



Bistatisk och passiv radar

Årsrapport 2012

LARS ULANDER, PER-OLOV FRÖLIND, OCH
ANDERS GUSTAVSSON

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se

FOI-R--3588--SE
ISSN 1650-1942

December 2012

Lars Ulander, Per-Olov Frölind, och
Anders Gustavsson

Bistatisk och passiv radar

Årsrapport 2012

Titel	Bistatisk och passiv radar, årsrapport 2012
Title	Bistatic and passive radar, annual report 2012
Rapportnr/Report no	FOI-R--3588--SE
Månad/Month	Dec
Utgivningsår/Year	2012
Antal sidor/Pages	19 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FM
FoT område	Sensorer och signaturanpassning
Projektnr/Project no	E54020
Godkänd av/Approved by	Lars Bohman
Ansvarig avdelning	Sensor- och TK-system

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

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

”Bistatisk och Passiv Radar” är ett forskningsprojekt som bedrivs på FOI under perioden 2012-2014 med finansiering från försvarsmakten. Årsrapporten beskriver verksamhet och resultat under projektets första år.

Förberedande flygprov i passiv mätmod har genomförts med det tidigare utvecklade LORA-systemet. Under mätningen utnyttjades marksänd digital-TV som icke-kooperativ sändare. De första resultaten visar att mottagen signal registrerats inom systemets linjära dynamikområde och att markeket innehåller dopplerinformation nödvändig för den fortsatta analysen. Mätningar i monostatiska SAR- och GMTI-moder genomfördes också med LORA under proven.

En viktig aktivitet har varit att definiera och inleda utvecklingen av ett radarsystem anpassat för bistatiska och passiva mätningar på VHF-, UHF- and S-band. Systemet är uppbyggt kring en digital kontrollenhet med integrerad generering av vågformer och datalagring samt GPS-baserad tidssynkronisering och positionering. Utvecklingsarbetet fortsätter nästa år med sikte på flyg- och fältförsök.

Årsrapporten redovisar också aktiviteter inom EDA-projektet SIMCLAIRS¹, som bedrivs i samarbete med ett europeiskt industrikonsortium inklusive SAAB. Under året genomfördes fältprov med prototypsystemet CARABAS-3 installerad i helikopter. Exempelresultat är inkluderade i rapporten. Analysen redovisas i en separat rapport nästa år.

Projektet har under året deltagit i NATO-gruppen SET-186 ”Airborne Passive Radar and their Applications”.

Nyckelord: Passiv, bistatisk, radar, LORA, CARABAS, SIMCLAIRS, EDA

¹Studies for Integrated Multifunction Compact Lightweight Airborne Radars and Systems

Summary

"Bistatic and Passive Radar" is a research project carried out by FOI during the period 2012-2014 with funding from the Swedish Armed Forces. This annual report describes activities and results during the first year of the project.

Preparatory flight tests with the LORA system in passive mode have been conducted. Digital television broadcasting transmitters were used as non-cooperative illuminators for the measurements. Initial results show that the received signal has been registered within the linear dynamic range of the radar system which is a prerequisite for the follow-on analysis. Measurements with LORA in monostatic SAR and GMTI modes were also performed during the tests.

An important activity has been to define and start the development of a radar system adapted for bistatic and passive measurements at VHF-, UHF- and S-band. The system is built around a digital control unit with integrated waveform generation and data storage as well as GPS-based time synchronization and positioning. The development continues next year with the goal of performing flight and field trials.

The annual report also describes activities in the EDA project SIMCLAIRS², which is carried out in collaboration with a European industry consortium including SAAB. Field tests of the prototype CARABAS-3 system installed in a helicopter have been conducted during the year. Example results are included in the report. The analysis will be documented in a separate report next year.

The project has participated in the NATO group SET-186 "Airborne Passive Radar and their Applications".

Keywords: Passiv, bistatisk, radar, LORA, CARABAS, SIMCLAIRS, EDA

²Studies for Integrated Multifunction Compact Lightweight Airborne Radars and Systems

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Projektbeskrivning.....	7
1.2	SIMCLAIRS.....	7
1.3	NATO SET-186 APRA	8
2	Flygprov	9
2.1	Planering	9
2.2	Bistatisk och passiv radar	9
2.3	Upptäckt av rörliga personer och fordon.....	11
3	Systemutveckling	13
3.1	Scenarion	13
3.2	Systemöversikt, scenario A.....	13
4	SIMCLAIRS	15
4.1	CARABAS-3.....	15
4.2	Provaktiviteter	15
4.3	Exempelbilder	16
5	Slutsatser	18
6	Publikationslista	19
6.1	Vetenskapliga artiklar (peer-review)	19
6.2	Konferensartiklar	19
6.3	Rapporter och Memo	19

1 Inledning

1.1 Projektbeskrivning

Forskningsprojektet "Bistatisk och Passiv Radar" startade 2012 med finansiering från försvarsmakten inom samlingsbeställningen till FOI. Projektet sträcker sig över perioden 2012-2104 och är en fortsättning på projektet "Bistatisk SAR för urban miljö" som genomfördes 2009-2011.

Syftet med projektet är att öka kunskapen om bistatiska och passiva radarsystem, dvs. där sändare och mottagare är placerade på olika plattformar. I fallet passiv radar är dessutom sändaren icke-kooperativ. Exempel på en icke-kooperativ sändare är marksänd digital-TV.

Jämfört med konventionell radar förväntas bistatisk och passiv radar vara mer robust mot telekrig eftersom en mottagare inte avslöjar sitt läge. Tillämpningar finns inom alla stridsarenor, speciellt där radiotystnad är av största betydelse. Nya geometrier ger också möjligheter att påverka mål-bakgrund-kontrasten, och plattformen med enbart mottagare kan uppträda på nya sätt eftersom den inte sänder ut röjande radiosignaler.

Projektet har också som målsättning att vidareutveckla och värdera sub-SAR, vilket är ett koncept för upptäckt och avbildning av mål under markytan, t.ex. nedgrävda IEDer. Detta arbete sker inom ramen för EDA-projektet SIMCLAIRS och i samarbete med SAAB.

Projektet innehåller utveckling av signalbehandling och radarelektronik, genomförande av flygprov och fältförsök, samt analys och värdering av resultat.

Projektet har för avsikt att under treårsperioden belysa följande frågeställningar:

- Vilka prestanda fås med flygburen passiv radar utnyttjande marksänd digital-TV som icke-kooperativ sändare?
- Hur utformas ett bistatiskt system för S-bandet och vilka tekniska parametrar bestämmer dess egenskaper?
- Vilka prestanda ger sub-SAR-konceptet avseende upptäckt av nedgrävda mål?

1.2 SIMCLAIRS

SIMCLAIRS ("Studies for Integrated Multifunction Compact Lightweight Airborne Radars and Systems") är ett fyraårigt EDA-projekt. Projektet startade våren 2009 och genomförs av ett trilateralt industrikonsortium bestående av THALES Systèmes Aéroportés (Frankrike), SAAB AB (Sverige), SELEX Sensors & Airborne Systems Ltd (UK) samt THALES UK Ltd (UK). FOI är associerad medlem till konsortiet och deltar i projektet såsom partner till SAAB.

Inom SIMCLAIRS ingår också två öppna forskningsutlysningar där utvalda projekt från den första utlysningen startade under 2010 och från den andra under 2011. FOI medverkar och får finansiering även denna väg och bedriver tillsammans med Institutionen för Signaler och System på Chalmers ett projekt om vågformer och signalbehandling för frekvenssamverkan mellan radar och kommunikation. Projektet avslutas i början av 2013.

Målsättningen med SIMCLAIRS är att utveckla teknologier för radiofrekventa system på små obemannade flygfarkoster (UAV). Projektet är inriktat mot SAR ("Synthetic Aperture Radar"), MTI ("Moving Target Indicator"), FOPEN ("Foliage PENetration") samt ESM ("Electronic Support Measures"). De tre förstnämnda är radarmoder för högupplösande markspaning från flyg medan det sistnämnda är en telekrigsfunktion.

SIMCLAIRS är uppdelat i fem tekniska domäner: systemkrav, teknologier för lågfrekventa spaningssystem, teknologier för högfrekventa spaningssystem, multiband-sensorer, samt sensorer för multipla plattformar. FOI deltar endast i de två förstnämnda.

FOIs arbete under 2012 har varit inriktat på att verifiera ett litet helikopterburet SAR-system på VHF-bandet (CARABAS-3) i samarbete med SAAB. Verksamheten har huvudsakligen fokuserat på analys av genererade SAR-bilder för att utvärdera bildkvalité med hjälp av utplacerade radarreflektorer. Resultaten kommer att rapporteras till SIMCLAIRS under nästa år.

1.3 NATO SET-186 APRA

NATO-gruppen SET-186 "Airborne Passive Radars and their Applications", förkortat APRA, finns formerad för projektarbete under perioden 2012-2014.

Syftet med gruppen är att identifiera utmaningarna för flygburna (alternativt rymdburna) passiva radarsystem, både vad det gäller hårdvara och signalbehandling. Under projektets gång ska användarkrav identifieras och därefter genomförs en utvärdering av prestanda och användbarhet för valda implementeringar. Arbetet ska utmynna i en rapport 2014.

Gruppen har haft tre möten under 2012. Arbetet har i huvudsak bestått av att strukturera innehållet och att definiera begränsade arbetspaket för delområden inom ramen för APRA. Undergrupper har också bildats för detta ändamål.

En viktig punkt under 2013 är att bjuda in slutanvändare (nationella militärrepresentanter).

2 Flygprov

2.1 Planering

I början av året utarbetades en experimentplan för mätningar under 2012 [10]. Avsikten var att mätaktiviteterna skulle fokusera på två saker:

- Bistatiska mätningar på VHF-bandet med FOIs flygburna SAR-system LORA som belysare och med en nyutvecklad mottagarenhet installerad på en helikopter.
- Insamling av lågfrekvent SAR-data för analys av möjligheterna att detektera underjordsmål. I experimentplanen benämns denna mätmod sub-SAR.

För båda aktiviteterna var en förutsättning att det av SAAB utvecklade helikopterburna SAR-systemet CARABAS-3 kunde utnyttjas. Kring halvårsskiftet stod det klart att experimentplanen inte skulle kunna realiseras p.g.a. förseningar i utvecklingen av den nya mottagaren liksom omplanering i samband med utprovningen av CARABAS-3.

En ny experimentplan utarbetades därför inför hösten:

- Inledande flygburna experiment med LORA konfigurerad i passiv mätmod där möjligheten att använda icke-kooperativa sändare i form av digital-TV undersöks. Denna aktivitet var ursprungligen planerad att inledas först 2013.
- Insamling av SAR-data med LORA konfigurerad i UHF-mod med fokus på att undersöka möjligheten att upptäcka personer i rörelse på marken. Tidigare försök har visat att stillastående personer i öppen terräng kan detekteras.

Redan i samband med att den ursprungliga experimentplanen beviljades FOI sändtillstånd för de aktuella radarbanden. Tillstånd söks hos Post- och Telestyrelsen (PTS) och utfärdas som regel med ett halvårs giltighetstid och är begränsade till angivna geografiska områden. Tillstånden förutsätter f.n. att systemen undviker att sända på följande tre delband: 75 MHz $\pm$ 0.2 MHz, 243 MHz $\pm$ 0.05 MHz, samt 332 MHz $\pm$ 3.4 MHz.

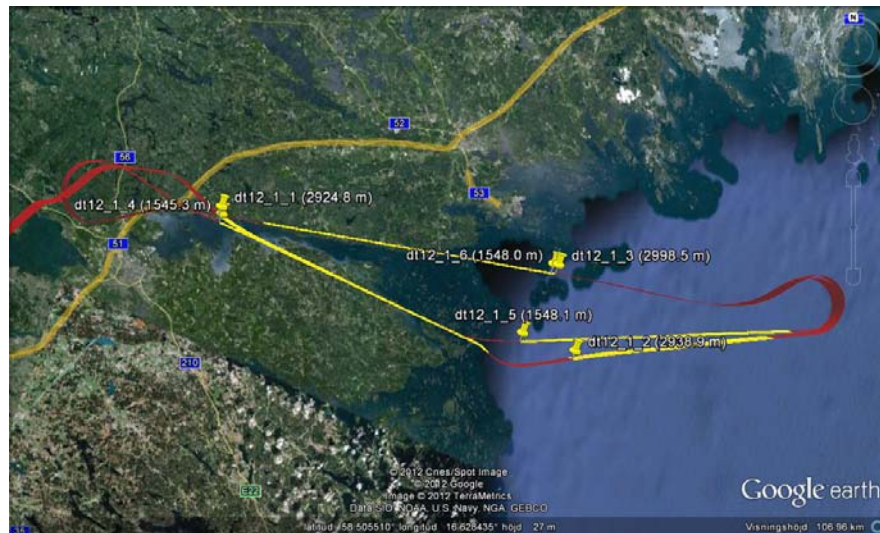
2.2 Bistatisk och passiv radar

Vid planeringen definierades flyggeometrier för att undvika starka direktsignaler från TV-sändarna som annars riskerar att "blända" mottagaren. Därför valdes bl.a. en geometri med successivt ökande avstånd för att få en kontinuerligt ökande dämpning av mottagen signal. En annan geometri som valdes är med direktsignalen in genom mottagarantennens backlob. Två olika höjder har definierats för att undersöka hur infallsvinklar och avstånd till mark respektive sändare påverkar signalen. Högre flyghöjder är operativt intressantare men ger sämre signal-brusförhållande. Flygbanorna har inledningsvis definierats över skärgården och ut över Östersjön för att förenkla klotterbakgrunden. AIS-informationen från fartyg har samlats in för att vara underlag till den efterföljande målanalysen.

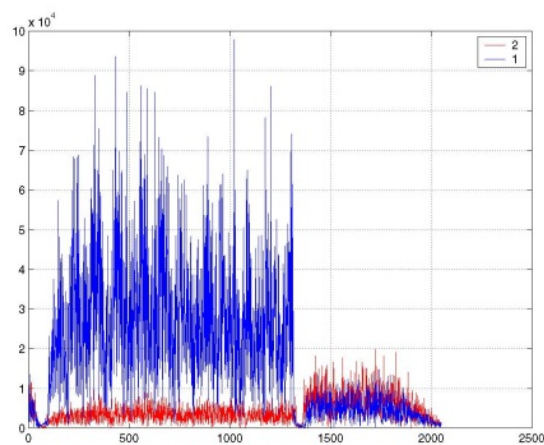
Passiva dataregistreringar utfördes 21 november 2012, kl. 11-12 (kampanj: dt12, mission: 1). Data registrerades utefter tre rakbanor på två olika höjder: 3000 m respektive 1500 m. Registreringarna var cirka 5 minuter långa motsvarande 28 nautiska mil, se Figur 1. Data registrerades i princip kontinuerligt av LORA-systemet i en ny mätmod. Registreringarna sker kontinuerligt under 160 μ s, följt av ett kort avbrott under 1.5625 μ s, för att sedan upprepas cykliskt.

TV-sändaren i Norrköping (Orrenbergen i Kolmården) användes som icke-kooperativ belysare. Den sänder med 50 kW och befinner sig på ca 300 meters höjd. Sändarantennen har stor riktverkan i vertikallid och antennloben är riktad svagt nedåt. Sålunda förväntar vi oss en svagare direktsignal på högre höjd men också en svagare markretur p.g.a. det längre

avståndet till marken. LORAs mottagare är inställd att registrera kanal 28 med centerfrekvensen 530 MHz. Mottagarens centerfrekvens kan inte ställas in godtyckligt och TV-kanalens bandbredd hamnar därför osymmetriskt i mottagarbandet som är centrerat kring 528 MHz med en bandbredd på 10 MHz. I Figur 2 illustreras mottagen signal för två avstånd till TV-sändaren.



Figur 1. Mätgeometrier för de passiva mätningarna. Tre flyglöpor på respektive höjd (1.5 och 3 km). Löpa 3 och 6 har TV-signalen i mottagarens backlob, medan övriga löpor har TV-sändaren i framåtloben för olika aspektvinklar. (Bild: ©2012 Google – Cnes / Spot Image – TerraMetrics).



Figur 2. TV-kanalens frekvensspektra är registrerat mellan index 100 och 1400. Mottagarens bandbredd är 10 MHz med 5 kHz per indexenhet. Blå kurva representerar ett avstånd när flygplanet är som närmast på 3000 m höjd under flyglöpa 1 medan röd kurva återger registrerat data i början av löpa 3 på samma flyghöjd.

Data har registrerats parallellt i tre mottagarkanaler för att möjliggöra digital lobstyrning, både för att erhålla en renare referenssignal från direktsignalen och för att undertrycka densamma i förhållande till den svagare markreturen.

Analysen av data kommer att undersöka möjligheten att avbilda mark- och sjömål. Underlag är kartbilder över inlandet och skärgården, positioner för fyror i inloppet till Norrköpings respektive Oxelösunds hamn samt insamlad AIS-information om fartyg i området.

2.3 Upptäckt av rörliga personer och fordon

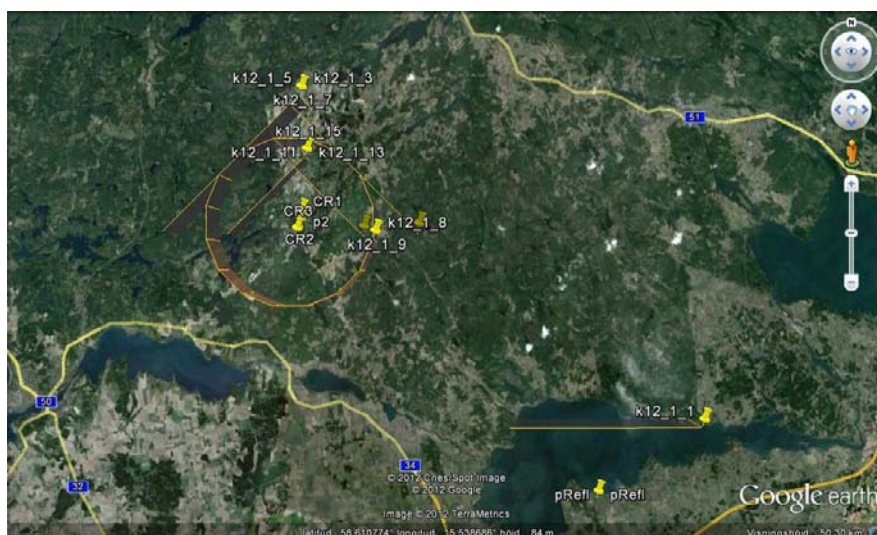
Flygburna SAR-mätningar av personer genomfördes på Prästtomta skjutfält, i den västra delen nära huvudlokaliseringen för Markstridskolan Kvarn (MSS).

Flygpasset genomfördes 3 december 2012. LORA var konfigurerad att operera i en bredbandig SAR-mod och inte i GMTI-mod ("Ground Moving Target Indicator"), med flera separata antennkanaler, som också är tillgänglig i systemet. I ett avslutande flygpass över Visingsö 13 december, ej redovisat i denna rapport, genomfördes även ett försök i GMTI-mod mot ett antal fordonstyper.

Metodiken att detektera rörliga objekt i SAR-mod är baserad på förändringsanalys i förhållande till en referensradarbild av aktuellt område. Två olika flygkurser för rakbana och vänstertittande SAR utnyttjades, 225° och 315°. Samma flyggeometrier upprepades på två olika höjder, 3 km och 1.5 km. Eftersom metodiken inte tidigare testats fanns även en lastbil med i målspelet. Under en SAR-registrering förflyttade sig tre personer i tre olika riktningar. Lastbilens och personernas rörelser mättes kontinuerligt med GPS. Förutom rakbanor genomfördes även avbildningar från cirkelbanor. Figur 3 visar planeringsunderlaget för flygpasset.

En 5 m hög trihedral fanns utplacerad som referensmål och var orienterad för registreringar på flygkurs 315°, se Figur 4. För cirkelbanorna fanns också ett antal vertikala ventilationsrör med cirkulärt tvärsnitt (diameter 25 cm) utplacerade. Fem stycken var 6 m höga och två stycken 3 m, se Figur 4.

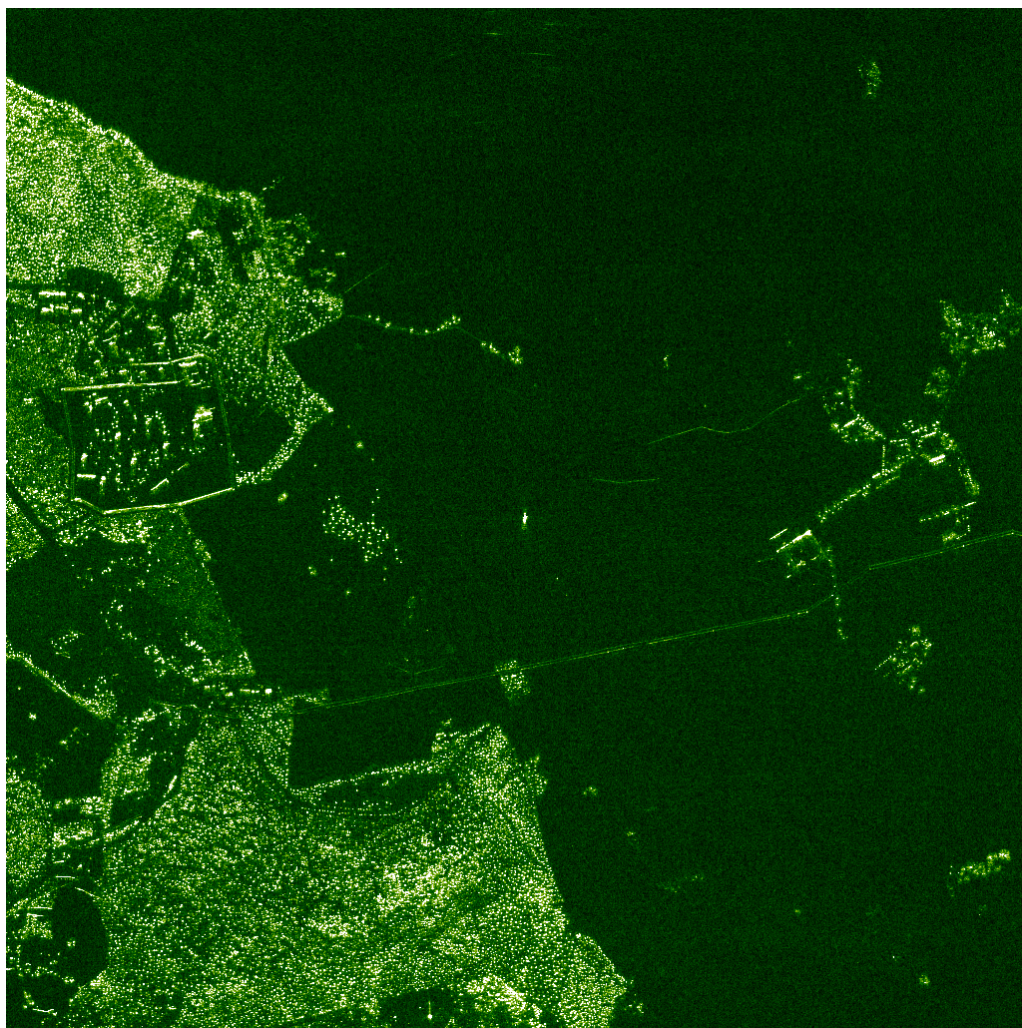
Som framgår av Figur 3 gjordes även en registrering med LORA i SAR-mod över området kring Tuna Kungsgård söder om Roxen där huvuddelen av proven med CARABAS-3 genomförts. Figur 5 visar en SAR-bild genererad från denna datamängd. LORAs frekvensband överlappar delvis med det övre bandet (HVHF) i CARABAS-3 och en jämförelse ska därför främst göras med den undre bilden i Figur 10. Eftersom LORA flugit på högre höjd, 3 km, så täcker LORA-bilden en större yta i nord-sydlig riktning. En annan skillnad är att polarisationen för LORA är HH (horisontell polarisation för utsänd och mottagen signal) medan CARABAS-3 i HVHF-mod registrerar VV (vertikal polarisation för utsänd och mottagen signal).



Figur 3. Mätgeometrier för SAR-registreringar över MSS Kvarn. Två kurser för rakbanor användes, 225° och 315°. De kortare banorna flögs på den lägre höjden 1.5 km och de längre på 3 km. Cirkelbanan är uppbyggd av 16 delsegment. En flyglöpa gjordes även över området söder om Roxen där prov med CARABAS-3 genomförts. (Bild: ©2012 Google – Cnes / Spot Image – TerraMetrics).



Figur 4. Ventilationsrör av längderna 6 m (vänster) och 3 m (höger) placerades ut inom försöksområdet på MSS Kvarn. Referensmålen är främst avsedda för analys av SAR-registreringar längs de cirkulära flygbanorna. I bakgrunden till det högre röret syns också en 5 m hög trihedral.



Figur 5. Kartriktig SAR-bild genererad med LORA-data från 3 december 2012. Bilden täcker ca 2 km (öst-väst) x 2 km (nord-syd) och är registrerad kring Tuna Kungsgård vars ekonomibyggnader återfinns mot den östra bildkanten. SAR-bilden är centrerad kring den stora radarreflektorn i Figur 9 som syns som ett punktformigt ljust objekt i mitten. Norra delen av bilden utgörs av sjön Roxen med enstaka kobbar och skär i öster. I bildens övre västra del ligger samhället Roxtuna med en f.d. kriminalvårdsanstalt omgärdad av höga stängsel. Eftersom LORA registrerar HH-polarisation så syns luftledningarna och stängsel tydligt så länge deras orientering inte avviker för mycket från flygkursen som i detta fall var 270°. Större sammanhängande ljusa partier är skogsbeklädd terräng.

3 Systemutveckling

3.1 Scenarion

Arbetet med systemspecifikation av ett nytt radarsystem har utgått ifrån tre olika tillämpningsfall [12][14]:

- Scenario A: Bistatisk SAR-mätning på VHF-bandet. En typisk konfiguration är att sändaren befinner sig på stort avstånd från målområdet medan mottagaren är passiv och opererar på kort avstånd. I en militär hotsituation skyddas sändaren av det större avståndet och mottagaren av att den är radiotyst.
- Scenario B: SAR-mätningar med LORA NG ("Next Generation"), dvs. monostatisk, bistatisk eller passiv avbildning. Den senare kommer att användas för att undersöka möjligheten att åstadkomma SAR-avbildning med marksänd digital-TV som icke-kooperativ sändare.
- Scenario C: Sjömätningar på S-band. Scenariot är en land- eller fartygsbaserad radar avsedd för upptäckt av små sjömål på havsytan. Systemet ska klara koherent dopplerfiltrering i kombination med stor bandbredd för både monostatiska och bistatiska mätgeometrier.

Systemet för scenario A benämns CARINA-A och beskrivs nedan och i [12].

3.2 Systemöversikt, scenario A

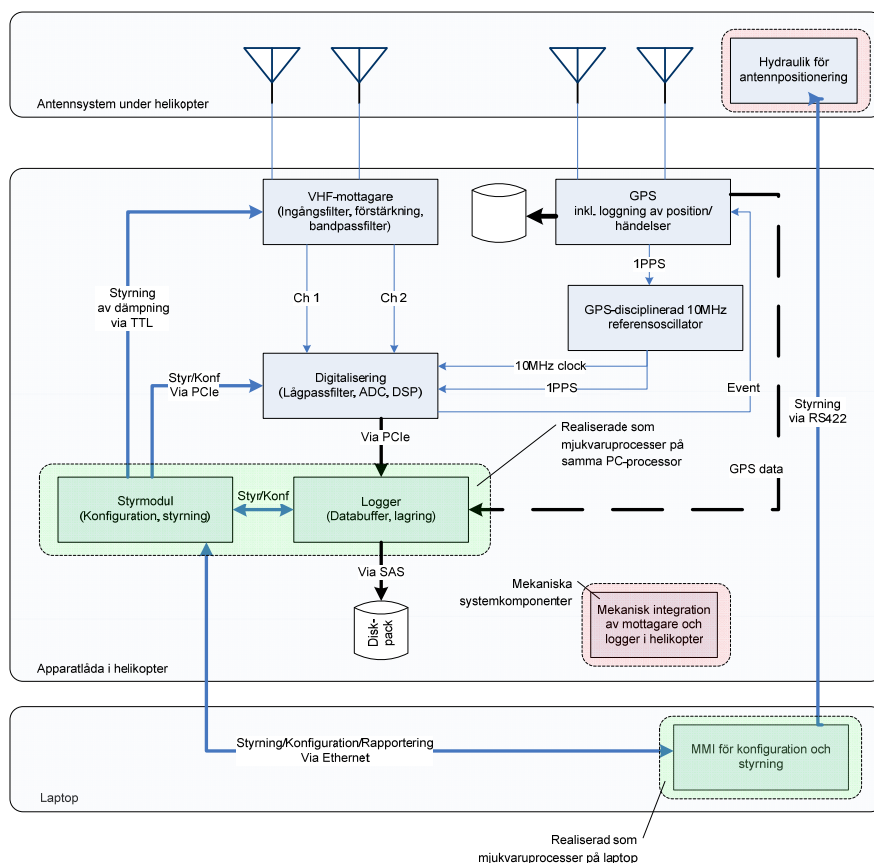
CARINA-A realiserar mottagardelen av ett bistatiskt radarmätsystem för VHF-bandet (25-85 MHz) och är avsett för montering i en helikopter. Systemskiss och blockschema framgår av Figur 6. Systemets delar är monterade på tre platser i helikoptern:

- antensystem under helikoptern
- radarenhet och navigationssystem monterade i en apparatlåda inne i kabinen
- operatörskonsol inne i kabinen

Ett elektronikkort med FPGA-kretsar realiserar logik för radarstyrning och digital signalbehandling. På kortet finns också en anslutning till ett dotterkort som realiserar analog-digital-omvandling och som kan synkroniseras med 1PPS-signalen i GPS.

En kraftfull dator under Linux har som uppgift att kontrollera FPGA-kortet och skriva insamlade digitala data till disk. Vid försök med hårdvaran har dataöverföringshastigheter på 2 GB/s upprätthållits under längre tidsperioder.

Möjlighet finns att också ansluta och registrera andra datakällor. Ett exempel är att positionsangivelser från navigationssystemet sparas på disk.



Figur 6. Systemblockschemat för CARINA-A [12]. Blockschemat visar funktionsblock och realisering i hårdvara eller mjukvara (grön bakgrund). Systemets delar är monterade på tre platser i helikoptern: som last under helikoptern (antennsystem), mellan sätena inne i kabinen (apparatlåda i helikopter) eller vid radaroperatören (operatörskonsol på en laptop). Mekaniska funktionsblock är markerade med röd bakgrund. Kraftmatningen för de olika delsystemen visas inte i blockschemat.

En högdynamisk och bredbandig mottagare har utvecklats för CARINA-A. Mottagarens två kretskort (kanaler) omges av en låda av aluminium för att garantera minimala störningar från omgivande komponenter, se Figur 7. Dämpning och variabel förstärkning kontrolleras via en separat bandkabelkontakt för varje kanal.

Mottagarkorten har provats i labbmiljö och befunnits uppfylla specifikationerna med undantag av en något högre brusfaktor på den lägre delen av frekvensbandet.



(a)



(b)

Figur 7. De två mottagarkorten för CARINA-A (a) är monterade i en skärmad låda (b).

4 SIMCLAIRS

4.1 CARABAS-3

SAAB EDS i Göteborg har under de senaste åren tagit fram en miniatyriserad prototyp av ett SAR-system på VHF-bandet. Systemet benämns CARABAS-3.

CARABAS-3 är utvecklad för att operera inom två skilda frekvensintervall på VHF-bandet. De två banden benämns LVHF ("Low VHF") respektive HVHF ("High VHF") där man i radarmoden LVHF utnyttjar våglängder runt 5 m och i moden HVHF runt 1 m. Det framtagna antennsystemet är i dagsläget certifierat och mekaniskt anpassat för installation på en mindre helikopter av modell Schweizer 300, se Figur 8. Sensorsystemet provflögs första gången i september 2011 som en avslutande del i certifieringsprocessen för flyggodkännande.

Antennsystemet är monterat som hängande last och kan i en nödsituation fällas genom att öppna den i helikoptern fast monterade lastkroken. För att möjliggöra detta passerar alla elektriska signaler ett speciellt kontaktdon som automatiskt separeras vid högre lastpåkänningar. Enda övrig utrustning tillhörande CARABAS-3 som finns monterad utanför kabinen är två GPS-antennerna med tillhörande kablage på helikopterns stjärtbom. Mellan piloten och passageraren (radaroperatören) finns den elektroniklåda som innehåller hela den miniatyriserade realiseringen av sändare, mottagare, navigationssystem samt datalagring med tillhörande styrelektronik, kraftförsörjning och luftkylning. Alla signal- och kraftkablar från radarsystemets enheter monterade på utsidan av helikoptern är således anslutna till denna enda elektroniklåda.



Figur 8. SAABs SAR-system CARABAS-3 installerat på helikopter Schweizer 300 tillhörande Malmkogens Aerocenter AB. Antennsystemet fälls ner av radaroperatören efter start och återförs i parkeringsläge inför landning. Den sistnämnda positionen intas även automatiskt i händelse av spänningsbortfall. De två horisontella antennelementen utnyttjas vid mätningar på LVHF-bandet och kan programmeras att samverka så att radarbelysning och mottagning kan styras mot höger eller vänster sida om helikoptern. För HVHF-bandet finns identiska antennelement på båda stödbenen och val av sida görs i detta fall genom att operatören aktiverar aktuell antenn. (Foto: SAAB / Stefan Kalm).

Radarsystemet är utvecklat med en designfilosofi att vara skalbart. En anpassning till en annan plattform skall kräva minsta möjliga ändringar. För en större bärare som har mer utrymme, kan hantera högre vikter, samt leverera mer elkraft, skall dessa frihetsgrader kunna utnyttjas optimalt. Man skall relativt enkelt och kostnadseffektivt kunna uppgradera kritiska komponenter för att, exempelvis, få ökad räckvidd med ett större sändarslutsteg utan att behöva byta ut andra enheter.

4.2 Provaktiviteter

För att samla in en större datavolym för verifiering av systemprestanda och bildkvalitet har tre mätkampanjer genomförts under 2012. För den gemensamma verksamheten direkt relaterad till prov och försök har FOI haft en separat beställning från SAAB. De tre

mätkampanjerna har genomförts i Östergötland med helikopterfirmans lokalisering i Malmskogen som bas inför varje flygpass. Totalt drygt 40 flygpass har utförts där varje pass har en varaktighet på upp till ca. två timmar om helikoptern är fulltankad. Tidpunkter, platser och syfte med de tre provomgångarna sammanfattas i det följande:

- 9 - 15 mars 2012. Verifiering av radarsystemet kring Tuna Kungsgård belägen vid Roxens södra strand nordost om Linköping
- 9 maj - 5 juni 2012. Fortsatta och kompletterande verifieringar av radarsystemet kring Tuna Kungsgård. Inför denna provomgång hade vissa modifieringar gjorts av radarhårdvaran baserat på resultaten från mars. Inledande försök med detektion av fordon i skogsbeklädd terräng, dvs. tillämpningen FOPEN, utfördes nära FOIs utomhusmätplats Lilla Gåra sydväst om Linköping. Ett mindre grustag vid Skuggebo sydväst om Lilla Gåra har identifierats som en möjlig lämplig plats för inledande mätningar för att undersöka potentialen kring detektion av underjordsmål. Ett antal SAR-registreringar gjordes därför även över detta område för att skaffa erfarenhet av bakgrundsnivåer från grustaget och dess omgivning inför framtida SAR-registreringar.
- 16 oktober - 7 november 2012. Fortsatta och kompletterande verifieringar av radarsystemet kring Tuna Kungsgård. Inför denna mätomgång hade radarsystemet uppgraderats med ett antal nya funktionaliteter i enlighet med SAABs plan för prototyputvecklingen. Vissa ändringar i befintlig hårdvara, använd vid föregående kampanj, hade också gjorts utgående från de då uppnådda resultaten.

Inom de olika geografiska områden där helikoptern har opererat och SAR-mätningar genomförts har sändningstillstånd erhållits från PTS. Vid Tuna Kungsgård har radarreflektorer av två olika storlekar funnits utplacerade på öppna fält, se Figur 9. I figuren återfinns också de två fordonstyper som användes vid FOPEN-försöken, en terränglastbil och en Land Rover.



Figur 9. Två typer av radarreflektorer användes som referensobjekt vid mätningar med CARABAS-3 under 2012. En större 5 m hög trihedral (överst vänster) och en mindre reflektor med sidlängden 1 m (överst höger). Båda typerna fanns utplacerade på öppna fält nära den södra strandlinjen av sjön Roxen. Vid de inledande FOPEN-försöken kring FOIs mätplats Lilla Gåra utnyttjades fordonstyper av två olika storleksklasser. De nedre fotona visar dessa i position på två av totalt sju olika platser i skoglig terräng som utnyttjades vid SAR-registreringar under ett antal flygpass.

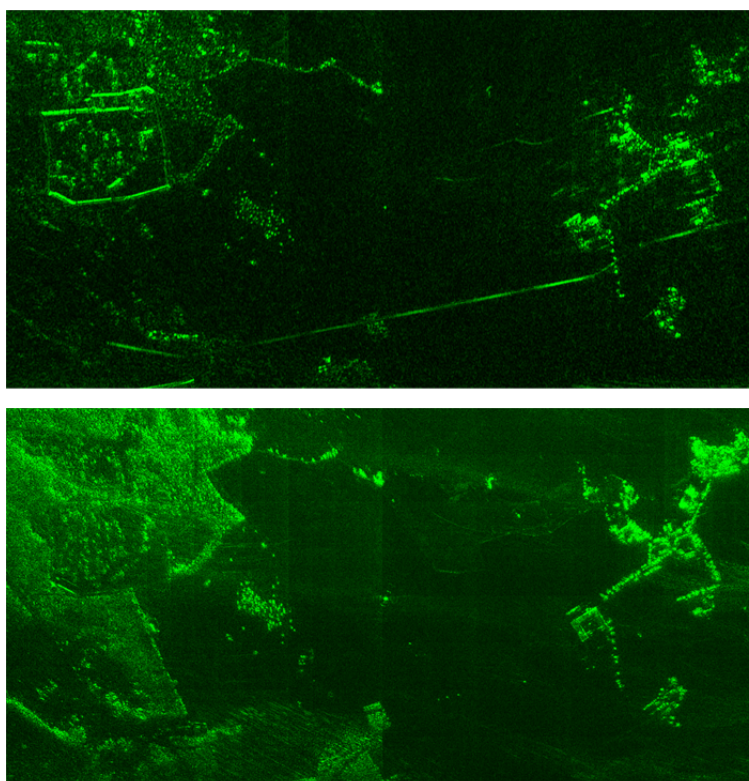
4.3 Exempelbilder

Mer än 700 GB radarrådata har samlats in med CARABAS-3 under de tre provomgångarna. I helikoptern lagras data i realtid på ett flashminne. Efter att helikoptern landat plockas minnet ut och kompletteras med data som laddas ner från GPS-mottagaren.

Programvara utvecklad för generering av SAR-bilder från FOIs flygburna system CARABAS-II och LORA har anpassats för bearbetning av CARABAS-3 data. Vid SAAB har en liknande programvara för bildformering utvecklats. Att två oberoende signalbehandlingskedjor byggts upp har visat sig vara en styrka under verifieringsfasen för att snabba upp felsökningsprocessen.

Analysen kring upptäckt av fordon dolda i vegetation bygger än så länge på okulär besiktning av bilder med och utan mål. Den av FOI tidigare utvecklade tekniken för måldetektion genom förändringsanalys har ännu ej använts för CARABAS-3. Under året har algoritmer för detta delgivits SAAB.

I Figur 10 ges exempelbilder genererade från data som samlats in med CARABAS-3 under 2012. De två bilderna är registrerade över samma område kring Tuna Kungsgård på LVHF- respektive HVHF-bandet. Den större bandbredden som finns tillgänglig för HVHF återspeglas i den högre detaljrikedomen för olika strukturer som exempelvis större byggnader i bildens högra del. Som framgår av Figur 8 är antennelementen för LVHF och HVHF orienterade horisontellt respektive vertikalt. Den dominerande polarisationen i den mottagna signalen utgörs därför av kombinationen HH respektive VV. I SAR-bilden på LVHF-bandet syns luftledningar och stängsel tydligt medan enbart de bärande strukturerna såsom ledningsstolpar framträder på HVHF-bandet. En viss blockstruktur kan skönjas i bilderna och beror på de parameterval som gjorts i FOIs algoritm för bildgenereringen, där inställningarna i detta fall valts för att erhålla en snabb bearbetningstid på bekostnad av högsta bildkvalitet.



Figur 10. Genererade och kartriktiga SAR-bilder från CARABAS-3 på LVHF-bandet (övre) och HVHF-bandet (undre). Bilderna täcker cirka 2 km (öst-väst) x 1 km (nord-syd) och är registrerade kring Tuna Kungsgård vars fastigheter och ekonomibyggnader återfinns i den högra delen. Bilderna är centrerade kring den stora radarreflektorn i Figur 9 som syns som en stark ljus punkt i mitten. Nära övre kanten ligger Roxens strandlinje som övergår i en vattenspegel mot norr. I bildens vänstra del ligger samhället Roxtuna som domineras av en f.d. kriminalvårdsanstalt omgärdad av höga stängsel som syns i LVHF-bilden. För såväl enskilda träd som ansamlingar av träd återger LVHF-bilderna främst stammarna medan intrycket blir mer diffust på HVHF-bandet när träden står tätt då såväl stammar som delar av grenverket bidrar till den reflekterade signalen när kortare våglängd används.

5 Slutsatser

2012 var första året för det treåriga forskningsprojektet "Bistatisk och Passiv Radar". Under året har tonvikten legat på att definiera och starta upp viktiga aktiviteter. Ett exempel är att projektet deltagit i den nystartade NATO-gruppen SET-186 "Airborne Passive Radar and its Applications". Ett annat exempel är att utvecklingen av ett nytt radarsystem inletts under året.

Inledande flygprov och dataregistreringar har också genomförts med LORA-systemet i passiv mod ombord på FMV:s TP86 Saberliner. Utsänd signal från marksänd digital-TV användes som icke-kooperativ belysare och en första analys av registrerat data visar att det innehåller förväntad koherent dopplersignal från markekot. Analysen fortsätter med bl.a. utveckling av algoritmer för signalbehandling och processering av registrerat data.

Mätningar av rörliga personer och fordon med monostatiska SAR- och GMTI-moder genomfördes också med LORA under året.

EDA-projektet SIMCLAIRS är inne i sitt slutskede och avslutas under första halvåret 2013. Under 2012 genomfördes flera prov med prototypsystemet CARABAS-3 i helikopter och mätningar mot olika målspele. I rapporten visas exempelbilder från både höga och låga VHF-bandet. Analysen fortsätter i början av 2013 och kommer att redovisas i en separat rapport.

6 Publikationslista

Nedan följer en lista på producerade artiklar, rapporter och memon i projektet under 2012.

6.1 Vetenskapliga artiklar (peer-review)

- [1] P.-O. Frörlind, A. Gustavsson, M. Lundberg, and L.M.H. Ulander, "Circular aperture VHF-band synthetic aperture radar for detection of vehicles in forest concealment," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 50, no. 4, pp. 1329-1339, 2012.
- [2] T.K. Sjögren, V.T. Vu, M.I. Pettersson, A. Gustavsson, and L.M.H. Ulander, "Moving target relative speed estimation and refocusing in synthetic aperture radar images," *IEEE Transactions of Aerospace and Electronic Systems*, vol. 48, no. 3, pp. 2426-2436, 2012.

6.2 Konferensartiklar

- [3] L.M.H. Ulander, B. Flood, P.-O. Frörlind, A. Gustavsson, T. Jonsson, B. Larsson, D. Murdin, R. Ragnarsson, G. Stenström, R. Baqué, H. Cantalloube, P. Dreuillet, and O. Ruault du Plessis, "Suppression of clutter in bistatic VHF/UHF-band synthetic-aperture radar," *Proc. RVK 2012*, Stockholm, Sweden, 6 March 2012, 1 page, 2012.
- [4] X. Dupuis, P. Dubois-Fernandez, L.M.H. Ulander, and A. Gustavsson, "3 Years Gap Temporal Interferometric Coherence at P Band," *Proc. EUSAR 2012, 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, Nürnberg, Germany, 23-26 April 2012, pp. 223-226, 2012.
- [5] L.M.H. Ulander, P.-O. Frörlind, A. Gustavsson, and G. Stenström, "Bistatic P-band SAR signatures of forests and vehicles," *Proc. IGARSS 2012, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Munich, Germany, 22-27 July 2012, pp. 311-314, 2012.
- [6] A. Gustavsson, L.M.H. Ulander, B. Flood, P.-O. Frörlind, T. Jonsson, B. Larsson, D. Murdin, R. Ragnarsson, J. Rasmusson, and G. Stenström, "Low frequency bistatic SAR measurements," *Proc. IGARSS 2012, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Munich, Germany, 22-27 July 2012, pp. 315-318, 2012.
- [7] P.-O. Frörlind, L.M.H. Ulander, A. Gustavsson, and G. Stenström, "VHF/UHF-band SAR imaging using circular tracks," *Proc. IGARSS 2012, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Munich, Germany, 22-27 July 2012, pp. 7409-7411, 2012.
- [8] H. Hellsten, J. Torgrimsson, P. Dammert, L.M.H. Ulander, and A. Åhländer, "Evaluation of a geometrical autofocus algorithm within the framework of Fast Factorized Back-Projection," *Proc. Radar 2012, International Conference on Radar Systems*, Glasgow, UK, 22-25 Oct 2012, 5 pp., 2012.
- [9] L.M.H. Ulander, B. Flood, P.-O. Frörlind, A. Gustavsson, T. Jonsson, B. Larsson, G. Stenström, R. Ragnarsson, R. Baque, O. Ruault Du Plessis, G. Bonin, H. Oriot, and P. Dreuillet, "Bistatic VHF/UHF-band airborne SAR experiment," *Proc. Radar 2012, International Conference on Radar Systems*, Glasgow, UK, 22-25 Oct 2012, 6 pp., 2012.

6.3 Rapporter och Memo

- [10] A. Gustavsson, "Experimentplan 2012," FOI Memo 3938, 2012.
- [11] L. Ulander, "Redovisning av milstolpe kv2 2012 för projekt bistatisk och passiv radar (inom AF.9220407)," FOI Memo 4014, 2012.
- [12] R. Ragnarsson, L. Ulander, T. Jonsson, och G. Stenström, "Bistatiskt mätsystem för VHF-bandet, Systembeskrivning," FOI-DH--0079--SE, 2012.
- [13] L. Ulander, "Redovisning av milstolpe kv3 2012 för projekt bistatisk och passiv radar (inom AF.9220407)," FOI Memo 4107, 2012.
- [14] L. Ulander, T. Jonsson, B. Larsson, R. Ragnarsson, och G. Stenström, "Specifikation av radarsystem för VHF-, UHF-, och S-band," FOI-DH--0084--SE, 2012.