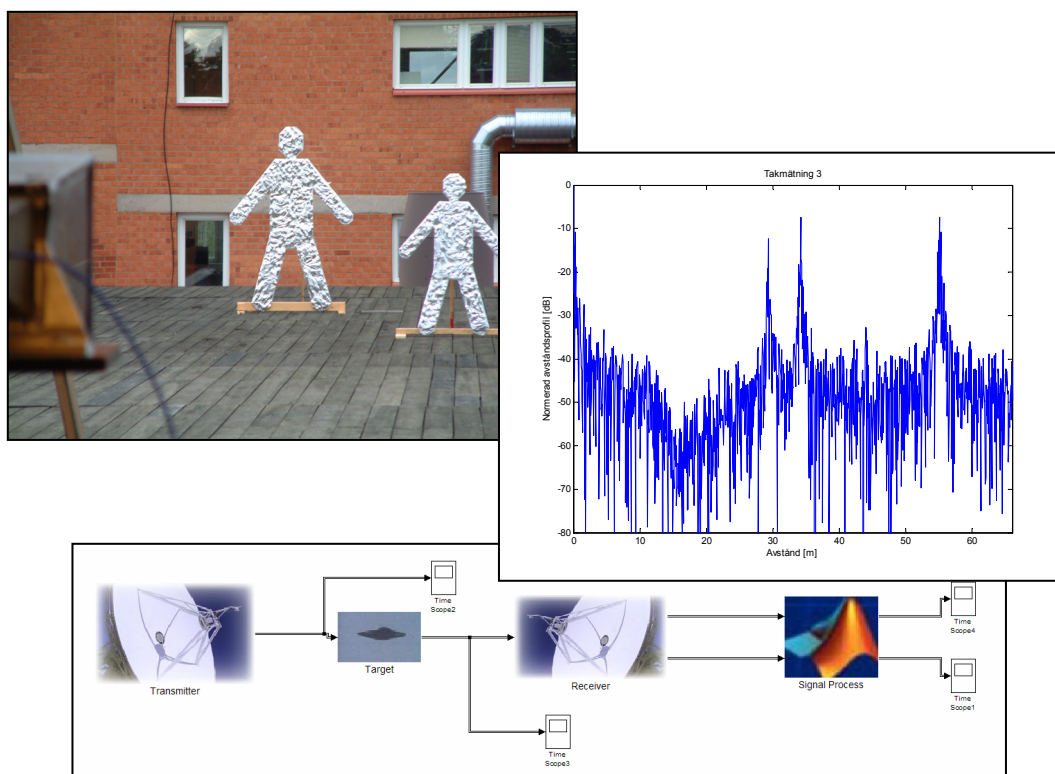


Slutrappport för projektet "Inledande studie av Brusradar"

Mikael Karlsson, Anders Nelander,
Rahman Aljasmi



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
Sensorteknik
Box 1165
581 11 Linköping

Tel: 013-37 80 00
Fax: 013-37 81 00

www.foi.se

Mikael Karlsson, Anders Nelander,
Rahman Aljasmi

Slutrapport för projektet "Inledande studie av Brusradar"

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1878--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 4. Ledning, informationsteknik och sensorer	
	Månad, år December 2005	Projektnummer E3055
	Delområde 42 Spaningssensorer	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Mikael Karlsson Anders Nelander Rahman Aljasmi	Projektledare Mikael Karlsson	
	Godkänd av Lena Klasén	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Slutrapport för projektet "Inledande studie av Brusradar"		
Sammanfattning Detta projekt har pågått under tre år och avslutas i sin nuvarande form från och med årsskiftet 2005-2006. Det första året genomfördes en studie av grundläggande teori för brusradar. Under det andra året gjordes ett experiment för att påvisa funktion och till viss del realiserbarhet för brusradarsystem med digital mottagarkanal. Detta års arbete har innefattat framtagning av en metod för simulering av elektroniken i sändar- och mottagardelar, för att effektivisera systemdesign och konstruktion av eventuella framtida brusradarsystem. Verktöget RF-toolbox i kombination med RF-blockset till Simulink (Matlab) har utvärderats för detta syfte. Resultaten är lovande men handhavandet har inte varit helt problemfritt, varför ett fullständigt förslag på design ej kunnat utvärderas i alla detaljer. Förutom simuleringar var medel avsatta till att medverka i och genomföra arbetsinsatser relaterade till den arbetsgrupp för brusradar som nyligen startats inom NATO.		
Nyckelord brusradar, simulering, RF toolbox, RF blockset		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 20 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1878--SE	Report type User report
	Programme Areas 4. C4ISTAR	
	Month year December 2005	Project no. E3055
	Subcategories 42 Above water Surveillance, Target acquisition and Reconnaissance	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Mikael Karlsson Anders Nelander Rahman Aljasmi	Project manager Mikael Karlsson	
	Approved by Lena Klasén	
	Sponsoring agency Swedish defence forces	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Final report from the project "Introductory Study of Noise Radar"		
Abstract This project has been going on for three years and is terminated in its present form at the end of 2005. In the first year, a study of fundamental theory for noise radar was made. During the second year a proof of concept experiment was done in order to illustrate the function, and to a certain degree, the possibility to build noise radar systems with a digital receiver channel. This year the work has included the development of a method for simulating the electronics in transmitter and receiver parts, with the intent to improve the efficiency of system design and construction of future noise radar systems. The RF-toolbox, in combination with the RF-blockset for Simulink (Matlab), has been evaluated for this purpose. The results are promising but the handling of the product has not been without difficulties, which have had the effect that a complete suggestion for design has not been possible to evaluate in full detail. Apart from simulations resources have been reserved for participation and work efforts related to the task group for noise radar, which recently has been initiated within NATO.		
Keywords noise radar, simulation, RF toolbox, RF blockset		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 20 p.	
Price acc. to pricelist		

Innehåll

1	Inledning	6
2	Funktion och egenskaper	7
2.1	Brusradar i SAR-system.....	8
3	”Proof of Concept” försök	10
4	Simuleringsmetod för design av brusradarsystem	12
4.1	RF-toolbox	12
4.2	RF-Blockset.....	12
4.3	Modellering av ett brusradarsystem	13
4.4	Slutsatser	14
5	Medverkan i arbetsgrupp inom NATO	15
6	Slutsatser och fortsatt arbete	18
6.1	Fortsatt arbete.....	19
	Referenser	20

1 Inledning

Denna rapport sammanfattar den verksamhet som bedrivits inom projektet ”Inledande studie av Brusradar” från 2003 till 2005. Målet med projektet har varit att sammanställa grundläggande teori för funktion och prestanda hos ett brusradarsystem, samt att om möjligt verifiera teorin med experiment och simuleringar.

Under 2003 gjordes en genomgång av teori för brusradar, realiserbarhet undersöktes och ett antal användningsområden presenterades [1]. Vidare beskrevs hur verifierande experiment kan genomföras och en kortfattad redogörelse gavs för hur brusradarteknik kan användas i system med syntetisk aperturradar.

Under 2004 fokuserades arbetet på en mindre teoretisk utredning av brusradar i SAR-system och ett ”proof of concept”-försök med avsikt att verifiera realiserbarheten för brusradarsystem med digital mottagarkanal [2].

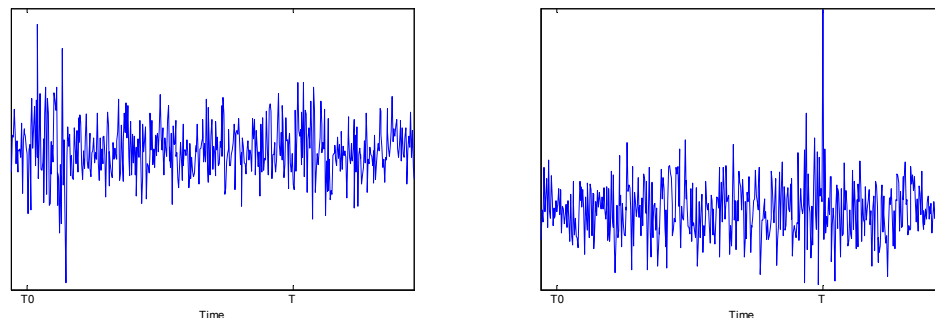
Under året har verksamheten varit inriktad på att ta fram verktyg för simulering av brusradarsystem på komponentnivå. För att kunna optimera konstruktionen av ett brusradarsystem behöver alternativa systemlösningar utvärderas på ett kostnadseffektivt sätt, vilket simuleringar kan medge.

En större del av verksamheten under 2005 var ämnad att användas för medverkan i arbetsgruppen ”NATO RTO Task Group SET-101 Noise Radar Technology”. På grund av förseningar i uppstarten av denna grupp har dock endast ett inledande möte hållits. Det har medfört att ingen signifikant verksamhet initierats från detta engagemang.

2 Funktion och egenskaper

Den grundläggande parameter som styr upplösningen i avståndsled för en radar är bandbredden, d.v.s. det frekvensintervall den utsända signalen upptar. En radar arbetar normalt med en noggrant genererad syntetisk signal, som då medvetet skapas för att på ett systematiskt sätt svepa över ett stort frekvensområde. Detta kan göras antingen med flera pulser (stegad frekvens) eller i en puls (pulskompression). En mycket vanlig pulskompressionsmetod är att helt enkelt svepa linjärt över spektrumet i en puls, vilket kallas för linjär frekvensmodulerad pulsform (LFM). Denna signalgenerering måste göras noggrant och utgör en vital och kostsam del i ett radarsystem.

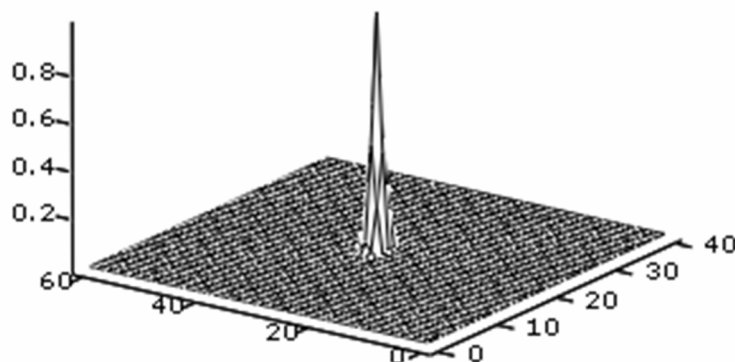
Brusradartechniken eliminerar den syntetiska signalgeneratoren och arbetar i stället med en betydligt enklare och billigare brusgenerator. Denna genererar antingen ett bredbandigt brus direkt på den avsedda systemfrekvensen, alternativt blandas lågfrekvent brus upp och används som utsignal. Den utsända signalen kommer då att uppta *större delen* av frekvensområdet under *hela* pulsen, vilket t.ex. en LFM-puls inte gör. Detta faktum medför att signalen i större utsträckning smälter in i bakgrundsbruset, att den blir svårstörd och att den blir mer robust mot flervägsutbredning.



Figur 1: T.v. En bruskodad puls sänds ut vid tiden T_0 . Ett eko med SNR 0 dB, finns vid tiden T . Det är här mycket svårt att urskilja målekot. T.h. Efter korrelation med den utsända pulsformen, kan målekot tydligt identifieras (sändpulsens vid T_0 är avlägsnad).

För att detektera ekon från målsceen i den mottagna signalen, lyssnar man av den utsända brussignalen och lagrar en kopia lokalt. Denna kopia korreleras sedan med den mottagna signalen, varvid en högupplöst avståndsprofil av scenen erhålls, se Figur 1. I system med analog teknik måste kopian av signalen lagras, eller mer korrekt uttryckt, tidsfördröjas analogt, vilket är svårt att göra utan att distordera signalen. Dessutom är det besvärligt att göra detta för en sekvens av olika tidsfördröjningar, vilket krävs för att skapa en avståndsprofil av scenen. Med digital teknik görs detta betydligt enklare och med full flexibilitet i parameterinställningar, såsom antal avståndsluckor, minsta avstånd etc.

En annan egenskap hos radarsystem med unikt kodade pulser, såsom brusradar, är att ingen tvetydighet i doppler och avstånd uppstår. I traditionella system fås tvetydighet p.g.a. att olika pulser har samma utseende och därmed inte kan skiljas åt, vilket begränsar och försvårar konstruktionen av radarsystemet. Detta problem är särskilt påtagligt då områden på längre avstånd skall avsökas samtidigt som dopplerinformation eftersöks, eftersom detta ger motstridiga krav på systemets pulsrepetitionsfrekvens (PRF). Det är betydligt enklare att hantera detta i ett brusradar system, eftersom entydighet i både doppler och avstånd kan erhållas samtidigt, se Figur 2.



Figur 2: Tvetydighetsdiagram för faskodad brusradar. Ingen tvetydighet fås p.g.a. att varje puls är unikt kodad. Med lämplig utformning av systemet och signalbehandlingen erhålls även låga sidlobber i både avstånd och doppler.

Det är fullt möjligt att realisera SAR (syntetisk aperturradar) med ett brusradarsystem. I litteraturen finns exempel på system med hög upplösning men med vissa begränsningar p.g.a. den analoga signalbehandlingen, som nämnts ovan. Ett intressant resultat från studier som gjorts med brusradar för SAR, är att störfastheten hos ett sådant system är bättre än för ett system baserat på t.ex. traditionell LFM-teknik.

De teknikframsteg som idag möjliggör konstruktion av praktiskt användbara brusradarsystem är bl.a. nya analog till digitalomvandlare, snabba minnen och kraftfulla processorer. Kostnaden för ett brusradarsystem ligger främst i den processorkraft som krävs för signalbehandlingen, men för de flesta tillämpningar finns det med dagens teknik lösningar att tillgå till en rimlig kostnad.

2.1 Brusradar i SAR-system

Brusradartekniken medger användning i radarsystem med syntetisk apertur. I sådana system används en kontrollerad förflyttning av en liten fysisk antenn för att skapa en syntetisk stor, eller mer korrekt uttryckt, bred antenn. Anledningen till att man gör på det viset är att en bred antenn ger en smalare lob och därmed avsevärt bättre upplösning i radarbilden. Den sträcka den mindre antennen flyttas kallas apertursträcka och är ofta flera hundra meter lång, beroende på vilket avstånd från scencentrum systemet spanar.

För att erhålla en så skarp och brusfri SAR-bild som möjligt, bör man använda mycket välkontrollerade signalformer. Vanligtvis används linjärt frekvenssvepta pulser (LFM), vilket ger ett ”platt” spektrum inom den använda bandbredden och därmed så god bildkvalitet som möjligt. Denna diskussion talar ju emot att använda bruskodade pulser i SAR-system, men faktum är att så snart ett SAR-system utsätts för störning, degraderar bildkvaliteten betydligt snabbare för ett LFM-system än för ett system med brusradarteknik [3].

I [2] finns bl.a. en teoretisk utredning av hur brusradarteknik påverkar den för SAR-system intressanta storheten ”integrerade toppsidlobsförhållandet” (PSLR_i) för olika systemparametrar. Följande ekvation gäller för denna storhet

$$\text{PSLR}_i = \frac{\eta c \lambda \tan(\phi)}{2V \theta_{az} \theta_h R} \quad (1)$$

där η är arbetsfaktorn hos den pulsade brussignalen, c är ljushastigheten, λ är våglängden, ϕ är depressionsvinkeln, V är SAR-plattformens hastighet, θ_{az} och θ_h är antennlobvidden i azimut respektive elevation och R är avståndet till centrum av målområdet.

För ett flygande SAR-system baserat på brusradartechnik med parameteruppsättningen:

- signalverkningsgrad $\eta = 0.4$
- elevationsvinkel $\phi = 0.3$ rad
- avstånd $R = 25$ km
- våglängd $\lambda = 0.03$ m
- lobavtryck $\theta_{az}\theta_h = 0.002$ sterad
- flyghastighet $V = 100$ m/s

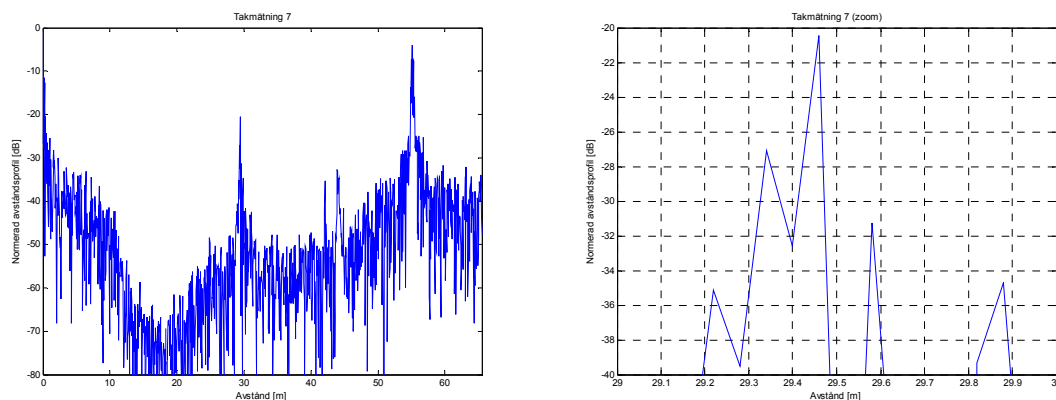
ger ekvation (1) $\text{PSLR}_i = 20$ dB, vilket är fullt tillräckligt för att erhålla bra SAR egenskaper.

3 ”Proof of Concept” försök

Under vecka 38 och 39 2004 genomfördes försök med brusradar vid FOI Radarsensorers laboratorium i Linköping. Detta avsnitt redogör för mätningens utförande, mätkonfiguration, samt preliminära resultat. Det som möjliggjorde genomförandet av denna mätning till en låg kostnad var möjligheten att låna delsystem från FOI Radarsensorers ARKEN-utrustning, tillsammans med diverse lösa delar och instrument.

Målet med dessa mätningar var att påvisa att brusradar fungerar och att man kan använda digital signalbehandling för att erhålla ett flexibelt och väl fungerande radarsystem. Det data som insamlats kan även användas till att utvärdera en del teoretiska resultat, men det ligger utanför ramen för denna rapport.

I Figur 3 visas den avståndprofil som erhöles vid mätning mot en reflektor utplacerad vid ca 30 m. Reflektorns målarea för det använda frekvensbandet (Ku-bandet) $\sigma_{Ku} \approx 2,6 \text{ m}^2$.



Figur 3: T.v. avståndprofil från mätning mot reflektor på $2,6 \text{ m}^2$ utplacerad vid ca. 30 m. Resultatet är plottat i dB relativt referenssignalens korrelationsvärde. T.h. visas returen från reflektorn inzoomad.

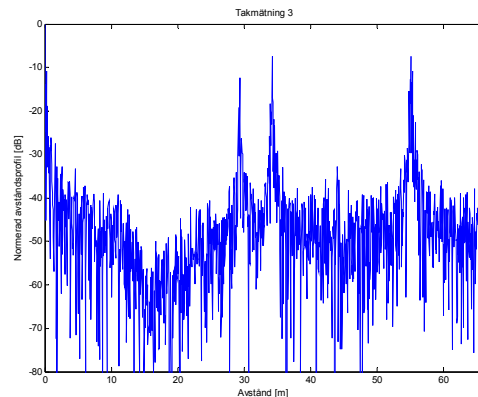
Avståndet till reflektorn mättes med måttband till 27 meter. På grund av fördröjningar i sändardelen i systemet, kablar till och från antenner etc., fås ett konstant avståndsfel i systemet, vilket med dessa data kan uppskattas till ungefär 2,4 m.

Den topp som återfinns vid ca. 55 m härrör från väggen på huskropp Q, se bilden till vänster i Figur 4. Det finns även två mindre ekon mitt emellan reflektorn och väggen. Dessa kommer troligen från den tunna och det staket som finns i slutet av mätsträckan på huskropp E. Tunnan skymtar fram bakom den mindre träfiguren i bilden i Figur 4 och staketet syns längst till höger. Den låga signalnivån vid ca 15 m härrör från den lilla marginal som lagts in mellan sändpulsens bakkant och tidpunkten då mottagaren kopplas in.

Från högra grafen i Figur 3 kan avståndsupplösningen i systemet uppskattas till ungefär 2 dm eller bättre beroende på hur man tolkar ”dubbeltoppen”. Den teoretiska upplösningen ett system med bandbredden 900 MHz är ungefär 0,17 m.

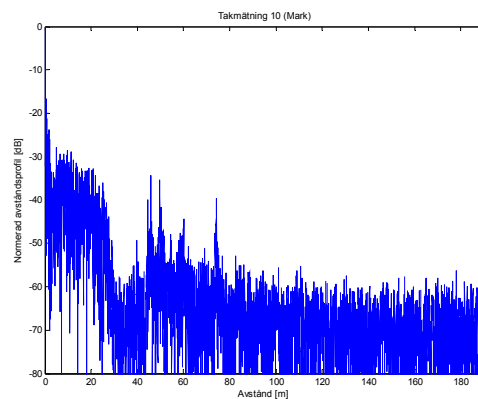
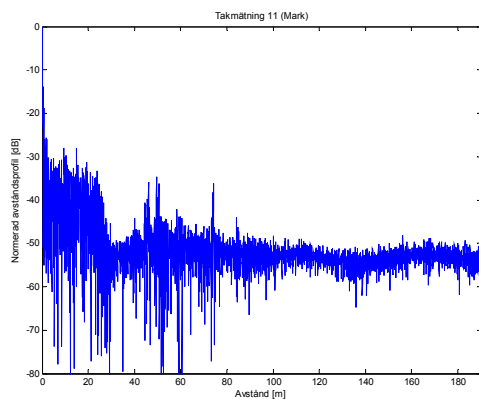
Till höger i Figur 4 återfinns den avståndprofil som uppmättes av den scen som visas i bilden till vänster. Scenen består av två metallfoliebeklädda träfigurer utplacerade på ett avstånd av 27 respektive 32 m och den främre är något mindre än den bakre. Figureerna är bara några centimeter tjocka och ger mycket distinkta ekon i avståndsprofilen. Man kan här lägga märke till att ekot från väggen bakom ger ett något bredare eko än de två figureerna. Denna breddning beror med största

sannolikhet på fönstren och på den lufttrumma som finns monterad på väggen. De två svaga ekona från staketet och tunnan dränks här nästan helt av bruskällans sidlobber från de två träfigurerna.



Figur 4: T.v. Två metallfolieklädda träfigurer av olika storlek är utplacerade på olika avstånd från sändaren. T.h. Figurerna återfinns i mitten av avståndsprofilen i form av två toppar. Toppen längst till höger är vägen på huskropp Q.

Vid mätningen mot markscenen stod det snart klart att den begränsade uteffekten inte var tillräcklig för att erhålla bra resultat. Sändareffekten var ungefär $12 \text{ dBm} \approx 15 \text{ mW}$ och i detta fall var effektiviteten i det utsända pulståget $2/15 \approx 13 \%$, vilket ger en medeleffekt på ungefär 2 mW .



Figur 5: T.v. avståndsprofil erhållen vid mätning rakt ut genom fönstret. Antennen var i detta fall riktad så högt att inget, eller mycket lite, av marken var belyst. T.h. erhållen avståndsprofil mätt i ungefär samma azimutriktning, men med antennen riktad mot marken.

Vid mätningen studerades den mottagna signalen på oscilloskopet och det tycktes då inte finnas någon signal synlig i rådata över huvud taget. Dock framgår klart av avståndsprofilerna i Figur 5 att markreturen ligger precis i det erhållna brusgolvet. En intressant egenskap hos brusradarsystem är att då antalet sampel ökar avtar variansen i den framkorrelerade avståndsprofilen dubbelt så fort utanför korrelationens ”huvudlob” som i den. Det innebär att i de avståndsluckor där det inte finns något signaleko minskar variansen, dubbelt så fort jämfört med de luckor där det finns signal. Denna effekt är klart synlig vid en jämförelse av de två graferna i Figur 5.

4 Simuleringsmetod för design av brusradar-system

För att designa bredbandiga radarsystem ”för hand” med höga krav på känslighet, sidlobsnivåer m.m. till en så låg kostnad som möjligt, krävs goda kunskaper och erfarenhet av RF-komponenter och hur dessa kan integreras i en komplett mottagarkanal. Utvecklingen av nya komponenter i kombination med låg omsättning på system gör att det är svårt att hålla de nödvändiga kunskaperna aktuella från ett systembygge till ett annat. Följden av det blir att man antingen tvingas välja äldre komponenter vars egenskaper man känner till eller så får man acceptera en del experimenterande och omarbetningar under byggandet. Detta är särskilt riskabelt vid konstruktion av ett brusradarsystem, eftersom det i flera avgörande punkter avviker från vad som krävs av ett ”normalt” radarsystem, som vi normalt arbetar med. Det är då främst den stora momentana bandbredden som ställer en del nya krav och som gör att designen av systemet kräver lite mer omsorg.

4.1 RF-toolbox

För att försöka hitta ett sätt att hantera det ovan beskrivna problemet, har projektet under året undersökt möjligheten att använda RF-toolbox [4] till Matlab, i kombination med Simulink och RF-Blockset, för att simulera de analoga komponenterna såsom förstärkare, blandare, filter, AD-omvandlare etc. RF-toolbox (Radio Frequency toolbox) är en relativt ny toolbox till Matlab för simulering av komponenter i frekvens domänen.

RF-toolbox innehåller klasser för att modellera kretsar och nätverk med följande objekt

- Passiva nätverk
- Förstärkare och blandare
- Transmissionsledning: coaxial, co-planar vågledare, generell transmission, microstrip, parallel-plate och two-wire
- SeriesRLC shuntRLC kretsar
- LC filter: LC lågpass pi, LC bandpass tee, LC bandspärr pi, LC bandspärr tee, LC högpass pi, LC högpass tee, LC lågpass pi och LC lågpass tee
- Nätverk: kaskad, hybrid, parallell och serie.

Det går att definiera nya kretselement från datafiler från tillverkaren och simulera komponenterna i designen innan man beslutar om man ska använda just de komponenterna eller ej. Det är således möjligt att prova komponenter med varierande parametrar och prestanda och göra kostnads-effektiva lösningar.

4.2 RF-Blockset

RF-Blockset är ett tillägg till Simulink (som är ett tillägg till Matlab för tidskontinuerliga simuleringar) och är ett verktyg för att simulera och analysera t.ex. kommunikationssystem på radiofrekvens. RF-Blockset använder RF-toolbox och använder de data som genereras av toolboxen. Simuleringarna i RF-blockset görs dock i tidsdomänen. Paketet använder två olika kategorier av block:

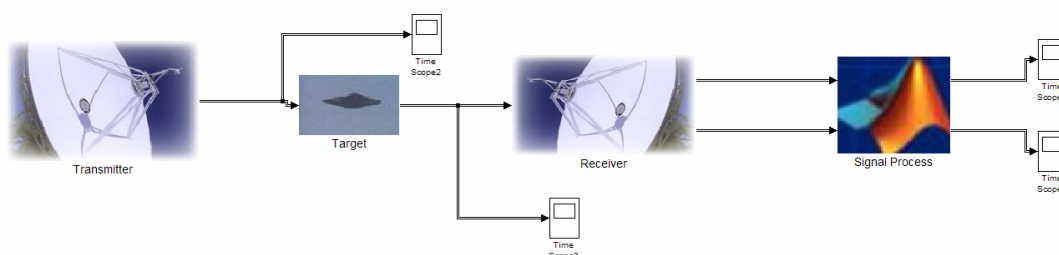
- Fysikaliska block. RF-Blockset karaktäriserar RF-komponenterna i termer av nätverks-parametrar och konstruerar en modell för ett RF-system från dessa.

- Matematiska block. Dessa block beskriver varje komponents beteende i matematiska termer.

4.3 Modellering av ett brusradarsystem

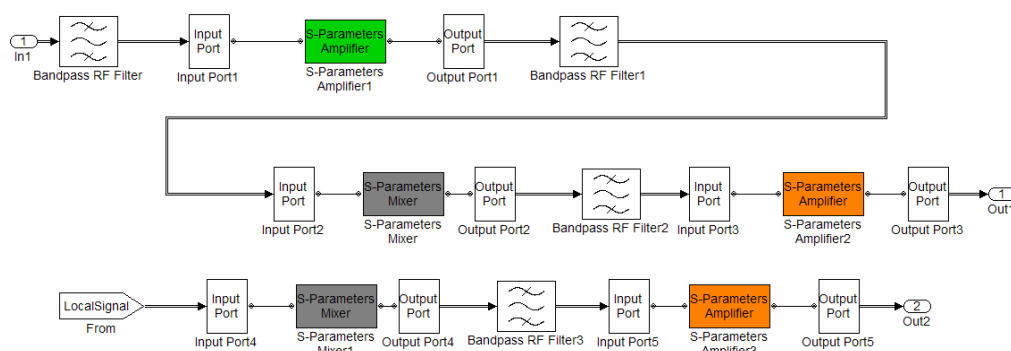
För att utröna om RF-toolbox och RF-Blockset är användbara för de syften vi har med modelleringen och simuleringen, så skapades en försöksmodell av ett tänkt brusradarsystem. Som inspiration har de föreslagna designerna från 2003, i kombination med mätsystemet från 2004 års experiment, använts.

Figur 6 visar den övergripande strukturen i modellen. Sändaren har modellerats utan komponenter från RF-blockset, liksom signalpropageringen i luften, målinteraktionen och den avslutande signalbehandlingen.



Figur 6: Övergripande blockschema som illustrerar modellens huvudkomponenter.

Således är det mottagarkanalerna som innehåller de intressanta delarna, se Figur 7. Denna är uppdelad i två parallella kanaler som är identiska från slutet fram till ”Input port2” i den övre kanalen. Denna uppdelning är gjord för att simulera den avlyssning av den utsända signalen som krävs i ett brusradarsystem. Indata till denna avlyssningskanal kortsluter naturligtvis transmissions och målinteraktionen, vidare går den ej heller genom den initiala filtreringen i antennen, ”Amplifier1” och ”Bandpass RF Filter1”. Blandarna (”Mixer” och ”Mixer1”) är identiska i de två kanalerna, liksom resten av de efterföljande komponenterna. Den vitala ”analoga” komponent som inte finns med i denna del är AD-omvandlaren, denna komponent återfinns i signalbehandlingsblocket.



Figur 7: Detaljerat blockschema av den modellerade mottagarkanalerna.

Genom att parametersätta de olika komponenterna i denna modell med olika komponentdata, kan man undersöka hur prestanda på mottagaren och därmed hela systemet förändras. Olinjäriteter i t.ex. blandarna kan påverka signalen och ge upphov till sidlobor m.m. Effekten av sådana olinjäriteter är svår att analysera analytiskt för brusradarsystem, varför det är av intresse att ”experimentellt” undersöka vilka effekter olika val av denna komponent får på systemets prestanda.

Vidare kan AD-omvandlarens prestanda varieras och systemets behov av t.ex. antalet effektiva bitar kan undersökas.

4.4 Slutsatser

RF-toolbox i kombination med RF-Bookset, ger möjlighet att göra undersökningar och design av brusradarsystem på ett kontrollerat och kostnadseffektivt sätt. Handhavandet av verktygen i kombination med en del buggar i nuvarande versioner, gör dock att hanteringen i alla delar ej varit smärtfri. Integreringen med de avancerade vågutbrednings- och radarmålteberäkningsprogram FOI har till förfogande, kräver en del ytterligare arbete för att fungera på ett smidigt sätt.

5 Medverkan i arbetsgrupp inom NATO

Brusradar har under senare år fått förnyat intresse i samband med ökande behov av svårupptäckt radar (LPI) och flexibla vågformsegenskaper. Den tekniska utvecklingen med bredbandiga kretsar, snabb signalgenerering och snabb signalbehandling ökar möjligheterna att realisera brusradar till låg kostnad i portabla radarsystem. Två internationella konferenser om brusradar har hållits under 2002 och 2003 i Ukraina på initiativ av Institute of Radiophysics & Electronics, National Academy of Sciences of Ukraine (IRE NASU) och Office of Naval Research (ONR). Från Sverige medverkade deltagare från Saab Bofors Dynamics och Ericsson Microwave Systems.

Under 2004 genomfördes en NATO RTO förstudie: Exploratory Team (SET-ET037) on “Noise Radar Technology” för att formulera ett programförslag till NATO RTO Sensors & Electronics Technology (SET) Panel. Två arbetsmöten hölls i Paris med svenskt deltagande från Saab, EMW och FOI. Programförslaget består av dokumenten: Technical Activity Proposal (TAP), Programme of Work (PoW) och Terms of Reference (ToR). Förslaget godkändes i SET Panel och i NATO R&T Board i mars 2005. Deltagarna i SET-ET037 kom från följande organisationer och länder:

- | | |
|--------------------|-------------|
| • Saab/FOI | Sweden |
| • DRDC | Canada |
| • Galileo Avionica | Italy |
| • DGA | France |
| • Ericsson | Sweden |
| • RTA/SET | Italy |
| • IRE/NASU | Ukraine |
| • ONRG | USA |
| • PSU | USA |
| • FOI | Sweden |
| • MoD (NL) | Netherlands |
| • FGAN-FHR | Germany |
| • PIT | Poland |

Projektet NATO RTO Task Group TG-057/SET-101 Noise Radar Technology startade under 2005 med två förberedande möten vid konferenserna IEEE 2005 Antennas & Propagation Symposium och DGON International Radar Symposium 2005. Ukraina är ”lead nation” för denna arbetsgrupp, med K. Lukin som ordförande. Det officiella startmötet för SET-101/TG-057 hölls på ONR Global i London i november 2005 och från Sverige deltog Saab, EMW och FOI. Vid mötet tillkom några nya länder och deltagare och några från SET-ET037 deltog inte av olika orsaker. Den föreslagna agendan för mötet var följande:

1. K. Lukin on the Briefing to the SET Panel on SET PBM, Oct. 2005
2. Updating of PoW, TAP, TOR aiming to make it more realistic to be implemented
3. Brief presentations by NRT groups on the progress in NRT developments
4. Discussions on the possibilities in the NR field testing
5. About organizing NRT-2006 Conference/Workshop or Special Session on NRT

Deltagarna i mötet var följande personer och organisationer:

-
- K. Lukin (Chairman) IRE National Academy of Sciences of Ukraine, UA
 - G. Tesi Galileo Avionica S.p.A., IT
 - W. Miceli Office of Naval Research Global, US
 - K. Morrison Cranfield University, UK
 - A. Stove Thales, UK
 - T. Blake BAE Systems, UK
 - W. L. Van Rossum TNO, NL
 - S. Axelsson Saab, SE
 - K. Falk Ericsson, SE
 - A. Nelander FOI, SE
 - C. Williams Bristol University, UK
 - J. Wisniewski PIT, PL
 - M.Kvasnic'ka ERA, CZ
 - U. Madar TT University, EE
 - E. Lossmann TT University, EE

Det första målet för mötet var en genomgång av det tidigare förslaget enligt:

- Technological Activity Proposal, TAP
- Terms of Reference, ToR
- Programme of Work, including a Matrix with relevant Activity Titles/Subjects organized in Work Breakdown Structure/Work Packages to be selected and developed by the participating Partners, PoW

Syftet var att starta diskussioner om Noise Radar Technology (NRT) och utveckla området och definiera State of the Art. Ett andra mål för mötet var:

- To identify the main advantages that can be done by our Task Group as an organized joint action
- To understand to which extent can be the recommendation to use the most attractive features of this technology in both military and civilian fields

Deltagande i SET-101/TG-057 sker med egen finansiering från varje land och organisation. Arbetsuppgifterna och resultaten fördelas inom gruppen för att sedan ingå i slutrapporten till SET Panel och NATO. Resultaten klassificeras enligt följande:

- The Task Group will deal with NATO UNCLASSIFIED information and NO RESTRICTION will be applied to the presentations, documents, and information sharing

Gruppen består för tillfället av de deltagande nationerna men ytterligare deltagande kan komma från NATO nationerna Estland, Frankrike, Kanada och Tyskland samt PfP nationen Ryssland.

Dokumentet TAP, ToR och PoW reviderades och arbetsuppgifterna inom PoW förtydligades. En intressematrix för olika nationers och organisationers uppgifter och ansvar reviderades. Arbetsuppgifterna inom PoW beskrivs av följande:

- Task 1. Task Leader UK: Description, comparison & generation of noise waveforms
- Task 2. Task Leader UA: Processing of noise radar returns

-
- Task 3. Task Leader SE: Capabilities of noise radar systems
 - Task 4. Task Leader UA: Required and available NRT components for radar system implementation
 - Task 5. Task Leader UA, CZ, SE: Experimental technology demonstrations
 - Task 6. Task Leader UA: System design for representative military applications

Inom varje uppgift i PoW finns ett antal deluppgifter med ansvariga i intressematrisen. Arbetet inom SET-101/TG-057 kommer huvudsakligen att genomföras under 2006 och 2007. Detta gör att fyra arbetsmöten per år måste genomföras enligt följande:

- The Second Meeting is to be held at the end of February 2006 (tentative dates are 23-24 February) in IRE NASU, Kharkov, Ukraine
- Third Meeting on occasion of the Radar Conference in Krakow, Poland on 22-24 May, 2006
- Fourth Meeting is to be held on second/3rd week of September 2006 in Sweden (Saab/Ericsson, Other TBD)
- Fifth Meeting is to be held on 1st week of December, 2006 in Florence, Italy at the Galileo Avionica Headquarter

I samband med det tredje mötet arrangeras även en Special Session on Noise Radar Technology, NRT'06 vid International Radar Symposium IRS-2006 i Krakow.

Sammanfattningsvis finns ett stort intresse inom NATO och PfP att genomföra projektet och det är en möjlighet för svenska industrier och myndigheter att föra ut sina idéer och utbyta erfarenheter inom området. Samarbetet kan ge ett väsentligt bidrag till de FOI projekt som kan finansiera deltagande i SET-101 Noise Radar Technology. Brusradar är en teknik som utlovar robusta och billiga radarsystem speciellt för korthållstillämpningar som stridsfältssradar och målsökare.

6 Slutsatser och fortsatt arbete

Detta projekt har pågått under tre år med ganska liten årlig ekonomisk volym och avslutas i sin nuvarande form från och med årsskiftet 2005-2006. Det första året genomfördes en studie av grundläggande teori för brusradar. Under det andra året gjordes ett experiment för att påvisa funktion och till viss del realiserbarhet för brusradarsystem med digital mottagarkanal.

Detta års arbete har innefattat framtagning av en metod för simulering av elektroniken i sändar- och mottagardelar, för att effektivisera systemdesign och konstruktion av eventuella framtida brusradarsystem. Verket RF-toolbox i kombination med RF-blockset till Simulink (Matlab) har utvärderats för detta syfte. Resultaten är lovande men handhavandet har inte varit helt problemfritt, varför ett fullständigt förslag på design ej kunnat utvärderas i alla detaljer.

Förutom simuleringar var det medel avsatta till att medverka i och genomföra arbetsinsatser relaterade till den arbetsgrupp för brusradar som nyligen startats inom NATO. På grund av förseningar i uppstarten av denna arbetsgrupp har dock denna del av den planerade insatsen varit liten.

Slutsatserna och erfarenheterna av arbetet som bedrivits under dessa år är bland annat att brusradarsystem med åtminstone grundläggande radarfunktioner, är möjliga att realisera med dagens teknik. Fördelarna är exempelvis

- Kraftig reduktion av tvetydighet i avstånd såväl som doppler för pulssade system, vilket ger större frihet att variera pulslängder, pulsfrekvenser etc.
- Publicerade resultat visar att brusradarsystem är mer robusta mot störning än exempelvis FMCW baserade system.
- Förenklad analog konstruktion av sändar- och mottagardelar, (men högpresterande digitaliseringsenhet och signalbehandlingsenhet krävs).
- De praktiska LPI-egenskaperna behöver utvärderas ytterligare, men brusradar, och då främst baserad på CW-teknik, är den teoretiskt bästa monostatiska LPI-radarn sett till entropin i signalen.
- Den stora tid - bandbreddsprodukten ger förutom goda LPI-egenskaper, förbättrade flervägsutbredningsegenskaper som är av intresse i främst urban miljö.
- Stor möjlighet att göra högupplösta system, inklusive system med SAR-funktion.

Några av nackdelarna och tekniska utmaningarna med brusradarsystem är

- Skapa enkla och billiga bruskällor med tillräckligt bra egenskaper.
- Beräkningskrävande, i synnerhet vid användning av doppler.
- Ger ej optimal bild- eller signalkvalité på grund av den ”orena” signalen.

Användningar för brusradarsystem kommer troligen att fokusera på lite mer korträckviddiga system eller ”krigsmoder” i större långräckviddiga system som kan sättas in som motåtgärd i störda situationer. Brusradar kan även vara mycket intressant att använda i målsökare. Varnarsystem kommer att få ett svårt klassificeringsproblem att hantera om t.ex. jaktrobotar eller luftvärnssystem utrustas med denna teknik. UAV-system kan dra nytta av denna tekniks goda LPI-egenskaper och ges möjlighet att använda SAR-sensorer med allväderskapacitet och förmåga att se genom moln etc. utan att markant öka risken för att bli bekämpade. Andra användningsområden är sensorer för urban strid.

Man kan också lägga märke till den stora uppslutning som arbetsgruppen inom NATO fått. Det visar på ett stort intresse runt om i främst Europa för denna teknik. USA har sedan flera år undersökt denna teknik, liksom Kina och Ryssland.

6.1 Fortsatt arbete

Även om detta projekt avslutas i och med denna rapport, så kommer arbetet med brusradar att fortsätta vid FOI. Två FoT-projekt har införlivat denna teknik i sina respektive verksamheter och det framtida arbetet kommer att inriktas på sensorer för urban miljö, samt målsökare och sensorer för UAV eller UCAV-system. Vidare kommer FOI:s del av Sveriges engagemang i NATO:s arbetsgrupp att fortsätta och finansieras av dessa projekt.

Det är dock inte troligt att ett kvalificerat försökssystem för brusradar kommer att kunna realiseras med den begränsade ram som kommer att vara tillgänglig för brusradar framöver. Dock kommer den simuleringsverksamhet som initierats under året att kunna användas till att genomföra avancerade teoretiska studier av brusradar och andra kodningstekniker för radar.

Referenser

- [1] Karlsson M. m.fl., ”Noise radar - An introductory study”, Linköping, FOI, User report, FOI-R--1107--SE, December 2003.
- [2] Karlsson M. m.fl., ”Brusradar - Verksamhet 2004”, Linköping, FOI, Teknisk rapport, FOI-R--1501--SE, December 2004.
- [3] Xu X. och Narayanan R.M., ”FOPEN SAR imaging using UWB step-frequency and noise radar waveforms”, *IEEE Trans. on Aerospace and Electronics Systems*, vol. 37, No. 4, pp. 1287-1299, October 2001.
- [4] Internet: <http://www.mathworks.com/products/rftoolbox/index.html>, tillgänglig 2005-12-15