

JOHAN RASMUSSEN



Foto: Pia Ericsson, FMV

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.

Systemteknik för bistatisk VHF-UHF SAR - Slutrapport

Johan Rasmusson



Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1798--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 4. Ledning, informationsteknik och sensorer	
	Månad, år December 2005	Projektnummer E3067
	Delområde 42 Spaningssensorer	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Johan Rasmusson	Projektledare Johan Rasmusson	
	Godkänd av Björn Larsson	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Johan Rasmusson	
Rapportens titel Systemteknik för bistatisk VHF-UHF SAR- Slutrapport		
Sammanfattning Syftet med projektet har varit att färdigställa och verifiera LORA – ett flygburet avbildande SAR-system som arbetar i VHF- och UHF-området.. Huvuddelen av arbetet har ägnats åt att utveckla LORAs UHF-kanal med uppgraderingar av radarelektronik, studier av funktionalitet av radarantennerna samt implementering av snabb datainsamling. En ny design av LORAs VHF-mod har gjorts och simulerats med gott resultat. Omfattande fältverksamhet har genomförts. Studier av olika koncept för SAR och GMTI i bistatiska konfigurationer har gjorts.		
Nyckelord LORA, CARABAS, SAR, GMTI, bistatisk, multistatisk, låg frekvens		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 19 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1798--SE	Report type Technical report
	Programme Areas 4. C4ISTAR	
	Month year December 2005	Project no. E3067
	Subcategories 42 Above water Surveillance, Target acquisition and Reconnaissance	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Johan Rasmusson	Project manager Johan Rasmusson	
	Approved by Björn Larsson	
	Sponsoring agency FM – Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Johan Rasmusson	
Report title (In translation) System technology for bistatic VHF-UHF SAR – Final report		
Abstract The purpose of the project has been to finalize och verify LORA – an airborne SAR system operating in the VHF and UHF frequency bands. A major part of the work has been focused on development of LORA's UHF channel. The radar electronics has been upgraded. The functionality of the antennas had been studied. Fast dataacquisition has been implemented. A new design of the VHF mode has been made and simulated with promising results. Extensive field experiments has been made. Studied of different concepts for SAR and GMTI has been made.		
Keywords LORA, CARABAS, SAR, GMTI, bistatic, multistatic, low frequency		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 19 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehållsförteckning

1. Inledning	2
2. Sammanfattning	2
3. Kort beskrivning av LORA.....	3
4. Utförd projektverksamhet	6
Säkerställande av LORA-UHFs funktionalitet	6
Status på LORA-systemet inför LORAM'04 experiment	8
Systemförslag för bistatisk SAR	9
Hårdvaruverifierande flygmätningar med LORA UHF	10
LORA datalagringsutrustning på 300 MB/s	11
Realisering av modifierad LORA VHF-mod.....	12
Koncept för bistatisk SAR	13
Slutrapport Systemteknik för bistatisk VHF-UHF SAR.....	13
5. Fortsatt arbete	13
6. Referenser	14



Foto: Montering av hörnreflektor som används vid kalibrering av SAR-mätningar i Vidsel.

1. Inledning

FOI har sedan mitten av 1980-talet arbetat med ett omfattande forskningsprogram kring lågfrekvent (< 1 GHz) bredbandig radar med tillämpningar för mark-, sjö- och lufrumsövervakning [1-18]. LORA är ett flygburet syntetisk apertur radarsystem (SAR) som arbetar inom frekvensområdet 20-90 MHz (VHF) samt 235-800 MHz (UHF) med flera olika arbetsmoder. LORA bygger vidare på det framgångsrika CARABAS-systemet. Arbetet med LORA började år 1999. Sedan dess har det nya systemet vuxit fram och finns nu tillgängligt som en flexibel plattform för metod- och applikationsutveckling.

2. Sammanfattning

Inom projektet ”**Systemteknik för bistatisk VHF-UHF SAR**” har bedrivs verksamhet för att färdigställa LORA-systemets UHF-mod och studier för att möjliggöra bistatiska mätningar med systemet. Tre omfattande mätkampanjer har genomförts i Kvarn (LORAM’04 och SEMARK hösten 2004 och 2005). Projektet har löpt under två år och avslutas 2005-12-31.

Utförd projektverksamhet under 2004 och 2005 sammanfattas i denna rapport.

Systemstudier gjordes för att identifiera kvarstående arbete med LORAs UHF-mod (200-800 MHz). Uppgraderingar gjordes av radarelektronik för att implementera UHF kanal A (400 - 800 MHz). Prov genomfördes på marken och via flygmätningar med LORA i UHF-mod över Visingsö i syfte att verifiera nyutvecklad hårdvara och mjukvara i systemet. Speciellt studerades funktionaliteten hos UHF-antennerna samt vissa omkopplare för sändande och mottagande antennelement studerats.

Under hösten 2004 genomfördes gemensamma fältförsök LORAM’04 i Kvarn tillsammans med ONERA, Frankrike. Omfattande försök gjordes då med SAR (syntetisk apertur radar) och GMTI (ground moving target indication) med det franska SAR-systemet RAMSES och LORA på samma målscenarion i Kvarn. Omfattande mängder av mätdata insamlades och är nu under bearbetning. Utbyte av data och erfarenheter pågår mellan FOI och ONERA.

Studier har gjorts för att värdera olika koncept för bistatisk SAR. Sådana försök planeras genomföras under tidsperioden 2006-2008.

En ny snabb datainsamlingsutrustning, LORA DS, (300 MB/s) har levererats till FOI från ENEA EPACT. Godkända acceptanstest har genomförts i laboratoriemiljö på FOI med LORA DS.

En ny systemstudie av LORAs VHF-mod (20-90 MHz) gjordes då den tidigare valda och realiserade designen inte uppfyllde specifikationen. En ny design av LORAs VHF-mod har gjorts och simulerats med lovande resultat. Montering av och tester av ett nytt frekvensgenereringsenhet pågår och beräknas vara färdig under januari 2006. Denna verksamhet har tyvärr fördröjts flera månader på grund av amerikanska exportrestriktioner på valda mikro vågskomponenter.

Under hösten 2004 och 2005 genomfördes fältförsök under SEMARK. LORA och flera andra sensorer samlade då in data med öppna och dolda mål samt stillastående och rörliga mål.

Verksamheten kommer att fortsätta under 2006-2008 i ett nytt projekt ”Bistatisk SAR för urban miljö”.

3. Kort beskrivning av LORA

LORA är ett flygburet SAR (syntetisk aperturradar) och GMTI (ground moving target indication) system som arbetar inom frekvensområdet 20-90 MHz (VHF) samt 235-800 MHz (UHF) med flera olika arbetsmoder. De första flygproven med LORA gjorde 2002 [19].

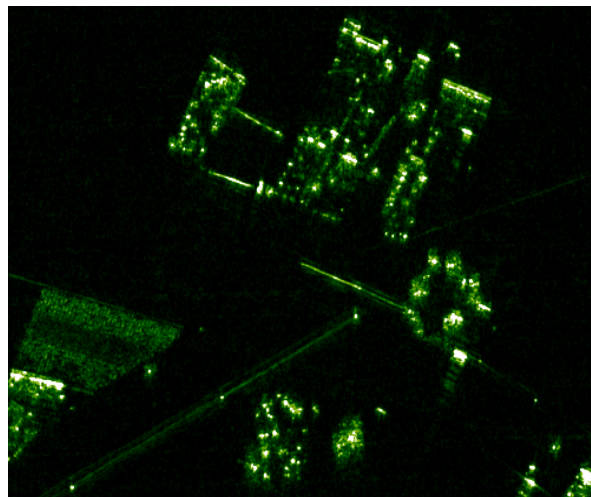
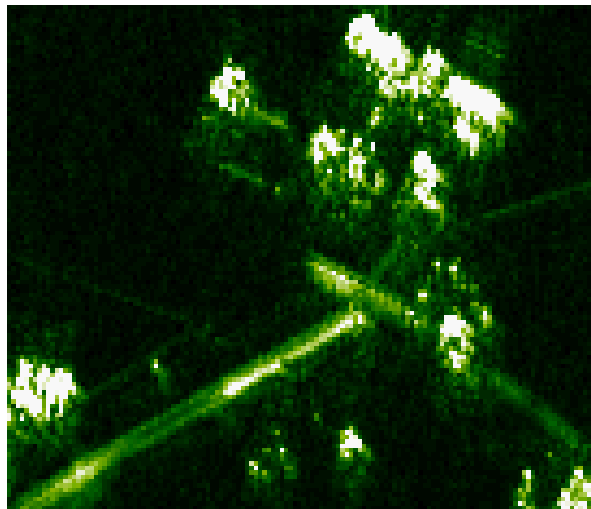


Figur 1. LORA-systemet under en testflygning med FMVs provflygplan TP86 Sabreliner. Bommarna framför flygplanet innehåller LORAs båda gruppantennor (200-400 MHz resp. 400-800 MHz). Foto: © Pia Ericson, FMV.



Figur 2. LORA-systemet hårdvara monterad i FMVs provflygplan TP86 Sabreliner.

LORAs hårdvara är installerad i fyra rackar och har en totalvikt på ca 200 kg. Systemet är under flygningar installerat i FMVs provflygplan TP86 Sabreliner och styrs av 1-2 operatörer.



Figur 3. Överst visas ett flygfoto från Visingsö av en gård. Ytan i bilden är ca 400 m x 400 m. I mitten visas en SAR.bild av motsvarande område avbildat med CARABAS (20-90 MHz) Upplösningen är ca 3m x 3m. Nederst visas en SAR.bild av samma område avbildat med LORA (220-420 MHz) Upplösningen är ca 0.7 m x 0.7m.



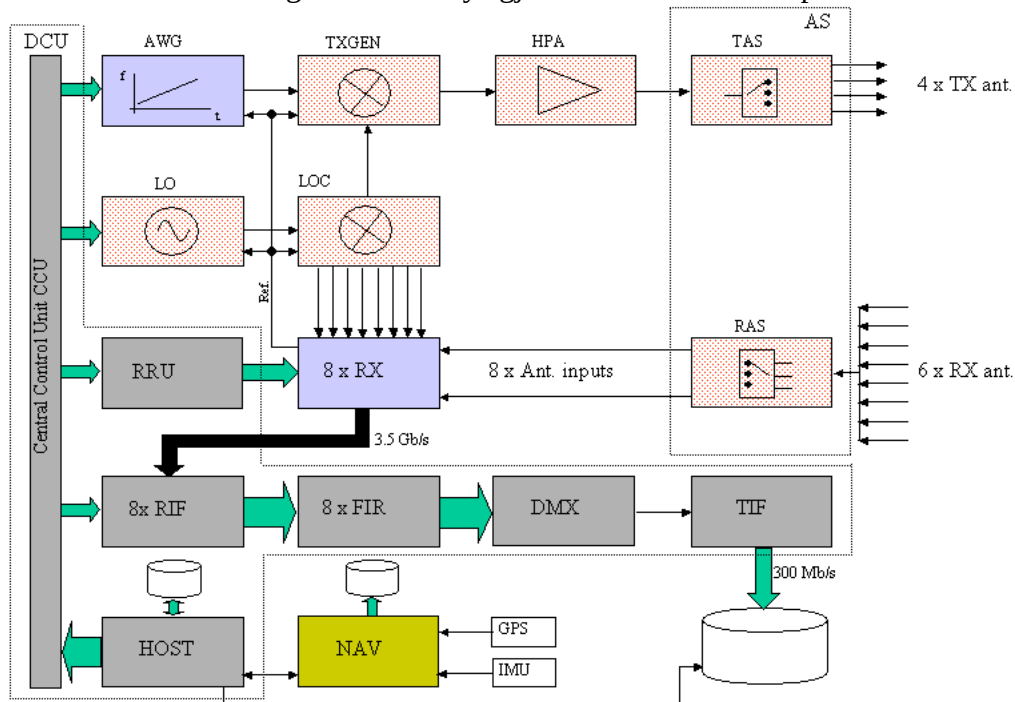
Figur 4. Överst visas en SAR-bild av Rydsområdet Linköping avbildat med LORA (222-434 MHz) hösten 2005. Bildstorleken är ca 2.4 km x 2.2 km. Upplösningen är ca 0.7 m x 0.7 m. Nederst visas en karta (från www.eniro.se) av motsvarande område.

4. Utförd projektverksamhet

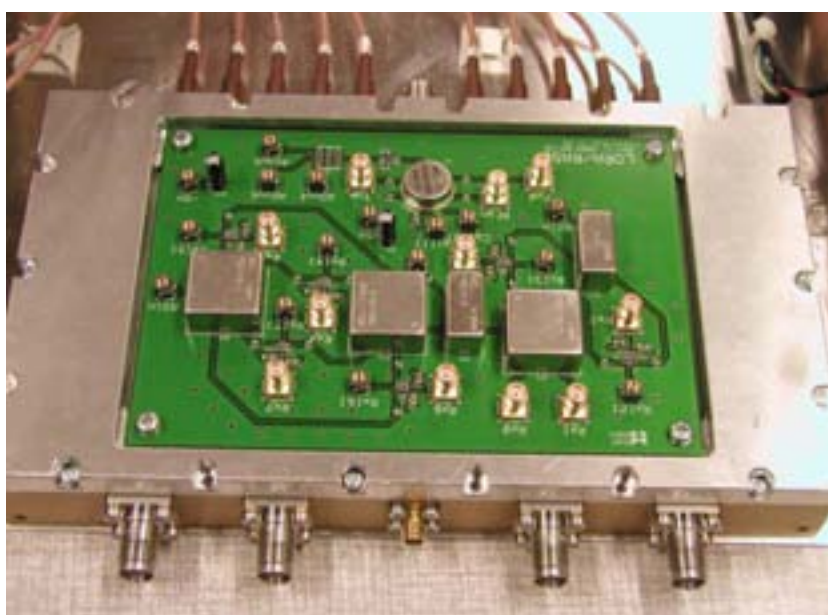
Utförd projektverksamhet från 2004 och 2005 sammanfattas i detta kapitel. Referenser till verksamheten finns i slutet av rapporten.

Säkerställande av LORA-UHF:s funktionalitet

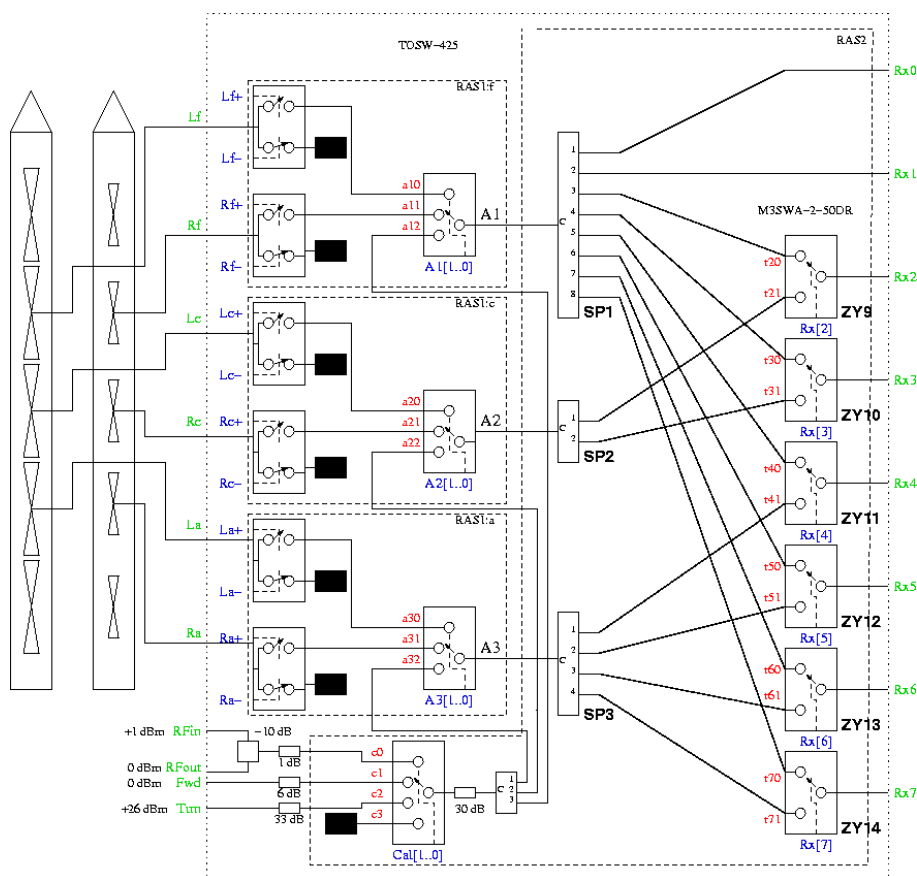
En studie [20] gjordes för att beskriva de funktioner och delsystem som återstod för LORA-UHF skall operera i planerade moder och frekvensband. En beskrivning gjordes av de delsystem av LORA-UHF som är under utveckling. En riskanalys gjordes av kritiska komponenter och delsystem togs fram.



Figur 5. Blockschemat över LORA i UHF-mod.



Figur 6. Foto på switchkort (RAS2) för inkoppling av olika antennelement i LORA.



Figur 7. Kopplingsschema för omkoppling mellan olika sändande och mottagande antennelement i LORA.



Figur 8. Antennmätning på en av LORAS gruppantennerna.

Under 2004 monterades flera switchkort och testades med nätverksanalysator för verifiera omkopplingsfunktionen mellan sändande och mottagande antennelement samt kalibreringsnät. Mätningar gjordes på LORAs antenner (200-400 MHz resp 400-800 MHz) för att bestämma ståendevågförhållande (SWR) samt läckaget mellan olika antennelement i lågfrekvens och högfrekvensantenn.

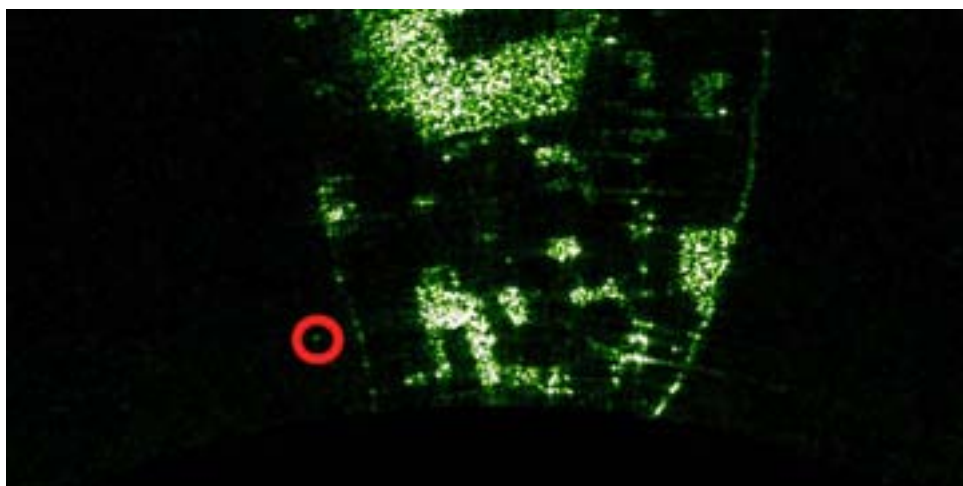
Status på LORA-systemet inför LORAM'04 experiment

En beskrivning [21] togs fram av LORA systemets status inför SAR och GMTI-flygningarna under LORAM'04. LORAM'04 är ett bilateralt experiment mellan Sverige och Frankrike som genomförde hösten 2004 i Kvarn. Namnet LORAM'04 kommer av den svenska respektive den franska utrustningen LORA och RAMSES. RAMSES är utvecklad på ONERA och är en radarsensor som är multifrekvent och polarimetrisk. Systemet kan med olika antenner monterade klara av frekvenser från 435 MHz till 95 GHz. Med multipla antenner monterade kan systemet även användas för GMTI d.v.s. detektion av rörliga markmål. Det kan konstateras att CARABAS och LORAs frekvensband 20-90 MHz respektive 235-800 MHz kompletteras mycket bra av RAMSES alla mikrovågs och millimetervågsfrekvenser.

Tester av LORA-systemet UHF-delar gjordes i labbmiljö och under flygning. Speciellt gjorde de första försöken med GMTI under flygningar våren 2004 på Visingsö. Systemet bedömdes fungera tillfredställande med smärre justeringar inför LORAM'04 experimenten”.



Figur 9. Foto av en lastbil som användes under GMTI-försök våren 2004 på Visingsö.



Figur 10. Detektion av rörligt mål. Bilden är en 10 MHz bild vid 313 MHz. Lastbilen från fotot syns i den markerade ringen.

Systemförslag för bistatisk SAR

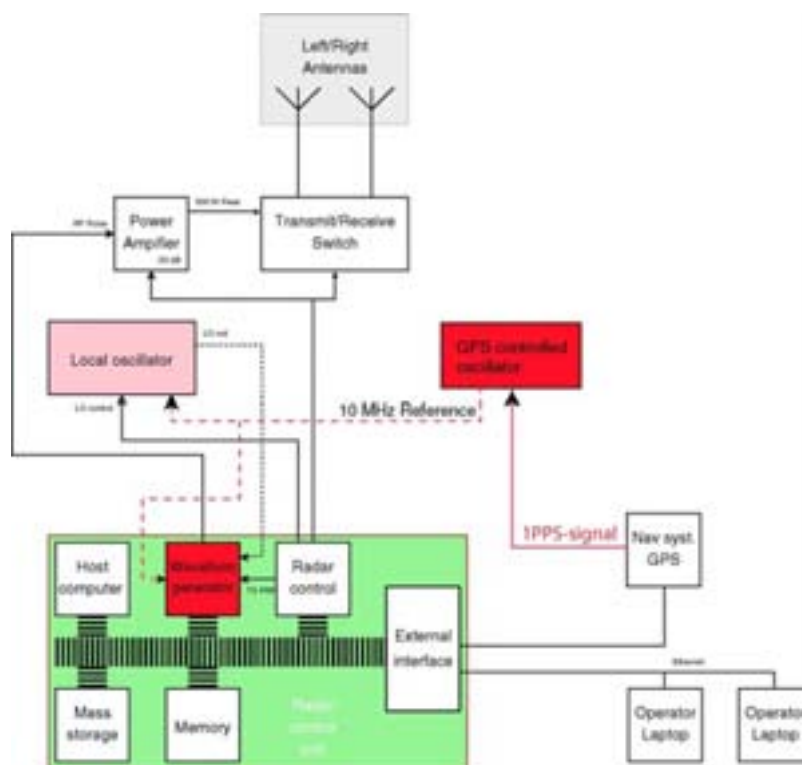
Lågfrekvent (VHF och UHF) syntetisk apertur monostatisk radar (SAR) ger god förmåga att inhämta en yttäckande marklägesbild på kort tid. Med lågfrekvent SAR kan man spana över mycket stora områden och upptäcka markmål oberoende av om de är smyganpassade, kamouflerade eller under vegetation. Nya koncept som GMTI (ground moving target indication) på de låga frekvensbanden ger goda möjligheter att upptäcka rörliga mål.

Bistatiskt och multistatiskt radarsystem (separerade sändare och mottagare) har flera potentiella fördelar jämfört med monostatisk radar:

- Bekämpning försvåras. Sändarna som är lätt att upptäcka kan placeras långt ifrån målområdet för ökad överlevnad. En eller flera små passiva mottagare kan ligga nära målområdet.
- Telekrigsåtgärder försvåras från fienden då sändare och mottagare är separerade och kan användas omväxlande.
- Elektromagnetiska simuleringar förutspår att mål-bakgrundsförhållandet ökar för vissa bistatiska konfigurationer vilket ger möjligheter till bättre klotterundertryckning och ökad räckvidden.
- Multistatisk SAR erbjuder intressanta möjligheter till förbättrad måligenkänning genom att utnyttja flera mottagare till samma sändare.

För en god SAR processning med monostatisk radar krävs att systemet har god kontroll på position, tid och frekvens. I bistatisk radar krävs samma kontroll, dock med den skillnaden att det är två plattformar där tid och frekvens också skall vara sinsemellan synkroniserade.

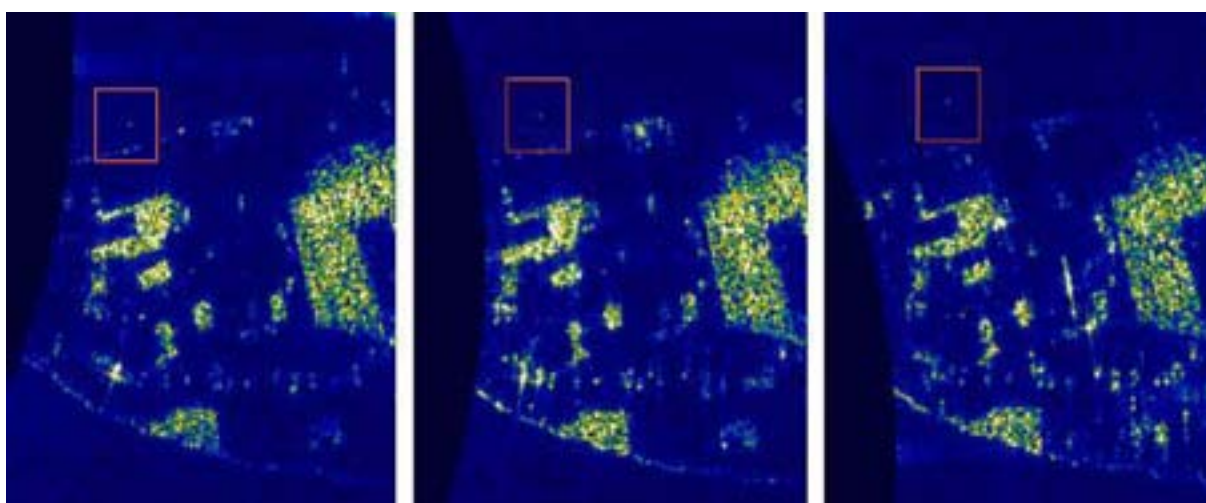
En inledande studie gjordes på hur LORA tillsammans med CARABAS kan bilda ett bistatiskt radarsystem [23]. Slutsatsen drogs att det går att bygga ett bistatiskt system som dock bör kompletteras med två GPS-styrda oscillatorer för få god synkronisering.



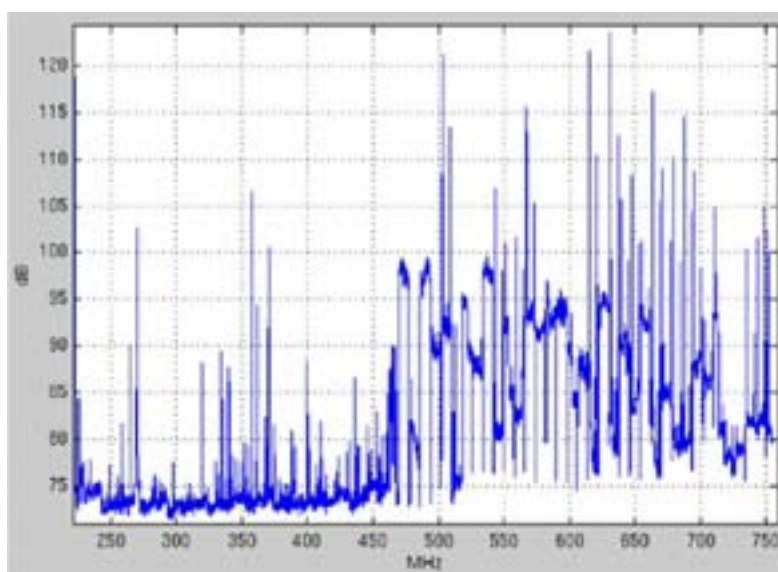
Figur 11. Förslag på en sändare baserad på CARABAS-II elektronik kompletterad med en GPS-styrd oscillator.

Hårdvaruverifierande flygmätningar med LORA UHF

Under hösten 2004 gjordes en studie [24] av SAR- och GMTI-data från flygmätningar med LORA som gjordes över Visingsö och Kvarn våren 2004. Syftet var att verifiera att systemet som helhet fungerar som det är tänkt. Speciellt ville man undersöka funktionaliteten hos systemets nyutvecklade delar för sändning, mottagning och lagring av data fungerade däribland högfrekvensantennen (400-800 MHz), omkopplare för sändande och mottagande antenner. En mängd komponenter provades i olika kombinationer. Ett annat syfte var att ta fram processerade SAR- och GMTI-bilder med lämpliga parametrar och därmed undersöka systemets mognad och förmåga att detektera rörliga mål. inför höstens mätkampanjer i Kvarn (LORAM'04 och SEMARK'04). En kartläggning av radiomiljön (radio frequent interference) i Kvarn gjordes i frekvensområdet 200-800 MHz. Slutsatser som drogs av studien ovan var att önskad funktionalitet i LORA i stort sett erhållits. Inverkan av radiomiljön måste beaktas. Processade SAR-bilder kan erhållas och GMTI-bilder fås som kan detektera rörliga mål



Figur 12. De röda kvadraterna visar tre detektioner av ett rörligt mål. Målet är en lastbil från FOI (se gärna Figur 9.) som kör längs en väg på Visingsö.



Figur 13. Radiomiljö (RFI) i Kvarn uppmätt i en ren lyssningmod med LORA. Noterbart är skillnaden mellan den lägre och högre delen av bandet. För frekvenser 450-750 MHz består de dominerande störkällorna av TV-sändare.

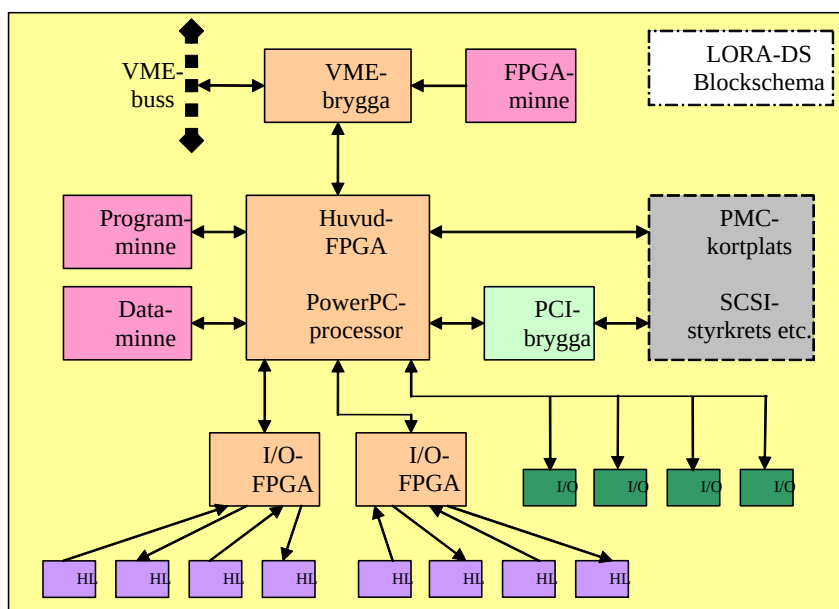
LORA datalagringsutrustning på 300 MB/s

”LORA-DS” [25] är beteckningen på en ny datalagringsenhet till LORA som levererades till FOI under hösten 2005. LORA-DS har tagits fram för FOI:s räkning av Enea Epact AB. Ursprunglig leverans av LORA-DS var planerad till kvartal 1 2005. Godkända acceptanstest har genomförts i laboriemiljö på FOI med LORA-DS men systemet har ännu ej provats under flygning vilket planeras till våren 2006.

LORAs nuvarande datalagringsystemet ”Herald” bygger ursprungligen på teknik som togs fram för att spara rådata på magnetband. Detta uppgraderades senare till ett hårddiskbaserat system, men data takten var fortfarande densamma (ca 30 MB/s). För att systemet ska kunna operera kontinuerligt krävs att radardata reduceras i omfattning med hjälp av så kallad Dopplerfiltrering, innan det når datalagringsenheten.

Tyvärr förstör denna filtrering mycket av informationen i insamlade data, vilket bland annat medför att signaler från digital-TV inte går att särskilja från radarekon. För att råda bot på detta krävs att radardata skrivs ner på disk i full hastighet. Detta innebär att LORA-DS måste klara kontinuerlig skrivning till diskarna med en data takt om ca 310 MB/s. Vidare kommer LORA-DS att markant öka det tillgängliga lagringsutrymmet till ca 1 TB.

Det tillkommer även två nya arbetslägen i LORA-DS, som inte varit möjliga i tidigare lagringssystem, nämligen möjligheten att spela upp redan inspelat material samt att även skicka vidare det data som sparas till disk. Det första läget kan exempelvis användas för att demonstrera eller verifiera realtidsbehandling i labbmiljö, eftersom man kan spela upp radardata precis så som det tagits emot direkt från mottagarna vid en tidigare flygning. Det andra läget är intressant om man till exempel vill länka ner radardata till marken via en radiolänk (som kräver datareduktion), men samtidigt ha möjlighet att bearbeta data ofiltrerat i efterhand.



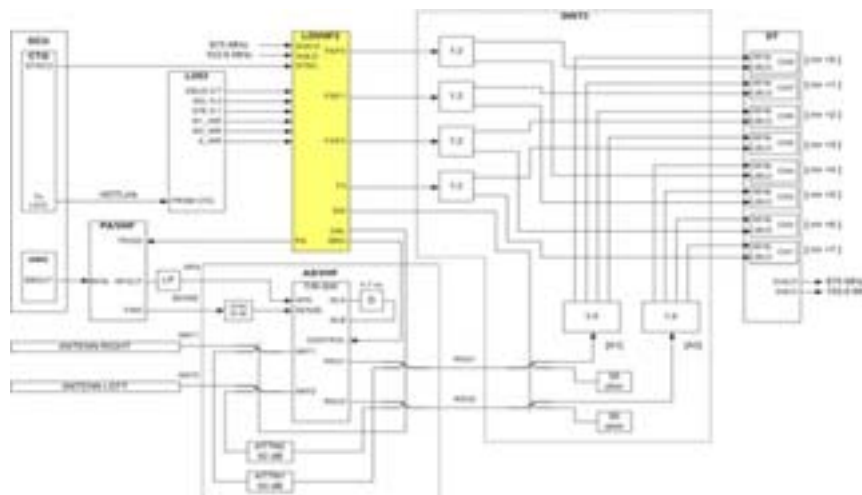
Figur 14. Blockschema över LORA-DS. Lagringssystemet består av tre huvudkomponenter: En JBOD med plats för upp till 14 hårddiskar (fördelade på två Ultra SCSI 320-kanaler), två PMC -kort med SCSI-logik samt tre så kallade DMX-II-kort.

Realisering av modifierad LORA VHF-mod

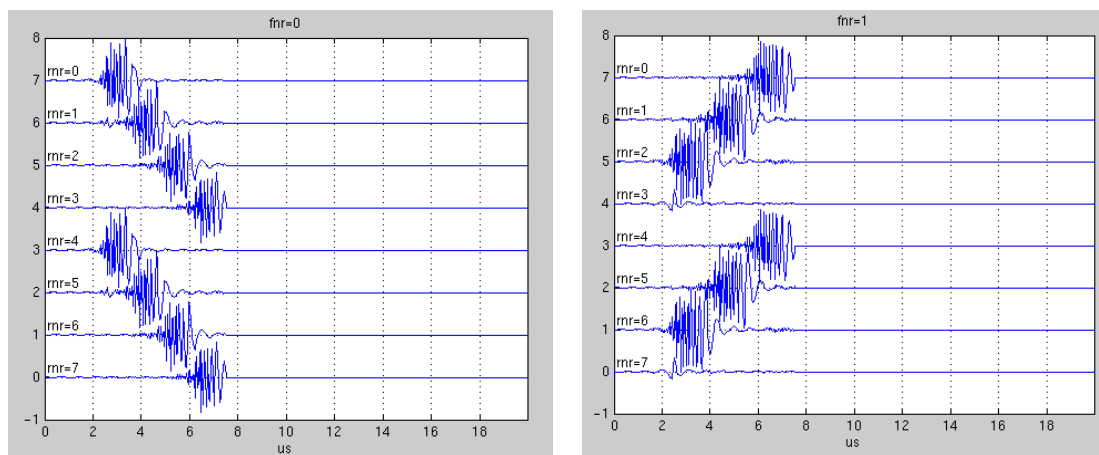
Arbete pågår under 2005 med att lägga till ytterligare ett arbetsområde för LORA, nämligen möjligheten att operera i samma våglängdsområde (VHF) som CARABAS [26]. Syftet med LORAs VHF-mod är att succesivt kunna fasa ut CARABAS-systemet och ersätta det med LORA-systemet även för VHF-mätningar. Många delsystem från CARABAS kommer att återanvändas, bland annat VHF-antennerna, medan styrelektroniken, mottagare, lagringssystem etc. är de befintliga i LORA:s UHF-konfiguration.

En viktig komponent som skiljer sig mellan VHF- och UHF-konfigurationen är en frekvensgenereringsenhet, som skall förse mottagaren med lämpliga signaler för nerblandning till basband och AD-omvandling. En ny systemstudie av LORAs VHF-mod (20-90 MHz) gjordes då den tidigare valda och realiserade designen inte uppfyllde specifikationen med avseende på stabilitet och koherens.

Designen av av en ny frekvensgenereringsenhet har simulerats med lovande resultat. Montering av och tester av ett nytt frekvensgenereringsenhet (LOVHF3) pågår och beräknas vara färdig under januari 2006. Denna verksamhet har tyvärr fördröjts flera månader på grund av amerikanska exportrestriktioner på valda mikrovågskomponenter.



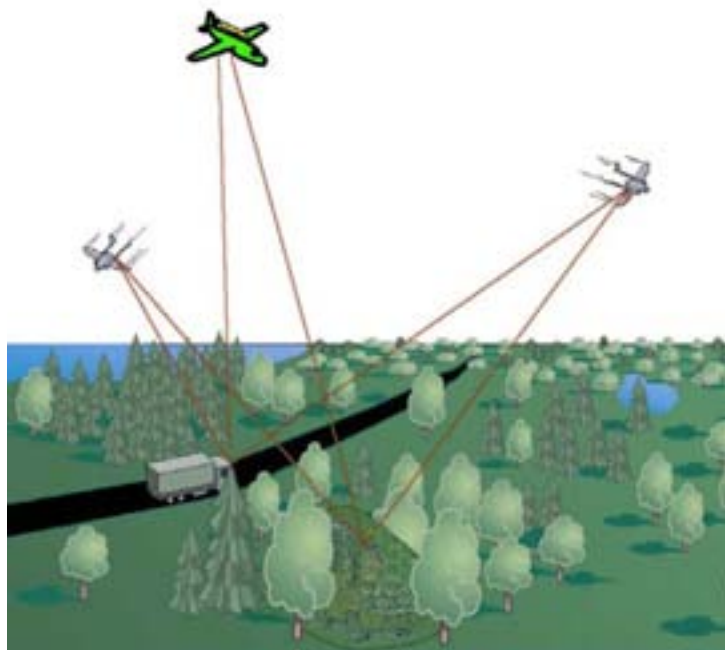
Figur 15. Blockschema över LORA i VHF-mod. Den nya frekvensgenereringsenheten (LOVHF3) är gulmarkerad.



Figur 16: Simulerade mottagarsignaler i den nya frekvensgenereringsenhet (LOVHF3).

Koncept för bistatisk SAR

En studie gjordes under hösten 2005 över några möjliga koncept för bistatisk SAR [26].



Figur 17: Illustration av bistatisk och multistatisk radar.

Slutrapport Systemteknik för bistatisk VHF-UHF SAR

Som en summering av utförda aktiviteter inom projektet "Systemteknik för bistatisk VHF-UHF SAR" togs innevarande rapport fram i december 2005.

5. Fortsatt arbete

Projektet "Systemteknik för bistatisk VHF-UHF SAR" avslutas 2005-12-31. Verksamheten kommer att fortsätta under 2006-2008 i ett nytt projekt "Bistatisk SAR för urban miljö".



Figur18. LORA-systemet under prov med FMVs provflygplan TP86 Sabreliner.
Foto: © Pia Ericson, FMV.

6. Referenser

- [1] H. Hellsten and L.M.H. Ulander, "Airborne array aperture UWB UHF radar - Motivation and system considerations," IEEE AES Systems Magazine, pp. 35-45, May 2000.
- [2] L.M.H. Ulander and H. Hellsten, "Low-frequency ultra-wideband array-antenna SAR for stationary and moving target imaging," Proc. Radar Sensor Technology IV, Orlando, FL, 8 April 1999, SPIE vol. 3704, pp. 149-158.
- [3] B. Larsson et al. "CARABAS – An airborne VHF SAR System", Proc.1996 International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, San Francisco, CA, 24-27 June 1996, Vol III pp. 365-373.
- [4] M.I. Pettersson, L.M.H. Ulander and H. Hellsten, "Simulations of ground moving target indication in an ultra-wideband and wide-beam SAR system," Proc. Radar Processing, Technology, and Applications IV, Denver, CO, 21-22 July 1999, SPIE vol. 3810, pp. 84-95.
- [5] H. Frennberg, R. Erickson, J. Lorén, and M. Alfredsson, "Design and platform integration of an airborne wideband low frequency SAR antenna," Proc. AP2000 Millennium Conference on Antennas and Propagation, Davos, Switzerland, 9-14 April 2000, ESA SP-444, 4 pages on CD.
- [6] B. Larsson "Teknisk systemverifikation av LORA systemet", FOI memo 00-6050/L, december 2000.
- [7] B. Larsson, G. Stenström, T. Jonsson "Lägesrapport för den tekniska utprovningen av LORA-systemet.", FOI memo 01-2383, juni 2001.
- [8] B. Larsson "Teknisk systemverifikation av LORA-systemet.", FOI memo 01-3988, december 2001.
- [9] B. Larsson mfl., "Lägesrapport för den tekniska utprovningen av LORA-systemet", FOI memo 02-1739, juni 2002.
- [10] M. Pettersson, "Kalibrering i LORA" teknisk rapport FOI-R--0517--SE, juni 2002.
- [11] B. Larsson, G. Stenström, T. Jonsson, L. Ulander "Konstruktionsrapport LORA.", FOI teknisk rapport FOI-R--0565--SE, september 2002.
- [12] B. Larsson, M. Blom, U. Rääf, T. Jonsson, G. Stenström, "Inledande flygburna mätningar med LORA", FOI memo 02-2387, september 2002.
- [13] B. Larsson, mfl., "Årets prov och försök, flygburet och markbundet, med LORA-systemet redovisas och analyseras.", FOI memo 02-3163, december 2002.
- [14] B. Larsson, M. Blom, U. Rääf, T. Jonsson, G. Stenström, L. Ulander, "Beskrivning av LORA VHF-mod", FOI memo 03-854, mars 2003.
- [15] B. Larsson, M. Blom, U. Rääf, T. Jonsson, G. Stenström, L. Ulander "Lägesrapportering LORA", FOI memo 03-1510, juni 2003.
- [16] B. Larsson, M. Blom, P. Follo, P-O Fröling, A. Gustavsson, T. Jonsson, M. Lundberg, D. Murdin, U. Rääf, G. Stenström, L. Ulander "Verifiering av LORA VHF-mod", FOI memo 03-2210, september 2003.

- [17] L. Ulander ” Radarsignalbehandling för SAR och GMTI - slutrapport 2003”, FOI användarrapport FOI-R--1033--SE, december 2003.
- [18] M. Herberthsson ”Systemstudier Ledningsradar - slutrapport 2003”, FOI användarrapport FOI-R--1040--SE, december 2003.
- [19] Johan Rasmusson, Björn Larsson, Martin Blom, Björn Flood, Tommy Jonsson, Anders Gustavsson, Gunnar Stenström and Lars M.H. Ulander “LORA – A new airborne imaging radar sensor”, konferensartikel till Radiovetenskap och Kommunikation, (RVK’05), Linköping juni 2005.
- [20] Mats Pettersson, Martin Blom, Gunnar Stenström, Tommy Jonsson och Ulf Rääf ” Säkerställande av LORA-UHF:s funktionalitet”, FOI memo 840, mars 2004.
- [21] Mats Pettersson, Martin Blom, Gunnar Stenström, Tommy Jonsson och Mikael Lundberg ” Status på LORA-systemet inför experimentet LORAM’04”, FOI memo 908, juni 2004.
- [22] L. Ulander, et. al., ”Experimentplan LORAM’04, FOI-rapport”, Totalförsvarets forskningsinstitut, juni 2004.
- [23] Mats Pettersson ”Systemförslag på bistatisk SAR”, FOI memo 1014, september, 2004.
- [24] Martin Blom, Magnus Herberthson, Tommy Jonsson, Mikael Lundberg, Daniel Murdin, Mats Pettersson och Gunnar Stenström ”Hårdvaruverifierande flygmätningar med LORA UHF”, FOI R--1427--SE, December, 2004.
- [25] Martin Blom, ” LORA datalagringsutrustning 300 MB/s, FOI memo 1267, mars, 2005.
- [26] Martin Blom och Gunnar Stenström, ”Realisering av modifierad LORA VHF-mod”, FOI memo 1347, juni, 2005.
- [27] Johan Rasmusson, ”Koncept för bistatisk SAR” FOI-RH--0449--SE, 2005.
- [28] L. Ulander, et. al., ” Fortsatt forskningsverksamhet inom UHF/VHF-radar”, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--0485—SE, 2002.
- [29] L. Ulander et al.” The VHF/UHF-band LORA SAR and GMTI system”, Proc. of SPIE, 2003.
- [30] T. Martin och L. Ulander., ”Bistatic SAR pilot study: Simulations using FDTD”, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--0839—SE, 2003.
- [31] L. Ulander., ” Theoretical considerations of bi- and multistatic SAR”, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--1334--SE, 2004.
- [32] L. Ulander., T. Martin ” Bistatic ultra-wideband SAR for imaging of ground targets under foliage”, Proc. of Radar 2005 - Int. Radar conference, p. 419-423, 2005.