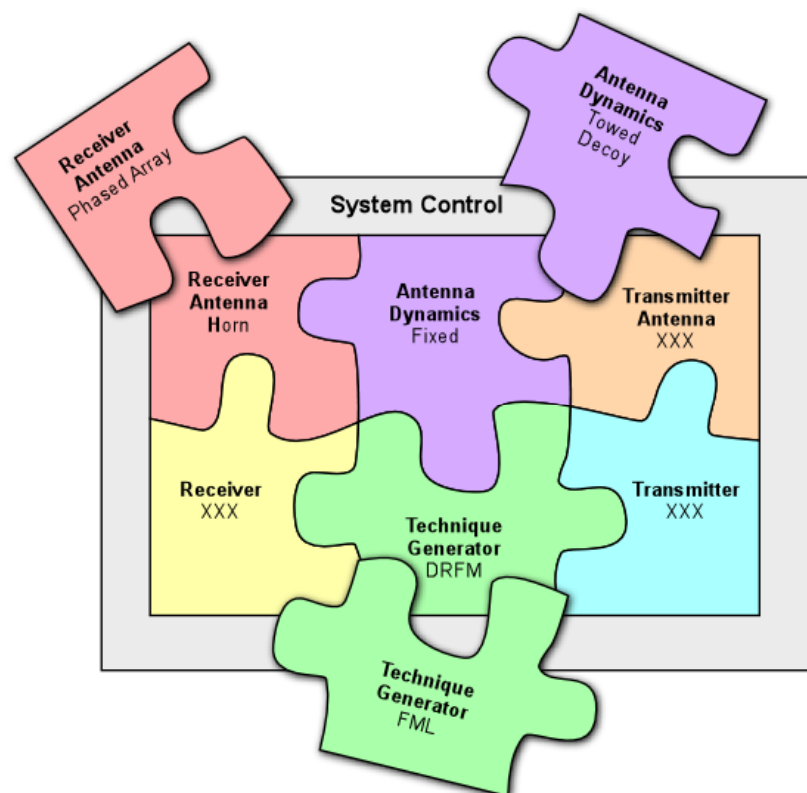


Peter Klum, Åsa Andersson

GENPOD



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Ledningssystem

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--1414--SE

December 2004

ISSN 1650-1942

Metodrapport

Peter Klum, Åsa Andersson

GENPOD

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1414--SE	Klassificering Metodrapport
	Forskningsområde 6. Telekrig och vilseledning	
	Månad, år December 2004	Projektnummer E7015
	Delområde 61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Peter Klum Åsa Andersson	Projektledare Lars Tydén	
	Godkänd av Mikael Sjöman	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Peter Klum	
Rapportens titel GENPOD		
Sammanfattning (högst 200 ord) Rapporten presenterar den första versionen av GENPOD (GENetic POD). GENPOD är en komponentbaserad struktur för modellering av radarstörsändare. De utvecklade modellerna är avsedda att användas för att värdera telekrig på teknisk och stridsteknisk nivå i duellsimuleringar en mot en, men även i scenarier med några mot några. Den modulära uppbyggnaden av radarstöraren medför att varje delkomponent är väl avgränsad och har ett väldefinierat interface mot andra delkomponenter. Fördelarna med en sådan struktur är många, bl.a. att ny funktionalitet enkelt kan adderas m.h.a. generiska komponenter, uppdatering underlättas samt att endast nödvändig kod exekveras vilket ger tidsvinster. Utvecklingen har skett parallellt med utvecklingen av en radarmodell inom simuleringsramverket EWSim för telekrigsdueller. I slutet av rapporten presenteras testresultat från repeter- och brusstörning mot en spaningsradarmodell samt förslag på fortsatt arbete.		
Nyckelord Telekrig, Simulering, Radarstörsändare, Radar		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 26 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--1414--SE	Report type Methodology report
	Programme Areas 6. Electronic Warfare and deceptive measures	
	Month year December 2004	Project no. E7015
	Subcategories 61 Electronic Warfare including Electromagnetic	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Peter Klum Åsa Andersson	Project manager Lars Tydén	
	Approved by Mikael Sjöman	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Peter Klum	
Report title (In translation) GENPOD		
Abstract (not more than 200 words) This report presents the first version of GENPOD (GENetic POD). GENPOD is a component based structure for radar jammer modeling. The developed models are intended to be used in technical duel simulations for electronic warfare assessments on combat and low tactical levels. The simulations can include one-to-one or many-to-many scenarios. The modular design of the radar jammer entails well-defined components and interfaces. There are many advantages with such a structure, e.g., new functionality can easily be added using generic components, updating is facilitated and only necessary code is executed, which results in time profits. Development of GENPOD has taken place in parallel with development of a radar model within EWSim, a framework for electronic warfare duel simulations. Test results from repeater and noise jamming against a surveillance radar are presented as well as suggestions for further work.		
Keywords Electronic Warfare, Simulation, Radar Jammer, Radar		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 26 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehåll

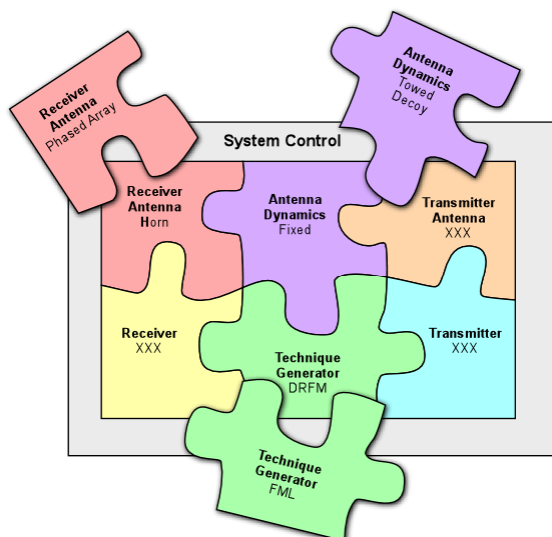
1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	8
1.2	Nytta för Försvarsmakten	10
1.3	Målmiljö	11
1.4	Läsanvisning	11
2	Utmaningar	12
3	Design och funktionalitet	15
3.1	Modellsystem	15
3.2	Allmänna modeller	16
3.2.1	Signaler	16
3.2.2	Radarsignatur	16
3.2.3	Antenner	17
3.2.4	Mottagare	18
3.2.5	Sändare	19
3.3	Radarstöraren	19
3.4	Aktivering och funktionalitet	20
3.5	Beslutsfattning om störning	21
4	Störformer och störmönster	22
5	Testkörning – ett exempel	23
6	Sammanfattning	25
6.1	Verifiering och validering	25
6.2	Fortsatt arbete	25
7	Referenser	26

1 Inledning

Detta dokument beskriver översiktligt den första versionen av GENPOD (GENetic POD). GENPOD är en komponentbaserad struktur för modellering av radarstörsändare. De modeller som utvecklas med GENPOD ska kunna användas för att värdera telekrig på teknisk och stridsteknisk nivå i duellsimuleringar en mot en men även i scenarier med några mot några. Den presenterade versionen av GENPOD har utvecklats vid Institutionen för Telekrigvärdering i FoT-projektet *Duellsimulering Telekrig* med stöd från projekten *CESAR* och *EW Mission Lab*.

Syftet med att beskriva en störsändare uppbyggd av olika väl avgränsade modellkomponenter är:

- en störsändarmodell kan utvecklas snabbare och enklare
I bästa fall kan en störsändarmodell byggas enbart med återvunna komponenter
- funktionalitet i en utvecklad modell kan enklare läggas till
Fler antenner, nya störtekniker, etc.
- uppdatering av en störsändarmodell blir enklare
Uppdateringen sker genom att komponenten uppdateras
- modellfel kan hittas lättare
Felsökning kan ske separerat i komponenten
- en störsändarmodell kan utvecklas distribuerat av flera
Utvecklingen sker på separata komponenter
- all kod i modellen exekveras
Ingen onödig kod används i modellen, varför modellen blir mindre (i kilobyte) samt snabbare



Figur 1 GENPOD

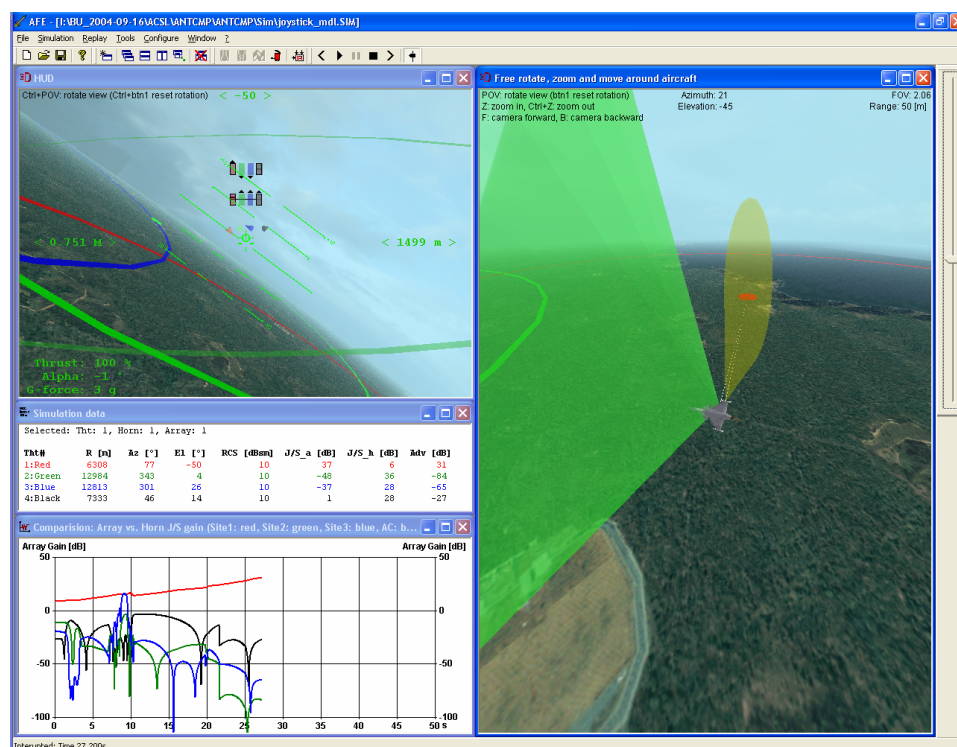
För att kunna bygga en störsändarmodell ur ett "komponentbibliotek" krävs förutom välavgränsade komponenter ett väldefinierat gränssnitt mellan de olika komponenterna som ska bilda den färdiga störsändarmodellen.

Det inledande arbetet har därför fokuserats på att finna komponentgrupper med lämpliga gränssnitt (komponenten "Hornantenn" tillhör komponentgruppen "Antenner"). Inom de olika komponentgrupperna har gränssnitten samt de första komponenterna utvecklats men ännu ej brutits ut till fristående dll:er (Dynamic Linked Library).

Mekanismen för hur en störsändarmodell byggs från de olika dll:erna är ej färdigutvecklad. Under arbetets gång har "Objektfabriken" studerats, som är en central men fristående del av MERLIN¹. Objektfabriken producerar instanser till simuleringen genom att sätta samman färdiga komponenter ur ett modellbibliotek enligt en eller flera beskrivningar givna på XML² format. Framöver kan denna mekanism vara lämplig att använda i GENPOD.

1.1 Bakgrund

Tankarna kring GENPOD formades i samband med utvecklingen av simuleringsmodellen ANTCMP (ANTenna CoMPare). ANTCMP utvecklades för att jämföra störsändarantenn täckning från en flygburen störsändare utrustade med konventionella hornantenner kontra samma störsändare utrustad med fasstyrda gruppantenner. I modellen kan upp till sex stycken hornantenner och sex gruppantenner fritt positioneras och orienteras på flygkroppen.



Figur 2 ANTCMP (ANTenna CoMPare)

Som utgångspunkt för utvecklingen nyttjades en äldre simuleringsmodell, AntView (Antenna View), som simulerar marktäckningen för en flygburen störsändare.

¹ MERLIN är en utveckling som syftar till att för luftstridskrafternas referensbibliotek (Refbib) vidareutveckla, implementera och utvärdera en prototyp av en ny arkitektur för modellintegration. MERLIN utvecklas på avdelningen för Systemteknik, FOI.

² XML (eXtensible Markup Language) är ett textbaserat format för att beskriva och lagra data/information på ett strukturerat sätt.

Trots att AntView liksom ANTCMP utvecklades i ACSL/GM³, var det förhållandevis lite kod som kunde återanvändas från AntView. Att utöka ANTCMP med fler antenner visade sig också svårt, då detta innebar ändringar på ett flertal ställen i modellen. Det fanns (och finns) ett behov av att kunna simulera störsändaren i större scenarier (några mot några). ANTCMP simulerade duellen en störsändare mot fyra fientliga radarstationer men att utöka modellen att simulera flera störsändare och fler hot innebar stora och tidskrävande ändringar.

Utvecklingen av ANTCMP påvisade behovet av en mer strukturerad metodik kring modellering av störsändare som tillåter skalbarhet att hantera fler hot och flexibilitet vid konfigureringen av störsändarmodellen - GENPOD.

Inledningsvis stod GENPOD för GENErisk POD⁴. Den ursprungliga tanken var att modellen skulle kunna användas för att simulera ”alla” typer av störsändare från en och samma kodbas. Ganska omgående avslöjades ett flertal nackdelar med denna monolitiska modellapproach, varför den komponentbaserade strukturen formades. GENPOD står numera för GENetisk POD, där en störsändarmodell byggs upp av återanvändbara delsystemkomponenter (delmodeller). För att detta ska fungera krävs att delmodellerna är väl inkapslade och kommunicerar endast via ett väldefinierat gränssnitt.

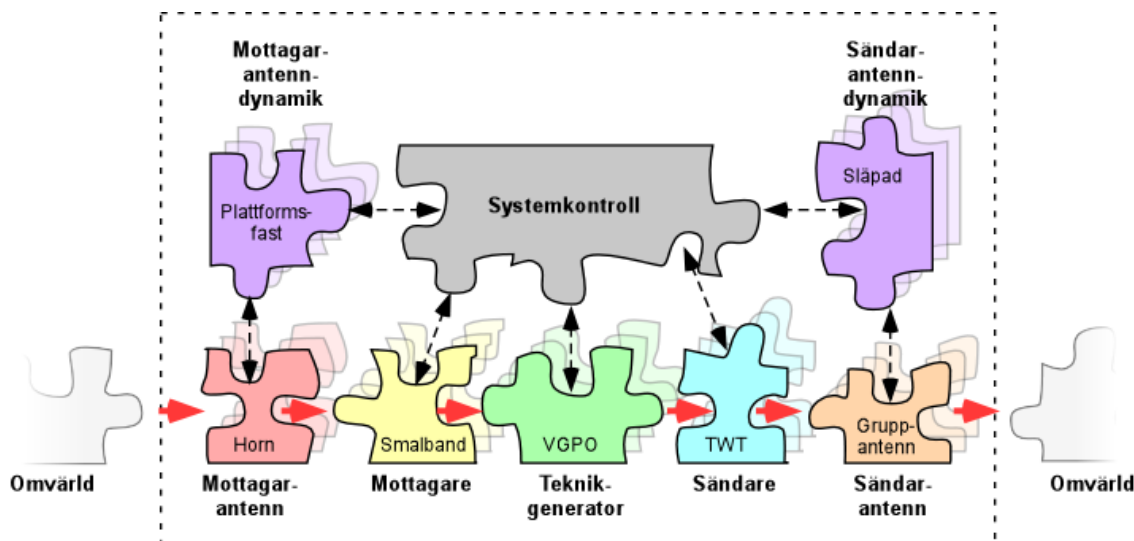
Genom att gruppera delsystemkomponenterna i komponentgrupper där varje komponent har samma gränssnitt som de övriga i gruppen, föreslogs tidigt följande komponentgrupper:

- Mottagarantennndynamik
Komponenter som beskriver mottagarantennens rörelse. Innebär en koppling till det objekt som är plattform för antennen.
- Mottagarantennner
Komponenter som beskriver olika typer av antenner som horn, fasstyrda gruppantennner, etc. Komponenten tillhandahåller antennförstärkningar från matematiskt beskrivna antenner eller från uppmätta antennndiagram.
- Mottagare
Komponenter som beskriver mottagaren i form av känslighet och analysfunktioner.
- Teknikgenerator
Komponenter för att generera olika störformer (VGPO, RGPO, Brus, etc.)
- Systemkontroll
Komponent för att styra de övriga komponenterna i modellen. Lagrar och initierar störmönster.
- Sändare
Komponenter som beskriver sändaren i form av uteffekt.
- Sändarantennner
Se Mottagarantennner ovan
- Sändarantennndynamik
Se Mottagarantennndynamik ovan

³ ACSL/GM (Advanced Continous Simulation Language/Graphical Modeller), För mer information se http://www.aegisxcellon.com/acslXtreme_Products.html

⁴ POD (kapsel) brukar vanligen hänvisa till flygburna kapselbaserade störsändare. GENPOD är tänkt att kunna simulera även andra typer av störsändare (släpade, friflygande, etc.) varför namnet i grund och botten är vilseledande.

Figur 3 visar hur en störsändarmodell byggs samman med komponenter från de olika komponentgrupperna. De röda pilarna i figuren visar schematiskt signalvägen då modellen representerar en repeterstörsändare.



Figur 3 En störsändarmodell byggd med komponenter från de olika komponentgrupperna.

Genom att separera dynamiken för sändar- och mottagarantennerna kan olika systemkoncept simuleras. T ex att från en modell av den släpade störsändaren ALE-55⁵ (sändarantenn i släpkroppen och mottagarantenn på flygplanet) modellera en släpad störsändare av typ ALE-50⁶ (sändar- och mottagarantenn i släpkroppen) innebär för antennerna främst att mottagarantennndynamiken byts ut.

Ett godtyckligt antal instanser av modeller skapade med GENPOD ska kunna störa ett godtyckligt antal instanser av radarstationer i en simulering.

1.2 Nyttä för Försvarsmakten

GENPOD kommer Försvarsmakten till nytta genom:

- Flexibilitet att testa nya systemkoncept
Genom tillgång till olika komponenter kan enkelt en komponent bytas mot en annan i komponentgruppen. T ex ska det vara enkelt att i en störsändarmodell byta ut en antenntkonfiguration med horn mot en med fasstyrda gruppantenn. "Vad händer om ... ?" frågor blir enklare att besvara.
- En snabbare utveckling av störsändarmodeller
Distribuerad utveckling av komponenter möjlig. I bästa fall kan en ny störsändarmodell byggas genom att helt och hållet återanvända tidigare utvecklade komponenter.
- Användning på flera värderingsnivåer
Modeller utvecklade enligt GENPOD-konceptet ska kunna användas i tekniska- till stridstekniska värderingar (en mot en - några mot några).

⁵ ALE-55 är utvecklad av BAE Systems.

⁶ ALE-50 är utvecklad av Raytheon.

1.3 Målmiljö

Målet har varit att göra modellen så generell som möjligt, även vad gäller målmiljö. Den bör fungera ihop med system implementerade i så väl ACSL³ som C++, vilka båda används inom Institutionen för Telekrigvärdering vid FOI.

Radarstörarsystemet samt övriga kopplade delmodeller som beskrivs i rapporten (antennar, mottagare etc.) ingår alla i ett ramverk för telekrigduellsimuleringar, *EWSim*[1] som utvecklas inom projektet *Duellsimulering Telekrig*. De objektorienterade modellerna är implementerade i C++ under Microsoft Visual Studio .NET men är avsedda att vara plattformsoberoende.

1.4 Läsanvisning

Kapitel 1 "Inledning" behandlar översiktligt det arbete som har utförts samt tidigare arbeten som ligger till grund för utvecklingen av GENPOD samt nyttan för Försvarmakten och den målmiljö som avses med GENPOD.

Kapitel 2 "Utmaningar" behandlar de utmaningar som finns med att simulera telekrig i scenarior med flera aktörer som radar och störsändare, samt översiktligt några framtida lösningar för att minimera de problem detta innebär.

Kapitel 3 "Design och funktionalitet" beskriver de allmänna funktionerna (radar och störsändargemensamma) som har implementerats i GENPOD och de funktioner som är specifika för störsändaren. Hur en störsändning initieras beskrivs också i kapitlet.

Kapitel 4 "Störformer och störmönster" beskriver de störformer som i dagsläget finns implementerade i GENPOD, samt hur störformer definieras.

Kapitel 5 "Testkörning – ett exempel" visar ett exempel där GENPOD har använts mot en radarmodell.

Kapitel 6 "Sammanfattning" sammanfattar rapporten, diskuterar validering och verifiering samt listar förslag på fortsatt arbete.

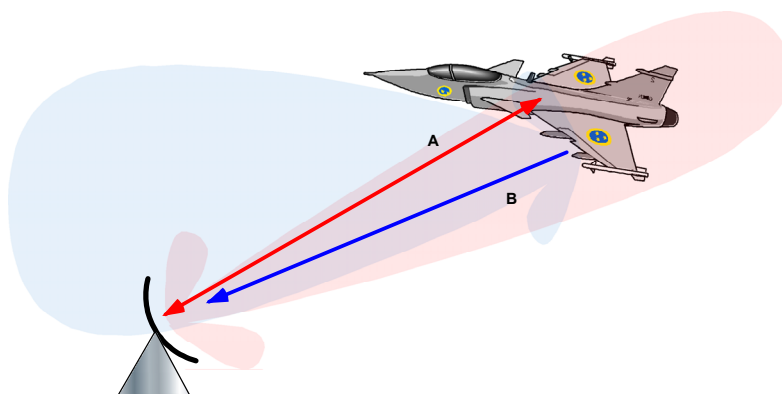
Kapitel 7 "Referenser" listar de referenser som använts i detta dokument.

2 Utmaningar

Som nämnts tidigare har en stor del av arbetet koncentrerats till att identifiera lämpliga komponentgrupper och gränssnitten mellan dessa. Detta arbete är mycket svårt och kan komma att ändras med tiden varför ingen uppdelning i separata dll:er har påbörjats. Bara genom arbete med komponenterna kommer ofullständigheter i gränssnitt och komponentavgränsningar att bli tydliga.

Arbetet har även koncentrerats till att beskriva ”signalen” (information som skickas mellan objekten) för att interaktioner mellan objekten (radar och störare) ska minimeras, vilket är viktigt då större scenarier ska beskrivas.

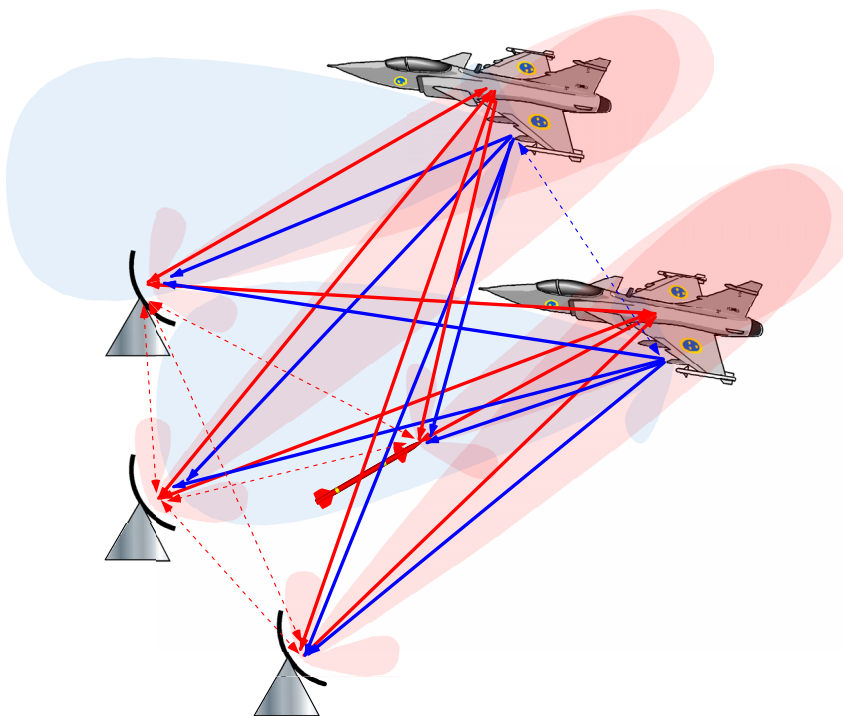
Störsändarmodeller utvecklade med GENPOD ska kunna användas i dueller en störare mot en radar upp till scenarier med några mot några. Duellfallet är väl utprovat, bland annat genom metodik utvecklat i FOI-projekten *Duellsimulering Telekrig* och *Teknisk Hotsystemanalys*.



Figur 4 Duellfallet: En spanings/eldlednings-radar registrerar/följer (A) ett fientligt flygplan vid en viss vinkel, på ett visst avstånd. Flygplanet, som är utrustat med en radarvarnare, upptäcker att det är belyst från en viss riktning (A). Det har dessutom en radarstörare och man väljer i detta läge att störsända. En lämplig störmetod väljs och störsignaler sänds ut där en del av effekten träffar radarn (B). Radarn kommer då att registrera både ekot från flygplanskroppen (A) samt de av flygplanet utsända störsignalerna (B). Effekten av störningen beror på störmetod kontra radarns störskydd.

Figur 4 visar det enklaste fallet av telekrigduell med en monostatisk radar, en målsignatur (RCS⁷), en mottagar- och sändarantenn hos repeterstörsändaren. Duellen blir något komplexare om t ex ett semiaktivt radarsystem eller en komplexare signatur (delspridarsignatur) värderas i duellen. Än mer komplex blir situationen om flera radarstationer och störare ingår i simuleringen som visas i Figur 5.

⁷ RCS - Radar Cross Section



Figur 5 Scenariofallet: Tre spanings/eldlednings-radarer registrerar/följer flygplanen. En radarstation belyser "ett" av flygplanen för att bekämpa det med en semiaktiv robot. Flygplanen, som är utrustade med radarvarnare, upptäcker att de är belysta i olika riktningar. De är utrustade med radarstörare och väljer i detta läge att störsända. En lämplig störmetod väljs och störsignaler sänds ut där olika signaleffekter träffar de olika sensorerna. Radarstationerna kommer att registrera ett eller flera mål beroende på mottagen effekt, frekvens, pulsgivning, etc. Effekten av störningen beror på störmetod och störsignalens anpassning mot aktuell radar kontra radarns störskydd. Bidrag ifrån telekonflikter uppkommer också (streckade linjer i figuren).

Som visas i Figur 5 blir den elektromagnetiska interaktionen mellan de olika objekten i simuleringen avsevärt komplexare då scenariot utökas. För att kunna hantera detta (speciellt då modellerna ska användas i realtidssammanhang), är det viktigt att definiera "signalen" på ett bra sätt samt tillämpa olika "knep" för att minska antalet interaktioner. Ett sätt att minska antalet interaktioner, är genom att initialt göra en överslagsberäkning och bedöma om en enskild radar- eller störsändarmottagare ser en signal grundat på:

- Ger signalen tillräcklig effekt i mottagaren för att detekteras?
- Har signalen rätt frekvens för att kunna mottas?
- Är signalens pulsgivning korrekt för att målet ska accepteras i mottagaren?

Det är viktigt att överslagsberäkningarna verkligen leder till en lägre processorbelastning och att beräkningarna ger korrekta svar. Ett grovt sätt att begränsa interaktionerna är t ex att sälla bort de störare som ligger utanför en radars antennhuvudlob. Med denna grova behandling sällas dock närstörsändare som stör i radarns sidolob felaktigt bort. Det finns många aspekter att ta hänsyn till vid ursällningen, vilket kan leda till att överslagsberäkningarna slutar att vara överslag och istället leder till en ökad processorbelastning.

I GENPOD finns inga sådana så kallade "culling"⁸ funktioner implementerade, men dessa är nödvändiga för att GENPOD ska kunna användas i mer komplexa scenarier. GENPOD är

⁸ Eng. Culling - plocka bort

bland annat avsett att användas i simuleringsramverket *EWSim*. I detta projekt utvecklas en radarmodell (spanings- och eldledningsradar). Denna radarmodell utvecklas parallellt med GENPOD och använder många gemensamma komponenter som antenner, mottagare, sändare och antenndynamik. Genom den koordinerade utvecklingen har en gemensam definition av "signalen" samt en struktur för var en beräkning ska ske utvecklats. Dessa åtgärder syftar till att minimera interaktionerna mellan objekten och underlätta införandet av "culling" funktioner i framtiden. För detta syfte kan MERLIN studeras, där en del sådana funktioner finns implementerade.

3 Design och funktionalitet

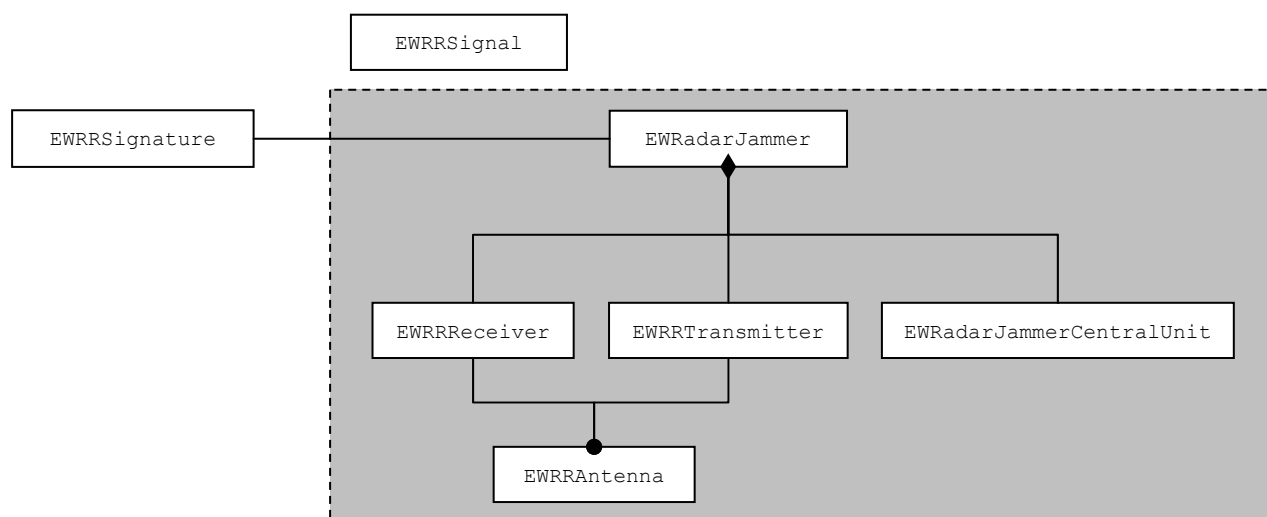
Det finns idag en stor variation av radarsystem. Dessutom kan en radar arbeta i en mängd olika moder. Detta leder till att generiska radarstörsändarsystem behöver mycket stor flexibilitet i förmågan att generera störsignaler i avsikt att vilseleda en observerande radar. För att åstadkomma detta behövs viss grundläggande arkitektur. Till denna hör förutom antenner, mottagare och sändare, även teknik för att skapa och modulera (i t ex frekvens, fas och amplitud) en signal. Moderna system använder dessutom avancerad digital teknik för att t ex spela in och spara mikrovågssignalen, så kallade DRFM (digitalt radiofrekvent minne). Detaljerad information om struktur och funktionalitet hos radarstörsändar-system återfinns t ex i [3] och [4].

3.1 Modellsystem

Modellsystemen som tagits fram i detta arbete, är designade för att efterlikna verkliga system, både gällande struktur och inbördes beroenden, då detta är lämpligt. Utvecklingen av en radarstörrmodell har till stor del skett parallellt med utvecklingen av en radarmodell. Anledningen till detta är just att de verkliga systemen har flera strukturella likheter, men även för att modellerna ska kunna samverka på ett smidigt sätt i duellsimuleringscenarier.

Abstraktionsnivån har valts så att de delar som i verkligheten inte har kännedom om varandras detaljer inte heller har det i modellsystemet. Exempelvis har en radarmottagare antenner kopplade till sig utan att känna till antenndiagrammet; en störare kan generera olika störsignaler utan att känna till exakt hur dessa skapas. Den modulära uppbyggnaden medför även flexibilitet i och med att funktionalitet lätt kan adderas och modifieras.

Figur 6 visar ett schematiskt klassdiagram över radarstörens uppbyggnad samt kopplingen till radarsignaturen via radarsignalen.



Figur 6 Schematiskt klassdiagram över radarstörens uppbyggnad samt dess koppling till radarsignaturen. Det skuggade området markerar klasser som ingår i radarstörens.

Nedan beskrivs kortfattat s.k. ”allmänna modeller”. Med detta avses här delsystem och modeller som används för interaktion mellan radar och radarstörare (radarsignatur och signaler), samt de som är gemensamma för både radar och radarstörare. Därefter följer en genomgång av radarstöraren själv. Då denna rapport fokuserar på radarstöraren beskrivs dock inte radarns inre struktur som istället kommer att presenteras i en senare rapport [2].

3.2 Allmänna modeller

3.2.1 Signaler

Informationsöverföring mellan radar, radarsignatur och radarstörare sker via s.k. ”signaler”. Dessa är inga verkliga signaler utan snarare paket av information om en verklig signal. Utöver fysikaliska data som t ex utsänd effekt och frekvens, innefattar de även uppgifter om sändaren som dennes position och hastighet för att informationen ska kunna tolkas och användas hos mottagaren. Simuleringsnivån ligger ovanför pulsnivå, dvs. enskilda pulser representeras ej. Med hjälp av lämplig parametersättning kan viss funktionalitet hos en pulsad radar ändå simuleras, t ex avståndsavhakning⁹, se vidare kapitel 4 Störformer och stormönster.

De radarspecifika parametrarna i en ”signal” är följande:

- signalkällans ID-nummer
- signalkällans position [m]
- signalkällans hastighet [m/s]
- signalkällans acceleration [m/s²]
- utsänd effekt [W]
- våglängd [m]
- bandbredd [Hz]
- dopplerfrekvens [Hz]
- avståndsförskjutning [m] (för simulering av avståndsavhakning)
- antal pulser per sänd grupp
- pulslängd [s]
- pulsrepetitionsintervall (PRI) [s]

En speciell form av ”signal” är en ”störsignal”. Denna innehåller som namnet antyder, även information om störning, som t ex störmetod. Detta för att möjliggöra signaltolkning hos den mottagande enheten, t ex en spaningsradar.

Modellen är implementerad i klasserna `EWRRSignal` samt `EWRRJamSignal`.

3.2.2 Radarsignatur

Alla fysiska objekt som en radar ska kunna se, radarmål, är försedda med en radarsignaturmodell.

Denna innehåller all information som är nödvändig för att ett radarmål ska kunna påverka och reflektera en signal från radarn. Både passiva objekt som skrov och antenner såväl som aktiva, i form av eventuella störare, ger upphov till retursignaler som återsänds till radarn. Då ett radarmåls fysiska utbredning är av samma storleksordning eller större än radarns

⁹ Störsändaren lagrar de inkomna radarpulserna i ett minne och sänder ut dessa med en ökande tidsfördröjning som i den störda radarn uppfattas som ett mål bakom det riktiga målet. Syftar till att ”dra” bort radarns avståndsföljelucka från målet. Eng. Range Gate Pull Off, RGPO.

upplösningens volym behöver man ta hänsyn till att antennförstärkningen varierar i riktning mot de olika delmålen. Det är en av radarsignaturens viktigaste uppgifter att se till att varje delobjekt har tillgång till korrekt inkommande signaleffekt.

För radarstöraren utgör radarsignaturen ett gränssnitt till omvärlden/radarn. Det är via radarsignaturen som inkommande signaler och utgående störsignaler passerar.

Modellen är implementerad i klassen `EWRRSignature`.

3.2.3 Antenner

Avsikten med antennklassen är hantering av antenndiagram samt eventuell antenndynamik. Antenndiagrammet, som är osynligt utanför antennen själv, kan vara beroende av frekvens, aspektvinklar, polarisation och tid.

För att kunna beräkna antennförstärkning till de olika målen (signaturerna) måste alla vektorer från antenn till mål transformeras till koordinatsystemet för den valda antennen. I detta antennfasta system beräknas vinklarna i azimuth och elevation till de olika målen. Med hjälp av dessa vinklar beräknas sedan antennförstärkningarna till de olika målen ur lobfunktioner.

Lober (eller antenner) indelas i huvudgrupperna:

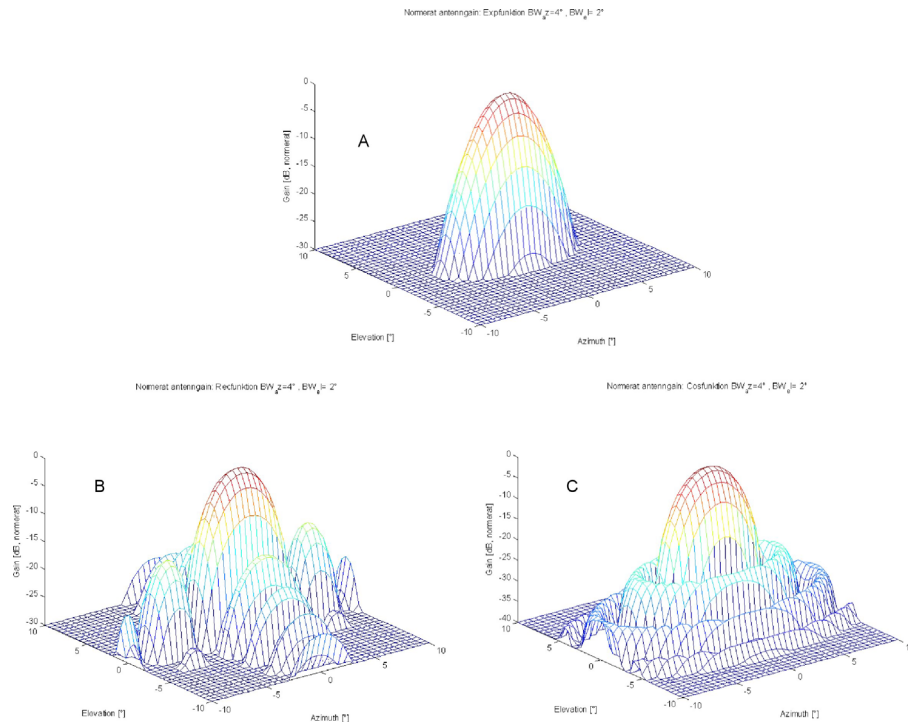
- Fixa lober (antennhorn, etc.)
- Elektriskt styrbara lober (AESAs¹⁰ antenner, etc.)

I GENPOD finns i nuläget endast fixa lober implementerade. De fixa loberna har ett ”fast” antenndiagram (dock frekvens- och polarisationsberoende) relativt orienteringen på antenninfästningen som dock kan styras via ett dynamikblock (dvs. mekanisk inriktning av antennen).

Antenndiagrammet för fixa lober kan i GENPOD definieras antingen från filbaserade antennmätdata eller från funktionsbaserade antenndiagram (formler). I nuläget kan antennmätdata från AMPA¹¹ användas eller tre olika funktionsbaserade antenndiagram, visar de funktionsbaserade antenndiagramen.

¹⁰ Active Electronically Scanned Array

¹¹ Antennmätplats Arboga



Figur 7 Funktionsbaserade antenndiagram i GENPOD
A: Exponentiell lobform, B: Rektangulär viktad lobform, C: Cos viktad lobform

Dessa normaliserade funktionsbaserade antenndiagram beskrivs av parametrarna lobbredd i azimuth (sida) och lobbredd i elevation (höjd).

En viktig funktionalitet hos antenmodellen är som nämnts ovan, möjligheten till egen dynamik, dvs. att antennens position och hastighet inte är direkt kopplad till antenplattformen (t ex flygplanet eller fartyget). Detta är speciellt viktigt vid definition av styrbara antenner samt för släpade störsändare. I det senare fallet kan antennens, och därmed även ett skenmåls rörelse, vara mycket olik plattformens på grund av turbulens, skillnad i aerodynamik etc.

Även radarmodellen och de kommunikationsmodeller som utvecklas inom *EWSim* använder samma struktur för att hantera antenner, i det senare fallet dock fokuserat mot kommunikationsantenner (stavantenner, dipolantenner, etc.)

Modellen är implementerad i klassen *EWRRAntenna*.

3.2.4 Mottagare

En mottagare har som huvudsaklig uppgift att analysera grundläggande information som effekt och frekvens hos inkomna signaler. Då mottagaren kan ha flera antenner med olika antenndiagram och fysisk placering på plattformen resulterar *en* till störaren inkommen signal i *flera* mottagna signaler - en för varje mottagarantenn.

Varje mottagen signal genomgår följande steg:

- beräkning av inkommen effekt:
Signaleffekten korrigeras med rätt förstärkning för sändande antenn (dess signatur) i riktning mot mottagarantenn i . Mottagen effekt beräknas enligt:

$$P_{i\text{ mott}} = (PG)_{ut} \frac{G_{källa \rightarrow mottagarantenn\ i}}{G_{plattformscentrum}} \frac{\sigma_i}{4\pi R_i^2}$$

där R_i är avståndet mellan signalkällans sändarantenn och mottagarantennen, och σ_i är den effektiva antennarean för mottagarantennen:

$$\sigma_i = G_i \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

G_i är antennförstärkningen i aktuell riktning och λ är den dopplerskiftade våglängden.

- beräkning av dopplerskift p.g.a. mottagarantennens hastighet relativt sändarantennens
- eventuell sid- eller backlobsundertryckning
- eventuella förluster i mottagaren

Härefter integreras de mottagna signalerna samman till *en* ”analyserad” signal som sedan ligger till grund för eventuell störning.

Modellen är implementerad i klassen `EWRRReceiver`.

3.2.5 Sändare

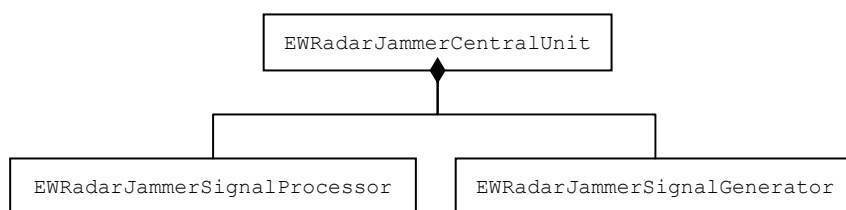
En sändare har motsvarande uppgift vid sändning som mottagaren har vid mottagning. Sändaren svarar för att beräkna den effekt som ska komma att sändas ut från en viss sändarantenn i en viss riktning. Det kan t ex vara mot signalkällan för den inkomna signalen eller i en riktning angiven av en operatör. Då sändaren (precis som mottagaren) kan ha flera antenner kopplade till sig, resulterar varje (stör)signal som ska sändas i en lista av utsända signaler - en från varje antenn.

Det är tänkbart att man här skulle vilja modulera signaler som ska sändas via olika antenner, så att de interfererar på ett visst önskat sätt utanför plattformen. Denna funktion har dock inte implementerats ännu.

Modellen är implementerad i klassen `EWRRTransmitter`.

3.3 Radarstöraren

Som beskrivits ovan består radarstöraren förutom radarmottagare och sändare, även av en centralenhet. Denna, som egentligen är härledd ur en mer allmän radarcentralenhet, är i sin tur uppbyggd av en signalprocessor och en signalgenerator, enligt Figur 8.



Figur 8 Klassdiagram över centralenhetens struktur.

Centralenheten kan sägas vara kärnan i radarstöraren. Det är den som ser till att data extraheras ur den analyserade signalen (motsvarande en radarvarnare) samt bestämmer vilken störmetod som ska väljas vid sändning av störsignaler.

Till sin hjälp har centralenheten signalprocessorn vars nuvarande funktion endast består i att spara data ur signalen. Man kan dock tänka sig utökad funktionalitet som t ex viss feltolkning av signalinformationen samt att signalbehandlingen innefattar uppslagning i en hotdatabas.

Signalgeneratoren är den enhet hos radarstöraren som verkställer order från centralenheten gällande skapandet av en eller flera sorters störsignaler med önskade egenskaper.

Modellen av radarstöraren är implementerad i den övergripande klassen `EWRadarJammer`, samt av klasserna `EWRReceiver`, `EWRTransmitter`, `EWRadarJammerCentralUnit`, `EWRadarJammerSignalProcessor` och `EWRadarJammerSignalGenerator`.

3.4 Aktivering och funktionalitet

Radarstöraren aktiveras normalt genom att en radarsignal från t ex en spaningsradar inkommer till störaren via radarsignaturen, fall 1. Aktivering kan även ske efter beslut av en störoperator, fall 2.

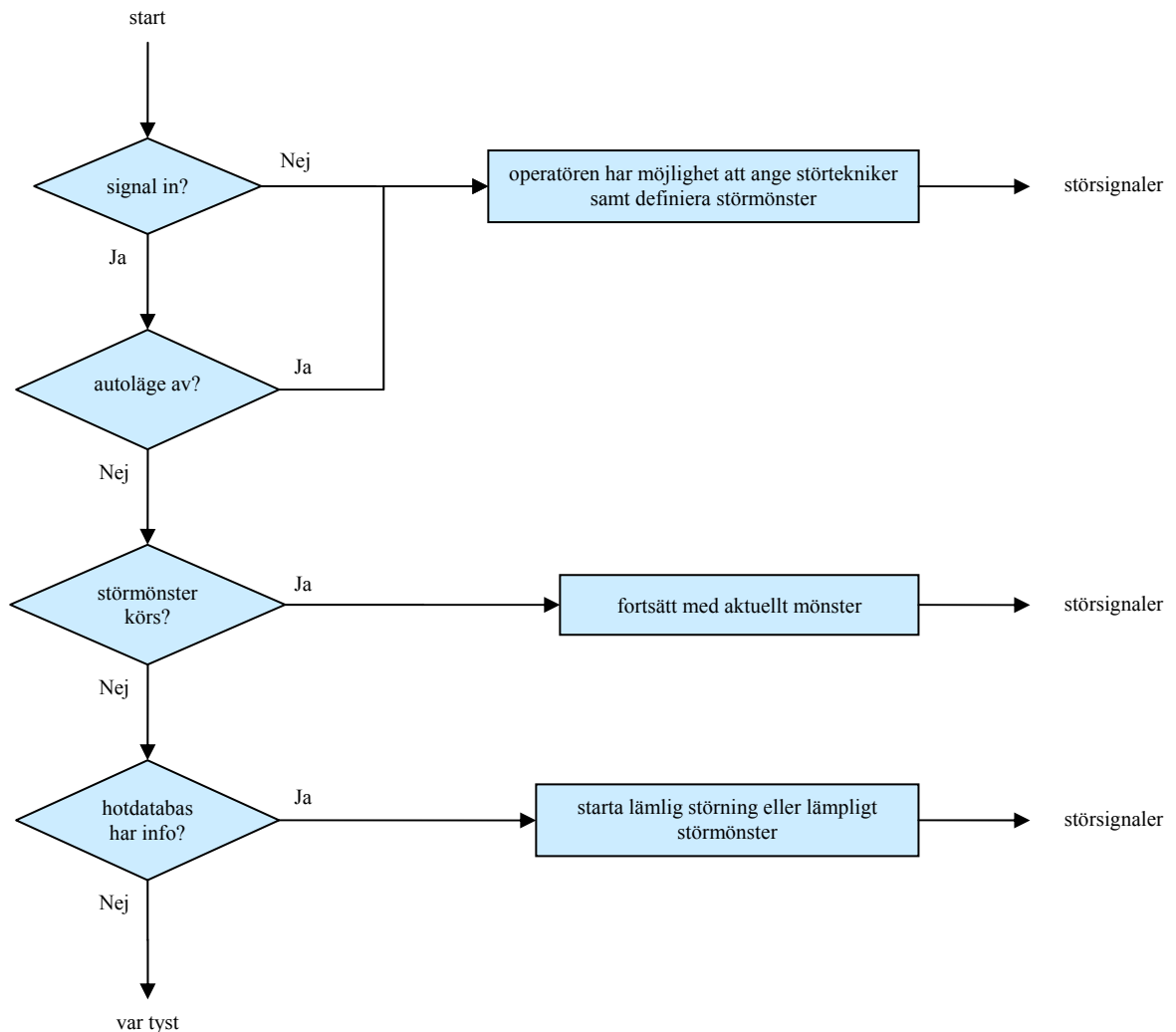
I fall 1, genomgår följande huvudsakliga steg då signalen når störaren (i praktiken anropas en funktion i huvudklassen `EWRadarJammer`):

1. Mottagaren anropas för att ta emot och analysera signalen, se kapitel 3.2.4. Den analyserade signalen returneras.
2. Centralenheten anropas för att ”tolka” signalen samt för att skapa eventuella störsignaler, vilka returneras.
3. Sändaren anropas för att returnera signalerna så som de ser ut direkt efter sändarantennerna.

Slutligen skickar störaren signalerna till radarsignaturen för vidareförmedling till t ex en radar. Fall 2 går i princip till på motsvarande sätt med undantag att ingen insignal behöver analyseras och tolkas.

3.5 Beslutsfattning om störning

Det är alltså centralenheten som har det övergripande ansvaret för hela störprocessen. Vilken störmetod som är lämplig att välja varierar naturligtvis från situation till situation. Detta gäller även sändning av sekvenser av störsignaler, s.k. störmönster. Deras funktionalitet och uppbyggnad redogörs för mer ingående i nästa kapitel. Man kan naturligtvis även välja att inte störa alls utan att vara tyst av t ex taktiska skäl. Vilken typ av störning som väljs vid en viss tidpunkt härrör ur beslutsstegen i Figur 9.



Figur 9 Beslutsprocess vid val av störmetod.

4 Störformer och störmönster

En viktig del i utvecklingen av GENPOD har varit utformningen av störformer och sekvenser av sådana. Målet har varit att man enkelt ska kunna lägga till ny funktionalitet samt definiera och spara nya sekvenser både vid uppstart av programmet samt under simuleringens gång vid operatörsstyrning.

Som diskuterats i kapitel 3.2.1, representeras signalegenskaper med hjälp av parametrar. En viktig parameter för just störsignaler är en textsträng för namnet på störformen i fråga – en slags identifikation. Detta är nödvändigt för att en radar ska kunna tolka störsignalen på rätt sätt, dvs. så att störeffekten kan simuleras. För varje störform sätts förutom denna identifikationstext även andra signalparametrar. Vilken eller vilka övriga parametrar som modifieras beror på störformen. Värdet av en parameter beror på situation och tidpunkt.

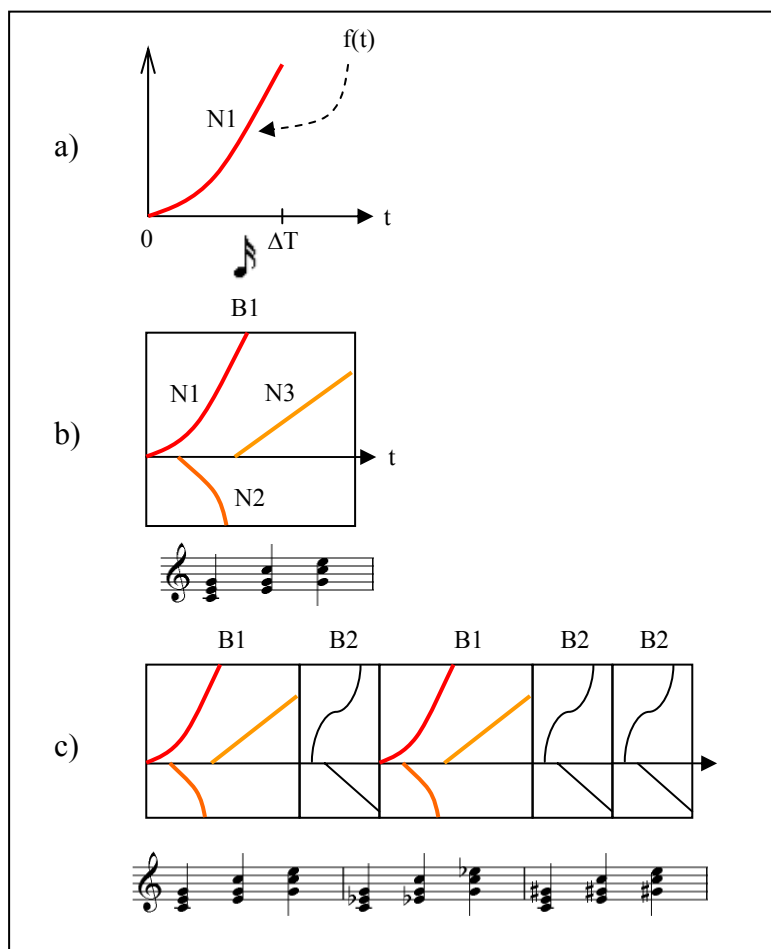
De störformer som hittills finns representerade är följande:

- **brus**
Simuleras genom att öka signalens bandbredd.
- **avståndsavhakning (RGPO – Range Gate Pull Off)**
Simuleras genom att signalens parameter för avståndsförskjutning sätts. Då effekten man vill uppnå är att successivt dra bort en radars avståndslucka, beror avståndsförskjutningen ofta av aktuell tidpunkt enligt en angiven matematisk funktion, t ex exponentiellt eller linjärt, ett s.k. svep (mer om detta nedan).
- **hastighetsavhakning (VGPO – Velocity Gate Pull Off)**
Simuleras genom att signalens dopplerfrekvens, svarande mot den relativa hastigheten, sätts. På motsvarande sätt som vid RGPO, vill man här dra bort en radars dopplerlucka, varför dopplerskiftet beror av aktuell tidpunkt enligt en angiven funktion.
- **repeterstörning RGPO**
simuleras på samma sätt som RGPO men störsignalen kopieras till lika många som antalet pulser hos den inkomna signalen
- **repeterstörning VGPO**
simuleras på samma sätt som VGPO men störsignalen kopieras till lika många som antalet pulser hos den inkomna signalen

Dessa störformer är definierade genom härledningar ur den abstrakta klassen EWRRJamTech. Då signalgeneratoren ska generera en störsignal av den typ som angivits av centralenheten, ansvarar respektive störform själv för att rätt parametrar hos ursprungssignalen modifieras enligt ovan.

I vissa situationer, t ex då en störare har identifierat signalkällan med hjälp av en hotdatabas, kan det vara av intresse att sända ut många störsignaler i en viss förutbestämd sekvens, här kallat ett störmönster. Ett störmönster anger vilka störmetoder och tillhörande värden som ska användas vid störsignalgenerering för en viss tidpunkt räknat från och med då störmönstret startades. Uppbyggnaden av ett störmönster kan liknas vid en melodi som består av takter i kronologisk ordning. Varje takt, som har en viss längd, är uppbyggd av noter som har en starttidpunkt relativt början av takten. Flera noter kan ha samma starttidpunkt. En not i sin tur består av en störform, en matematisk funktion som visar hur en för störformen karaktäristisk parameter beror av tiden, samt tidslängden för noten, det s.k. svep som omnämns ovan.

Detta sätt används ofta vid trummaskinprogrammering där små återanvändbara partier (fills, beats, etc.) sätts samman till ett slutgiltigt trumkomp. Figur 10 visar strukturen hos noter, takter och melodi.



Figur 10 Uppbyggnad av störmönster. Strukturen för a) en "störmot" (N1) med längden ΔT och den matematiska funktionen $f(t)$, b) en "störtakt" (B1) bestående av tre olika "störmot" och c) en "störmelodi" uppbyggd av fem "störtakter".

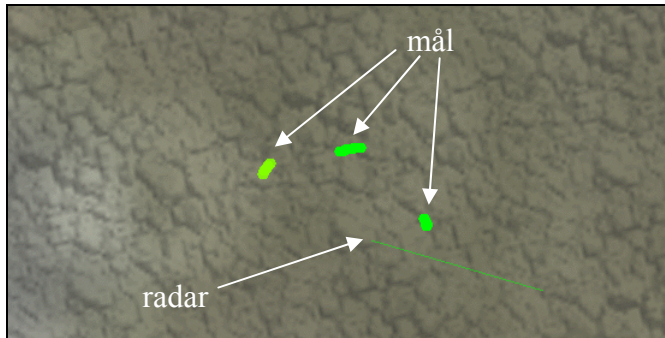
Genom att på detta sätt definiera och spara hela eller delar av störmönster kan nya lätt skapas och köras.

5 Testkörning – ett exempel

I detta kapitel presenteras ett exempel på interaktionen mellan radarstörare och radar. Då modellerna är under utveckling, både vad gäller funktionalitet och användargränssnitt, ska nedanstående bilder inte betraktas som slutgiltiga. Vidare finns för närvarande ingen tidshantering implementerad i simuleringsramverket varför effekten av sekventiell störsändning (störmönster) mot en radar inte kunnat testas fullt ut.

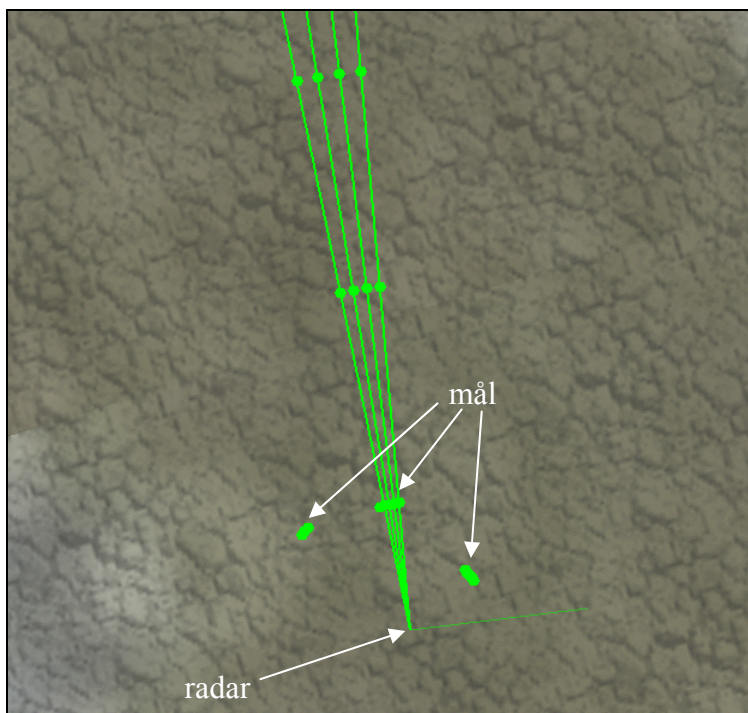
I Figur 11 visas användargränssnittet för en spaningsradar. Det aktuella scenariot består av ett fordon utrustat med spaningsradarn, samt tre andra fordon som har en radarsignatur, "mål". Spaningsradarn är riktad uppåt i bild (norrut), men har en rörlig antenn som möjliggör spaning varvet runt. Svepet från denna syns som ett svagt grönt streck nere till höger i bilden. De gröna punkterna anger vart radarn har upptäckt ett mål. Orsaken till att radarn verkar se ett

stort antal mål (flera gröna punkter vid varje verkligt mål), är antennlobens bredd som gör att samma mål ses i flera av radarns upplösningselement.



Figur 11 Användargränssnitt för en spaningsradar. Radarn ser ett antal mål. Ingen störare finns med.

I testexemplet är scenariot detsamma som ovan men med skillnaden att ett av målen nu är utrustat med en brus- och repeterstörssändare. Figur 12 visar användargränssnittet hos spaningsradarn som nu är utsatt för aktiv störning.



Figur 12 Användargränssnitt för spaningsradar. Ett av målen sänder ut brus- och repeterstörning.

Brusstörningen syns som gröna streck i de riktningar där radarn registrerat brus och repeterstörningen ses som ett antal repeterade mål bakom det korrekta. (Även här syns ett mål som flera på grund av upplösningselementens storlek.) Med lämpliga störmotmedel kan radarn upptäcka att den är utsatt för störning och motverka denna.

6 Sammanfattning

Dokumentet beskriver ett arbete som har påbörjats kring att på teknisk- och stridsteknisk nivå simulera radarstörsändare genom att nyttja återanvändbara komponenter. Utmaningar att inom radarområdet simulera telekrig i scenariot ”några mot några” diskuteras samt de olika utvecklade komponenterna och gränssnitten strukturen samt gränssnitten presenteras. En hel del arbete återstår dock innan GENPOD kan anses ”färdig”, speciellt metodiken för hur en specifik störsändarmodell framöver ska sättas samman utifrån de utvecklade generiska komponenterna.

6.1 Verifiering och validering

En enklare form av verifiering har gjorts genom att modellen har testats mot den parallellt utvecklade radarmodellen, se kapitel 5. Mycket av arbetet kring GENPOD handlar om metodik kring modellstrukturer och har i detta skede koncentrerats till att bygga samman välkända modellfunktioner. Någon validering i detta skede kan därför anses onödig.

6.2 Fortsatt arbete

Det komponentbibliotek och den struktur för simulering av radarstörare som presenteras här, är på intet sätt komplett eller ”färdig”. Detta arbete kan ses som grunden till fortsatt utveckling av en mer komplex struktur gällande såväl radarstörarens inre struktur, som definitionen av olika störformer.

Förslag på utvidgning är t ex

- mekanism för att sätta samman komponenter i form av dll:er till en modell
- ”culling” funktioner för att minimera interaktionerna mellan radar- och störsändarmodeller
- fler störformskomponenter bland annat för att simulera:
 - korrelerad RGPO/VGPO, där den fiktiva hastigheten verkligen är derivatan av det fiktiva avståndet
 - cross-eye störning
- inkludera hotdatabas som stöd i beslutsprocessen vid störning
- störformseditor
- koppling till operatör

7 Referenser

- [1] Lars Tydén *et al.*
”Lägesrapport. Duellsimulering med nätverksbaserade sensor- och telekrigfunktioner.”
FOI Memo 1085 (2004)
- [2] Design och implementation av spanings- & eldledningsradar sker inom FOI-projektet Duellsimulering Telekrig (2004/2005).
- [3] Edward J. Chrzanowski
”Active Radar Electronic Countermeasures”
Norwood, MA: Artech House, Inc. (1990)
ISBN: 0-89006-290-0
- [4] Richard J. Wiegand
”Radar Electronic Countermeasures System Design”
Norwood MA: Artech House, Inc. (1991)
ISBN: 0.89006-381-8